History of Engineering

Proceedings of the 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale

Naples, 2022 May 16th - 17th

volume I

Cuzzolin

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale

Naples, 2022 May 16th-17th

Volume I

Editors

Salvatore D'Agostino, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Elena Manzo

Cuzzolin

First edition: April 2022
Prima edizione: aprile 2022

© 2022 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 978-88-86638-94-4

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: Vulcanica Srl - Nola (NA)

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (Presidente)
Michele Brigante
Mario Como
Edoardo Cosenza
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Luciano De Menna
Giulio Fabricatore
Giovanna Greco
Emanuela Guidoboni
Elena Manzo
Luigi Marino
Vittorio Marchis
Raffaele Mauro
Dieter Mertens
Lia Maria Papa
Antoine Picon
Giuseppe Riccio
Luciano Rosati
Antonio Moccia
Bruno Siciliano
Andrea Silvestri
Giuliana Tocco Sciarelli
Carlo Viggiani
Armando Zambrano

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

Rossella Del Regno
Università di Salerno
Andrea Lizza
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Boris Igor Palella (Presidente)
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 nona 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

Summary / Sommario

Volume I

Preface/Prefazione
Salvatore D'Agostino *XIII*

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Un progetto di isolamento degli edifici dal suolo per ridurre gli effetti del terremoto: il trattato di Giovanni Aldini (1781)
Emanuela Guidoboni 3

Ingegnerie del futuro, tra scienza e scaramanzia
Vittorio Marchis 17

Il cantiere edile, tra maestranze specializzate, costi e normalizzazione: le voci dall'antichità
Giovanna Greco 31

Le terme di Baiae tra mito, storia e tecnica
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Gennaro Di Fraia, Angela Schiavone 45

Terremoti: riflessioni su alcuni casi tra Roma e l'Appennino
Cairoli Fulvio Giuliani 59

Il ponte romano sul torrente Harod (Israele). Nota su un ponte posto in diagonale rispetto al corso dell'acqua
Luigi Marino, Raffaele Serangeli 71

Ipotesi per il terminale flegreo dell'Aqua Augusta Campaniae. Tra indagine multidisciplinare e funzionamento idraulico
Pierpaolo D'Agostino, Francesco Pugliese, Raffaele Merone 85

Nuovi dati per lo studio dell'area tra le catacombe di S. Gaudioso e S. Severo alla Sanità a Napoli
Maria Amodio, Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo 99

La distribuzione e il drenaggio dell'acqua nella città romana di Saepinum
Damiano Santillo, Federico Capriuoli, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte, Maria Diletta Colombo, Isabella Muccilli, Maria Gabriella Carpentiero 111

L'importanza del Palazzo di Ctesifonte nella storia dell'ingegneria strutturale
Stefano Miccoli, Luisa María Gil-Martín, Enrique Hernández-Montes 125

Il "podio" e gli elefanti nel simbolismo quattrocentesco della corte Riminese di Sigismundus Imperator
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 139

L'impatto dei terremoti nella genesi di un modello costruttivo: il caso dell'architettura ecclesiastica di committenza angioina (fine XIII – inizio XIV secolo)
Arianna Carannante 153

L'evoluzione storica della sicurezza sui luoghi di lavoro: da Filippo Brunelleschi al D. Lgs. 81/2008
Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino 167

Riparazione dei danni e presidi antisismici dopo il terremoto del 1818 in area etnea: il caso di Acireale
Federica Scibilia 177

Le infrastrutture idrauliche ottocentesche a Napoli
Roberta Gambardella 191

La «Shallow Ecology» nell'Ottocento borbonico
Giuseppe Foscari 201

Arsenali militari in Italia e architettura del ferro nell'800. Il ponte girevole di Taranto
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 215

Presidi antisismici nella storia: il ruolo degli elementi lignei nella cultura costruttiva aquilana
Alessandra Tosone, Alessandra Bellicoso 229

La risposta di ingegneri e architetti ai terremoti di Ancona nel XX secolo. Progetti, realizzazioni e scuole di pensiero
Giovanni Bellucci 243

Storia delle pompe di calore: principi, tecnologie, applicazioni
Filippo Busato, Marco Noro 257

Storia degli strumenti per la misura della pioggia: dall'orinale di Benedetto Castelli ai radar e ai sistemi satellitari
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 271

Rocking behaviour and safeguard of freestanding art objects: an hystorical perspective
Davide Pellecchia, Nicolò Vaiana, Pasquale Cesarano, Luciano Rosati 285

Genesi e sviluppo della disciplina "Fisica Tecnica Ambientale". 1975-2015
Marco Filippi 299

La Storia dell'Ingegneria in Italia e in alcuni Paesi oggi: una prima rassegna
Raffaele Mauro, Anna Maragno 313

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Costruzione e Progetto dei ponti di grande luce negli ultimi due secoli
Mario Como 329

Fisica, scienze, applicazioni all'inizio dell'Unità d'Italia. Temi e posizioni epistemologiche nella rivista "Il Politecnico" (1860-1869)
Lucio Fregonese 343

Nuovi sistemi costruttivi di primo Novecento: dai disegni tecnici di progetto alle opere realizzate, testimonianze da riconoscere e da valorizzare
Michela Benente, Cristina Boido 357

From 1922 to today: the Radar, an Italian story too
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli 371

The evolution of photogrammetric knowledge in Cuba
Tomás Enrique Martínez Chao 385

Per una cultura interdisciplinare del Patrimonio costruito Storico
Salvatore D'Agostino 397

Sulla Conservazione del Patrimonio costruito storico: "com'era, dov'era" una utopia da perseguire
Salvatore D'Agostino 405

Le misure di tempo nel tempo
Paolo Vigo 413

Meccanismi e modelli meccanici per la formazione tecnico-scientifica
Luigi Traetta, Marco Ceccarelli 427

Geometria e architettura, varianti e invarianti di trasformazione
Maria Letizia Conforto 439

La porosità come strumento per la riscrittura della relazione tra struttura e spazio nei processi di trasformazione urbana
Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta 453

Valutazioni numeriche preliminari della risposta sismica di strutture murarie baraccate ad Ischia (Italia)
Claudio D'Ambra, Gian Piero Lignola, Andrea Prota 467

Il contributo degli ingegneri alla costruzione degli edifici alti in Italia
Simona Talenti, Annarita Teodosio 481

Contabilizzazione del calore negli edifici residenziali: una tecnologia in forte divenire
Paolo Vigo, Laura Canale, Giorgio Ficco 495

Tra ingegneria strutturale e industrial design nel secondo dopoguerra in Italia
Matteo Ocone 509

L'ingegneria e l'innovazione tecnologica come ausilio per la sclerosi multipla
Giuliana Nardacchione 521

The development of the British cavity magnetron and the role of E.C.S. Megaw at GEC
Emilio Ciardiello 529

The development of the reflex klystron in England and in the United States told in images
Emilio Ciardiello 543

Il rilancio del progetto per il ponte di Messina in risposta al cantiere dell'Autostrada del Sole (1956-1964)
Rosa Maria Marta Caruso 557

Volume II

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

The chain parts must be holder: a new interpretation of the authenticity of the Golden Horn chain
Uğur Genç, Pier Gabriele Molari 573

Guarino Guarini ingegnere e matematico. Le architetture intangibili oltre la corte sabauda: la Chiesa dei Padri Somaschi di Messina
Angela Caliendo 587

Sviluppo della tecnica idraulica nel Regno di Napoli nel XIX secolo
Vittorio Bovolin 599

Il ruolo degli Ingegneri Circolari e degli Ingegneri Civici a Trento nella prima metà dell'Ottocento
Anna Maragno, Cristiana Volpi 613

La patente di ingegnere. Sapere tecnico e pratica professionale nel Piemonte d'Ancien Régime (1566-1724)
Elena Gianasso 627

La Società degli ingegneri e degli architetti in Torino
Luigi Falco 641

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte terza: Discipline specifiche per l'Ingegneria chimica e dei materiali e discipline opzionali
Carmine Colella 651

L'Ingegneria Geotecnica a Napoli dalle macerie della Seconda Guerra Mondiale
Ruggiero Jappelli, Carlo Viggiani 665

A strong interplay between physicists and engineers: Enrico Fermi and the construction of the first nuclear reactors
Salvatore Esposito 679

Science and technology. The physicist and the engineer
Luca Guzzardi, Danilo Capecchi 691

Reale versus digitale: una teca di plastici per l'e-learning e la valorizzazione
Lia M. Papa, Saverio D'Auria 703

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

A new solution for the Colosseum velarium
Eugenio D'Anna, Pier Gabriele Molari 719

Per la valorizzazione di un luogo di cultura ingegneristica. Resti di pavimentazione stradale in pietra nei Campi Flegrei
Maria Martone 733

Pavimentazioni in battuto di terra a Pompei tra storia e tecnologia
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 747

Tra Francia e Olanda, decorazione e costruzione navale nel Seicento
Claudia Tacchella 761

Le Cigar Ships
Massimo Corradi 775

Il restauro del Complesso di San Pietro a Corte a Salerno
Gennaro Miccio 789

Fondazioni pneumatiche in Italia: sperimentazione e sicurezza in cantiere sulle sponde del Tevere
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 803

Le grandi coperture metalliche realizzate in Italia alla fine dell'Ottocento
Marcello Zordan 817

John Smeaton. A civil engineer
Danilo Capecchi 831

Isambard Kingdom Brunel: un indiscusso protagonista dell'ingegneria vittoriana
Andrea Lizza 845

Apparecchi murari "irregolari" storicizzati: le tessiture "a cantieri" di area campana
Marina D'Aprile 851

Aspetti estetici e di durabilità nella realizzazione di ponti prefabbricati ad arco di piccola e media luce
Enzo Siviero, Alberto Zanchettin, Michele Culatti 865

Cemento armato e fortificazione permanente. Il contributo degli ingegneri militari all'arte fortificatoria sulla soglia del XX secolo
Sara Isgrò 877

Fortificazioni italiane sulle Alpi orientali. Le "grand dessaroi" degli ingegneri militari di fine sec. XIX
Sara Isgrò 889

Reaching new heights – Building technology of water towers in Germany in the 19th and 20th century
Barbara Berger 903

Le fondazioni pneumatiche per lo sviluppo delle prime reti ferroviarie in Italia
Alessandra Tosone, Renato Morganti, Danilo Di Donato, Matteo Abita 917

La Fiera di Bologna. L'architettura della grande luce nei padiglioni di Benevolo, Giura Longo, Melograni
Alessandra Tosone, Alba Fagnani, Renato Morganti 931

Le officine del gas ed i gasometri di Napoli
Andrea Lizza 943

La diga in terra battuta di Bomba: storia di una diga diventata paesaggio
Luigi D'Antonio, Vincenzo Di Florio 951

The birth of the thermodynamic theory between cannons and steam engines. An incommensurability case
Antonino Drago 965

Paolo Frisi with contributions to modern Mechanics
Marco Ceccarelli 979

Ingegneria italiana e lotta alla tubercolosi nel '900. Il grande cantiere sanatoriale e il caso studio abruzzese
Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Matteo Abita, Renato Morganti 993

La nascita del Settore Astronautico in Italia
Mario Marchetti 1007

Casi di industrializzazione edilizia in Italia: le stazioni di servizio di Andrea Marchetti e Renzo Zavanella (1947-54)
Laura Greco 1019

Architettura e caratteri ambientali: Luigi Carlo Daneri (1900-1972) e le Case alla Foce, una piazza "per dare a Genova il mare"
Elisa Boeri 1033

Paolo Reviglio, Ingegnere: i saperi politecnici trasferiti nella Colonia Eritrea di inizio Novecento
Nelly Cattaneo 1047

Gli interventi di ricostruzione post-bellica di Pier Luigi Nervi nei tabacchifici campani
Federica Ribera, Pasquale Cucco 1061

Dall'emergenza del dopoguerra all'Ingegneria del Novecento nell'opera di Giovanni Travaglini
Laura Travaglini, Ruggiero Jappelli 1075

Stefania Filo Speziale e l'edilizia borghese napoletana. Un'opera inedita: il complesso di via Petrarca 64 a Napoli
Andrea Maglio 1089

L'innovazione leggera di Alberto Galardi e Silvano Zorzi: il Palazzo Olivetti di Firenze
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 1103

Giustino Cantamaglia, ingegnere della ricostruzione post-bellica in Abruzzo
Pasquale Tunzi 1117

Il contributo delle industrie nella scrittura del territorio all'ombra del Vesuvio: il lavoro dell'ingegnere Pasquale Amodio a Torre Annunziata a metà Novecento
Ermanno Bizzarri 1131

La testimonianza di un ingegnere a Palermo negli anni Sessanta: Giorgio Fernandez
Aurora Riviezzo 1145

Per una storia ambientale del Parco Nazionale dello Stelvio: il paesaggio idroelettrico
Stefano Morosini, Fabrizio Trisoglio 1159

Edilizia del Novecento: le "case popolarissime" a Cosenza
Alessandro Campolongo, Valentina Guagliardi 1171

Alcuni procedimenti costruttivi razionalizzati della Società Generale Immobiliare (SGI) in Italia negli anni Settanta. Il caso del quartiere Amendola di Modena
Francesco Spada 1185

Tubi e sistemi resistenti in acciaio. Studi e brevetti della Dalmine per l'impiego strutturale in edilizia
Renato Morganti, Alessandra Tosone, Danilo Di Donato, Matteo Abita 1199

Some proposals on the digital catalogue card of historical drawings
Carlo Rottenbacher, Edoardo Rovida 1213

Author Index / Indice degli Autori 1227

Salvatore D'Agostino

Honorary President of the Italian Association for the History of Engineering

Preface

Once again, dear *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, President of the Association, wanted me, as Honorary President, to present the IX National Conference of the Italian Association for the History of Engineering. It is an honour for me for which I thank *Francesca* and the Bodies of the Association.

We are still living in a painful period marked by the harbingers of the pandemic and the conflict in Europe that shakes the peaceful order of our institutions, marks us daily and compromises our future.

Nonetheless, the duty of intellectuals requires us to continue in our commitment, to perpetuate the founding values of our civilization. And so, with the total commitment of the President and the Treasurer, the dearest *Boris Palella*, this year too the IX Conference on the History of Engineering, International Conference, takes place.

It now continues a well-established path that every two years is enriched by a significant number of contributions, this year almost a hundred, by many academics and free scholars who, with constancy, contribute to the development of the History of Engineering.

Given the experience of 2020 which allowed the realization of the "online" seminar for the presentation of the VIII Conference during the full pandemic, this year during the two Neapolitan days we will try to guarantee the traditional physical participation in the conference and the simultaneous telematic transmission. This is to allow the active participation of speakers unable to travel, as well as more widespread dissemination throughout the national territory.

I hope that the path will continue in the coming years with the tireless commitment of the President and the effective collaboration of the Treasurer and the Board of Directors.

The structure of the Professional Orders will change next year, and I hope that even with the new Bodies, we can establish a fruitful relationship that will still promote the History of Engineering.

In the meantime, I thank the National Council Italian Engineers (CNI) and the Chambers of Engineers of Naples and Salerno for their fundamental support, and the Interdepartmental Center of Engineering for Cultural Heritage of the Federico II University of Naples, which collaborates in the operational structure of this initiative.We are still living in a painful period marked by the harbingers of the pandemic and the conflict in Europe that shakes the peaceful order of our institutions, marks us daily and compromises our future.

Salvatore D'Agostino

Prefazione

Ancora una volta la cara *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, Presidente della Associazione, ha voluto che, in qualità di Presidente Onorario, presentassi il IX Convegno Nazionale della Associazione Italiana di Storia della Ingegneria. È per me un onore di cui ringrazio *Francesca* e gli Organi della Associazione.

Viviamo ancora un doloroso periodo segnato dai prodromi della pandemia e dal conflitto in Europa che agita l'assetto sereno delle nostre Istituzioni, ci segna nel quotidiano e compromette il nostro futuro.

Ciononostante, il dovere di intellettuali ci impone di proseguire nel nostro impegno, per perpetuare i valori fondanti della nostra civiltà. E così, con l'impegno totale della Presidente e del Tesoriere, il carissimo *Boris Palella*, anche quest'anno si svolge il IX Convegno di Storia della Ingegneria, International Conference.

Esso continua ormai un percorso ben consolidato che ogni due anni si arricchisce di un numero significativo di contributi, quest'anno quasi cento, di molti accademici e liberi studiosi che, con costanza, contribuiscono allo sviluppo della Storia della Ingegneria.

Stante l'esperienza del 2020 che, in piena pandemia, consentì la realizzazione del seminario "on line" di presentazione dell'VIII Convegno, quest'anno si cercherà, pur garantendo il tradizionale percorso in presenza, con le due giornate napoletane, di realizzare anche la contemporanea trasmissione telematica, per consentire l'attiva partecipazione dei relatori impossibilitati a viaggiare, nonché una più capillare diffusione su tutto il territorio Nazionale.

Mi auguro che il percorso prosegua negli anni venturi con l'indefesso impegno della Presidente e la fattiva collaborazione del Tesoriere e del Consiglio Direttivo tutto.

L'anno prossimo cambierà la struttura degli Ordini Professionali e mi auguro che anche con i nuovi Organi, si possa instaurare un proficuo rapporto che ancora promuova la Storia della Ingegneria.

Intanto, ringrazio il CNI e gli Ordini di Napoli e Salerno per il loro fondamentale supporto, e il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali della Università degli Studi di Napoli Federico II, che collabora alla struttura operativa di questa iniziativa.

Invited Lectures

Relazioni a invito

Emanuela Guidoboni

Un progetto di isolamento degli edifici dal suolo per ridurre gli effetti del terremoto: il trattato di Giovanni Aldini (1781)

A project for reducing earthquake effects by isolating buildings from the ground: the treatise by Giovanni Aldini (1781)

Uno spirito intraprendente giovò
a volte anche co' suoi errori
Giovanni Aldini

Sommario
Poco dopo la prolungata crisi sismica che colpì Bologna e il suo territorio tra il giugno 1779 e l'autunno 1780, fu scritto quello che può essere considerato il primo progetto per isolare le case dal suolo al fine di attenuare gli effetti delle scosse. I terremoti bolognesi avevano causato pochi crolli, ma soprattutto lesioni e dissesti, anche in edifici di recente costruzione. Si accese subito un accanito dibattito teorico sulle cause dei terremoti, cui presero parte intellettuali e scienziati del tempo. Fra questi, Giovanni Aldini (1762-1834), il giovane e geniale nipote di Luigi Galvani, che scrisse nel 1780 un trattato su quei terremoti e sui "rimedi" da applicare per attenuare gli effetti delle scosse sulle costruzioni. Questo manoscritto, ancora inedito, unisce alla conoscenza critica della teoria elettricista il progetto di case isolate dal suolo: una soluzione concettualmente simile ai moderni isolatori sismici. Nel manoscritto sono proposte due soluzioni, qui presentate nel cruciale rapporto fra teorie e applicazione, nel contesto culturale in cui fu poi progettata alcuni anni dopo in area borbonica la "casa baraccata".

Abstract
Shortly after the prolonged earthquake crisis affecting Bologna and its hinterland between June 1779 and autumn 1780 we see what may be deemed the first project for reducing the effects of ground shaking by isolating buildings from the ground. Bologna was one of the most important centres in the Pontifical State, economically and culturally. The great number of tremors had severely damaged most of its buildings, including many recently-built ones. The residents of were frightened, and the local economy had collapsed. These circumstances sparked a vigorous theoretical debate among Bolognese intellectuals and scientists, who were well informed about the European context. Among them was Giovanni Aldini (1762-1834), Luigi Galvani's brilliant young nephew, who wrote a treatise on earthquakes that is still unpublished. He tackled the

dual issue of “remedies” to mitigate the effects of tremors on buildings. Aldini’s work combines a critique of the still-prevailing electric theory with a proposal for a special building style, which aims at reducing the earthquake impact: a solution conceptually similar to modern seismic isolators. Two versions are proposed in the manuscript, along with explanations and drawings. The present study traces the crucial connection between the interpretive theory of the issue and its practical solution, amid a cultural setting in which the Kingdom of Naples would shortly experiment with a well-known and controversial project, the wooden-framework construction (casa baraccata).

Introduzione: chi era Giovanni Aldini

Giovanni Aldini (1762-1834) era il nipote di Luigi Galvani (figlio della sorella), nato a Bologna, dove fu avviato agli studi scientifici e divenne prestissimo allievo del matematico e fisico Sebastiano Canterzani (1734-1818), accademico di fama europea e segretario dell’Istituto delle Scienze di Bologna, Accademia fondata nel Seicento in competizione con l’Università. A soli 18 o 19 anni, Giovanni si occupò dei terremoti che avevano tormentato la sua città per lunghi mesi, dal giugno 1779 al novembre 1780: tale crisi sismica stimolò enormemente la sua riflessione scientifica, che espose nel trattato, ancora oggi inedito, intitolato: *Varie congetture fisiche intorno ai tremuoti*, oggetto di questo contributo. Da ossequioso discente *ancien régime*, Giovanni sottomise il suo lavoro al conte Vincenzo Zambeccari, rettore dell’Ateneo bolognese, dove si laureò nel 1782, e a vent’anni divenne prima lettore, poi subito docente di Fisica sperimentale all’Università di Bologna. Giovanni Aldini partecipò alle discussioni scientifiche del suo tempo, in particolare nel 1792 fu attivo a fianco allo zio nella famosa controversia fra Luigi Galvani e Alessandro Volta[1]. Nel 1798 Aldini prese il posto del suo maestro, Sebastiano Canterzani, nell’Ateneo bolognese, per l’insegnamento di Fisica sperimentale e matematica.

Assieme all’amico Luigi Valeriani (1758-1828), docente di economia e appassionato di scienze matematiche, Giovanni partecipò attivamente al Consiglio della Repubblica Cisalpina e insieme furono protagonisti del *Nuovo Piano di Istruzione* discusso tra il 1797 e il 1799, che poneva su basi del tutto nuove, laiche e scientifiche, l’impegno dello Stato per la formazione dei cittadini. Il Piano fu poi annullato con la Restaurazione del 1815.

Aldini fu un appassionato cultore degli studi sull’elettricità nel corpo umano, portando quindi avanti la strada tracciata dallo zio Luigi Galvani, ma esasperandone le prospettive. Infatti, si dedicò allo studio dei cadaveri e alla possibilità di ristabilire in essi delle funzioni vitali, come alcuni movimenti degli arti, grazie a degli stimoli elettrici esterni. Tra il 1802 e il 1803 condusse tali esperimenti a Londra, dove si esibì nei teatri, divenendo in breve ricco e notissimo[2].

Giovanni non smise di interessarsi alle vicende bolognesi: la sua preparazione scientifica e il suo orientamento politico, volto alla crescita culturale e sociale dei

ceti popolari, lo determinò a lasciare una generosa eredità al Comune di Bologna per fondare una scuola di fisica e di chimica applicate ai mestieri, finalizzata all'istruzione scientifica degli artigiani e degli operai specializzati. A questo suo lascito si aggiunse poi quello dell'amico Luigi Valeriani, per insegnare anche il disegno e la meccanica. La scuola divenne attiva nel 1844, ebbe grande successo e divenne nel corso del Novecento uno straordinario elemento propulsivo della fioritura di piccole e medie imprese di meccanica, che hanno caratterizzano l'economia della Regione Emilia-Romagna. Tale scuola, una delle più antiche d'Italia e d'Europa, è l'Istituto Tecnico Aldini-Valeriani, ancora oggi un centro di eccellenza nella formazione superiore di quadri tecnici e di mano d'opera qualificata.

La crisi sismica del 1779-80 a Bologna, fra paure, danni e polemiche scientifiche

Bologna, dopo più di un secolo di calma sismica dal 14 aprile 1666, fu colpita da una lunga crisi sismica. L'analisi di questa sequenza ha evidenziato il succedersi di cinque terremoti che causarono danni; si veda alla data (Guidoboni et al. 2018). In questo clima di tensioni e preoccupazioni si innescarono discussioni, riflessioni, confronti e anche aspre polemiche scientifiche. Le prime riflessioni riguardarono la qualità dell'edilizia bolognese, soprattutto in riferimento alla tenuta degli edifici. La prima traccia di questo tema, basilare per la risposta sismica della città, si trova nella corrispondenza fra un illustre membro dell'Istituto delle Scienze di Bologna, Alfonso Bonfioli-Malvezzi[3], e il matematico e fisico Nicolas de Condorcet, Segretario dell'Accademia delle Scienze di Parigi. Bonfioli-Malvezzi poneva in primo piano la robustezza dell'edilizia bolognese, un elemento di cui tenere conto, a suo parere, se si voleva capire quella crisi sismica e i relativi effetti: «Non debbo lasciare di avvertirvi che questi nostri edifizij sono assai forti, essendo costrutti di pietre di terra cotta durissime, le quali dalla calce vengono sì strettamente unite, che formano un massiccio, e sembrano una pietra sola» (Bonfioli-Malvezzi, 1780). Con queste poche parole Bonfioli-Malvezzi poneva l'accento sulla qualità dei materiali e dell'esecuzione dei lavori da parte delle maestranze locali. La complessiva buona qualità degli edifici di Bologna e i caratteri urbanistici della città erano tali per il controllo dell'Arte dei Muratori sulle maestranze: la specializzazione dei mastri e dei manovali prevedeva un lungo tirocinio e le capacità individuali erano direttamente riconoscibili all'interno della struttura gerarchica del cantiere.

I terremoti del 1779-80 causarono nella maggior parte degli edifici urbani rari crolli e soprattutto lesioni, cedimenti di volte e distacco di muri di facciata, pareti portanti fuori piombo. Gli effetti sugli edifici civili minori quasi mai erano oggetto di attenzione da parte delle pubbliche amministrazioni. Bologna, che aveva all'epoca circa 68.000 abitanti, dal 1513 apparteneva allo Stato della Chiesa e aveva un governo definito "misto", esercitato da un Senato, costituito da rappresentanti dell'aristocrazia locale, e da un Legato pontificio. Il predominio della nobiltà e del clero nella vita sociale aveva creato un certo immobilismo economico e sociale, elemento

che spiega la scarsa capacità e volontà di intervento nella fase di riparazione dei danni, piuttosto lenta e non particolarmente efficace. Dal punto di vista economico il problema maggiore fu l'aumento eccessivo dei prezzi nell'edilizia, che riguardò sia le prestazioni di manodopera, sia il costo dei materiali da costruzione. Inoltre, un notevole calo delle vendite colpì il settore commerciale, poiché i cittadini preferirono promuovere a loro spese pratiche devozionali e acquistare farmaci e medicamenti contro la paura, che era ormai divenuta endemica con il protrarsi delle scosse.

Il contesto teorico del trattato

I terremoti bolognesi del 1779-80 accesero un grande interesse nell'ambiente scientifico del tempo: la frequenza delle scosse e il loro perdurare per oltre un anno, unitamente alla diffusione delle conoscenze scientifiche sull'elettricità, da pochi decenni scoperta e al centro di sperimentazioni rilevanti, animarono un vivace dibattito, al quale parteciparono accademici e uomini di scienza. Il dibattito tuttavia non portò delle novità nel pensiero scientifico del tempo: piuttosto furono riprese e discusse varie teorie sull'origine del terremoto, sia quella in auge dall'inizio del Seicento, denominata "fuochista", perché postulava l'esistenza di un fuoco centrale della Terra, sia quella elettricista, allora di recente formulazione.

La teoria fuochista, già elaborata nel mondo antico, esposta su basi nuove da Georg Bauer-*Agricola* (1494-1555), e in seguito sistematizzata da Atanasio Kircher (1638), ebbe un grande consenso durante tutto il XVII secolo e in parte del XVIII, dando origine a interpretazioni fra loro leggermente diverse, a volte anche difficilmente distinguibili. Durante la crisi sismica bolognese del 1779-80, quel variegato *plafond* teorico, per così dire, molto diffuso, fu messo a serrato confronto con le posizioni allora più recenti, basate sull'elettricità. La teoria elettricista si era andata affermando dalla metà del Settecento, incoraggiata proprio dallo sperimentalismo attorno all'elettricità e al magnetismo terrestre, e rappresentava la grande novità scientifica di quegli anni. La scoperta che l'elettricità atmosferica fosse identica a quella ottenuta con la bottiglia di Leida[4] aveva dato luogo a nuove ipotesi interpretative riguardo ai terremoti. In Europa, primi sostenitori della teoria elettricista furono il chierico e fisico William Stukeley (1687-1765) e il geologo e fisico Andrea Bina (1724-1792), monaco benedettino: entrambi sostenevano che il terremoto derivasse da una scarica elettrica fra la Terra e l'atmosfera e che il moto sismico derivasse da interferenze vibratorie, simili a quella d'una corda di strumento o a quella di un bicchiere quando se ne sfrega l'estremità con un dito. Da evidenziare che non c'era ancora l'idea di "onda sismica", ma ci si avvicinava. Stukeley ipotizzò che da un moto vibratorio potesse derivare un moto oscillatorio, capace di produrre effetti meccanici considerevoli. Come la maggior parte degli elettricisti del tempo, Bina voleva dimostrare che tutto era elettricità. Riteneva che la scossa ricevuta dagli esseri viventi dalla scarica della bottiglia di Leida fosse identica a quella sismica, mentre Stukeley lo dubitava; egli riteneva, inoltre, che il "fluido elettrico" contenuto nelle viscere della Terra fosse ecci-

tato dall'esplosione di sostanze combustibili presenti nel sottosuolo, provocando così lo scuotimento violento della crosta terrestre (Bina, 1751). Anche Giovanni Beccaria (1716-1781), prete scolopo e fisico piemontese, autore del primo rigoroso trattato europeo sull'elettricità e corrispondente di Benjamin Franklin, utilizzò le sue conoscenze in campo elettrico per spiegare il terremoto. Nella sua opera *Dell'elettricismo artificiale e naturale,* Beccaria sostenne che l'interno della Terra fosse intriso di "vapore elettrico", una specie di sorgente dell'elettricità atmosferica. Come Franklin, Beccaria pensava che tale elettricità cercasse il suo stato di equilibrio: se tale "sbilancio", come veniva definito, avveniva nell'atmosfera si aveva il fulmine, se nel sottosuolo, si aveva il terremoto. L'elettricità era considerata da Beccaria come un "vapore elastico", dotato di grandissima velocità di trasmissione (Beccaria, 1753).

Proprio nell'anno 1780, a Bologna, Luigi Galvani stava scrivendo la sua opera principale, *De viribus electricitatis in motu musculari,* poi pubblicata oltre un decennio dopo, nel 1791. Per comprendere le posizioni espresse da Giovanni Aldini nel suo trattato, occorre precisare che gli accademici bolognesi si divisero sulla base della loro adesione al fuochismo o all'elettricismo, anzi inizialmente si contrapposero con veemenza. Quando accaddero i terremoti bolognesi, la teoria fuochista era in fase declinante, perché le dispute scientifiche seguite al terremoto di Lisbona del 1755 avevano portato in Europa una radicalizzazione della teoria elettricista, pur da alcuni negata, come dal giovane *Magister* Immanuel Kant (1725-1804), che su quel terremoto di Lisbona scrisse ben tre brevi trattati su posizioni fuochiste. Tutto l'ambito teorico riguardante i terremoti in quegli anni appariva in movimento e intanto cominciava a diffondersi una terza teoria interpretativa, il vulcanesimo.

La prima formulazione di questa ultima teoria fu di John Mitchell (1724-1793), professore al Queen's College di Cambridge, che pubblicò nelle *Philosophical Transactions* le sue *Conjectures.* Mitchell (1761) evidenziava l'analogia esistente fra i fenomeni sismici e vulcanici, inducendo che la loro origine fosse comune. Del terremoto di Lisbona del 1755 Mitchell aveva studiato minuziosamente la direzione, la forza, l'ampiezza del moto del suolo e il tempo di propagazione. Utilizzando quel metodo Mitchell localizzò grosso modo l'area sorgente del terremoto in mare, come infatti era. Egli volle inoltre dimostrare che il motore fondamentale delle "vibrazioni sismiche" e il potere esplosivo dei vulcani era il vapore acqueo, prodotto dal contatto con masse terrestri incandescenti, che creava, secondo Mitchell, dapprima delle dilatazioni e compressioni, poi un movimento di "vibrazione" nel terreno circostante e a seguire una grande quantità di vapore si propagava fra gli strati del terreno, causando un moto "ondulatorio" (*wave-like*). Occorre precisare che Mitchell aveva capito che il moto ondulatorio può essere percepito più lontano del moto vibratorio e causare l'oscillazione delle acque. Eppure, a dispetto del fatto che Mitchell abbia usato nelle sue opere la parola onda (*wave*), è sbagliato affermare, come spesso è stato scritto, che egli fu il primo a capire il fenomeno delle onde sismiche[5]: questo concetto era ben lontano dall'essere formato.

Per grandi linee tale era il contesto scientifico italiano ed europeo in cui si sviluppò a Bologna il dibattito sui terremoti.

La transizione teorica nel contesto accademico bolognese

Il trattato in esame si colloca dunque in un periodo di transizione riguardanti tre teorie diverse, fuochismo in declino, elettricismo in pieno *consensus*, vulcanesimo in ascesa, e il giovane Aldini optò comprensibilmente per la teoria allora più condivisa , l'elettricismo, soprattutto in un'ottica sperimentale e applicativa. Sebastiano Canterzani, il maestro di Giovanni Aldini, nel 1780 era un convinto elettricista e sostenne chiaramente che il terremoto era generato dalla scarica nell'atmosfera di "materie elettriche" (Canterzani, 1780): a tale "eccesso di elettricità terrestre" Canterzani attribuiva i fenomeni fisici che molte persone affermarono di aver sentito durante le scosse a Bologna: vampate di calore al volto o alle gambe, sensazione di essere afferrati alle spalle e il crepitìo continuo dei muri e dei vetri: segno questo, riteneva, di attività sismica continua. Su questi fenomeni si discusse a lungo

Luigi Galvani aveva avviato gli esperimenti di applicazione dell'elettricità sui muscoli degli animali e la sua prima comunicazione all'Istituto delle Scienze di Bologna, intitolata *Sugli effetti dell'elettricità sul movimento muscolare*, è proprio del 1780, a crisi sismica in corso. Secondo Timoteo Bertelli (1887), uno dei padri della sismologia italiana, Galvani fu contrario all'interpretazione elettricista del terremoto, ma la sua posizione fu in realtà più sfumata e oscillante, come mostra la relazione tra l'analisi dei suoi taccuini e quanto poi pubblicò (Guidoboni, 2003).

È interessante ricordare che un altro autorevole studioso italiano dell'elettricità, Alessandro Volta (1745-1827), non partecipò ad alcun dibattito sull'origine dei terremoti. Anche Benjamin Franklin (1706-1790), cui si richiamavano quasi tutti gli elettricisti di allora, non diede un contributo specifico in questo senso e si tenne fuori dal dibattito diretto. Tutto ciò era ben noto all'ambiente scientifico bolognese e l'Istituto delle Scienze di Bologna, che era il punto di riferimento culturale e formativo più diretto di Giovanni Aldini non pubblicò studi su quei terremoti, né assunse una posizione ufficiale a sostegno dell'una o dell'altra teoria interpretativa, pur favorendo tutti gli aspetti sperimentali del problema. Un dibattito però dovette esserci, anche piuttosto acceso: ne è testimonianza quel voluminoso fascicolo, cui si è sopra accennato, inviato da Alfonso Bonfioli-Malvezzi a Nicolas de Condorcet, contenente le osservazioni sui fenomeni terrestri e atmosferici avvenuti durante i terremoti, compilate dai fisici bolognesi. Agli accademici di Parigi furono inviate anche le *Osservazioni del Barometro, Termometro, venti e stato dell'Atmosfera*, compilate dall'accademico bolognese Giuseppe Veratti (1707-93)[6], che riportavano, insieme alla descrizione dei fenomeni atmosferici, anche un elenco delle scosse e di alcuni fenomeni concomitanti, quali gli effetti sulle acque dei pozzi e sulle persone, un approccio che rivelava la sua posizione "fuochista"'. Nella lunga lettera d'accompa-

gnamento di tale documentazione, Canterzani, il docente più diretto di Aldini, scrisse a Condorcet che i fisici e gli accademici bolognesi avevano fatto le osservazioni ciascuno seguendo il proprio ingegno, per verificare se fosse possibile «stabilire un qualche ragionato Sistema», ma lo scopo si era rivelato «superiore alle loro forze»: un'affermazione che lascia il dubbio dell'ironia (Canterzani, 1780).

Il punto di vista del trattato

Fu dunque quel clima teorico un po' turbolento il contesto del trattato *Varie congetture fisiche intorno ai tremuoti*, manoscritto conservato alla Biblioteca Archiginnasio di Bologna. Questo testo, ben rilegato, scritto in elegante grafia e buon italiano settecentesco, con rare correzioni in interlinea, comprende 196 fogli (in *recto* e *verso*) e ha allegate 7 tavole, che contengono 13 figure, richiamate e commentate nel testo. La dedica al conte monsignor Zambeccari, di cui si è detto, è datato 9 settembre 1780, ma lo zero è corretto a penna e sembra nascondere un altro numero, quasi che l'Autore avesse poi voluto retrodatare il proprio lavoro; nella scheda della Biblioteca il manoscritto è datato 1781, data a cui ho fatto riferimento. Come luogo è indicato "Casa", trattandosi evidentemente di una dimora cittadina molto nota. La firma, dopo le formule di rito, è Giovanni Aldini. Il contenuto del trattato fu costruito quasi certamente in fasi diverse, forse distanziate fra di loro da vari mesi: infatti i temi sono esposti e ripresi con sviluppi nuovi, e la suddivisione dei contenuti sembra quasi rispecchiare le impennate delle discussioni all'Istituto delle Scienze, a cui assai probabilmente assistette /partecipò il giovane Aldini in quei tre anni cruciali, 1779-1781. La cucitura dei fascicoli e la numerazione continua dei fogli diede poi al testo una veste unitaria.

Il trattato inizia con una sistematica esposizione delle cause dei terremoti a partire dagli autori antichi fino alla contemporaneità, un dotto esercizio per dimostrare che l'Autore padroneggiava assai bene tutte le problematiche del tema, da quelle della filosofia naturale a quelle allora più avanzate della teoria elettricista e dei suoi oppositori. Ben consapevole della complessità e delle incertezze dell'argomento, Aldini scrive nell'Introduzione, al foglio X: «Se l'oscurità dei fenomeni dovesse trattenere i filosofi dal ragionarvi sopra, non vi sarebbe più luogo della fisica del quale fosse lecito il ragionare, non essendovene alcuno il quale non abbi seco congiunta l'oscurità». I dubbi non dovevano quindi frenare la ricerca, ma intensificarla: questo era il clima che nelle scienze si respirava allora a Bologna.

Giovanni entra poi nel merito della discussione sulla teoria elettricista, senza perdersi in vane polemiche, e dichiara di volere affrontare aspetti ben precisi del problema sismico (f**.** 36-37), sintetizzati nei seguenti quattro punti: (1) determinare la forza delle scosse; (2) osservare le mutazioni elettriche come precursori o come fenomeni collegati alle scosse; (3) esplorare la possibilità di individuare un preavviso del terremoto attraverso uno specifico strumento; (4) cercare un modo per tutelare le costruzioni dall'impeto del terremoto, prima che esso le colpisca: questo "pensiero previdente" è il punto

d'arrivo del trattato. Cito molto rapidamente i primi tre punti. Per misurare la forza del terremoto (punto 1, ff. 41-53) Giovanni progetta alcuni strumenti atti a «esplorare le leggi che serba la causa produttrice dei tremuoti, e le cautele per adoperarle, perché utilizzano tutti l'elettricità». Seguono la descrizione di uno apposito strumento che utilizza l'elettricità e l'elenco dei fenomeni elettromagnetici, su cui in quegli anni si facevano esperimenti (punto 2 e 3, ff. 82-93). Esamina infine la possibilità di costruire dei "ripari" contro la forza dei terremoti, consapevole che a nulla essi possono valere quando i terremoti causano voragini e cedimenti del terreno (punto 4, f. 105): sembra che Giovanni sia consapevole dei fenomeni di liquefazione, non rari nella Pianura Padana.

Il problema di limitare i danni alle case è posto in questi termini: se il terremoto propaga il movimento del suolo ai muri, come può una costruzione essere libera da tale tremore se non vi è nulla che possa «elidere affatto la forza impressa dall'urto del tremoto?». (f. 105). La prima proposta formulata nel trattato (f. 106) è correlata alla teoria elettricista, ma con alcune attenzioni particolari. Aldini propone di inserire nel suolo per ogni lato di una casa a base quadrata, otto pali lignei a molta profondità, raddoppiati, in modo da avere complessivamente 64 pali. Sopra di essi poggiano quattro travi, OP nella figura, fortificate mediante travi secondarie, secondo lo schema a sinistra nella Figura 1. Sopra questa base, scrive Aldini, «pianto e sorreggo la casa con le regole stabilite dagli Architetti per la sua maggiore stabilità». Prevede poi, come chiaro tributo alla teoria elettricista, che pareti e travi siano ricoperte da una vernice per isolarle dall'elettricità della terra, oppure da pelli di animali; questo pregiudizio è ripreso da Plinio e non tramontò che alla fine del XVIII secolo. I pali della fondazione, avvolti da fili metallici, avrebbero dovuto "condurre l'elettricità" verso gli alberi vicini. Le spranghe LT e SC formano le diagonali dell'area del quadrato compreso fra questi alberi; nel punto A dell'intersezione delle due spranghe è inserita una terza trave, AU, una sorta di "perno" che avrebbe dovuto, secondo Aldini, portare il vantaggio «di diminuire il moto individuale dei corpi», ossia limitare il moto dei muri (f.109). In questo modo, il moto sismico, qui definito «la violenza dell'aeromoto» (non c'era, come si è visto sopra, l'idea di onda), non avrebbe dovuto essere trasmesso al tetto. Aldini molto fiduciosamente osserva: «Alle spranghe superiori, siccome non formano un corpo continuativo, il moto non sarà comunicato in alcun modo» (f.113). Una proposta che, secondo l'A., poteva incoraggiare altri a migliorare il progetto.

Un'ampia parte del trattato è poi dedicata agli strumenti di osservazione dei terremoti; in particolare, Aldini progetta il suo *geosismetron,* uno strumento che aveva lo scopo di valutare la "forza" di una scossa sismica. Questi temi di sismometria sono poi ripresi in una Appendice tematica, ai ff.118-136.

L'isolamento degli edifici dal terreno

Nella Seconda parte del trattato, Giovanni riesamina gli aspetti teorici interpretativi sulle cause dei terremoti, inserendo l'esposizione dei terremoti causati dai vulcani, uno

sviluppo del tema esterno alla teoria elettricista, che riflette gli ambiti di discussione dell'Istituto delle Scienze di quei giorni. Qui riecheggia la recente teoria del vulcanesimo di Mitchell, esposta sopra, nota all'Istituto delle Scienze dalle *Philosophical Transactions*. Aldini osserva poi che impropriamente i sostenitori della teoria elettrica si richiamavano agli esperimenti del chimico Nicolas Lémery (1645-1715)[7] perché gli scoppi con zolfo e limatura di ferro, che potevano simulare in laboratorio l'inizio di un'azione sismica e vulcanica, non erano in realtà abbastanza profondi per essere attendibili. Si chiedeva quindi: se tali scoppi fossero fatti in profondità, arriverebbero a scuotere la superficie del suolo? (f.184)**.** Verso la fine del trattato, al f.186, Aldini riprende il tema dei "ripari", già esposto nella prima parte del manoscritto. Qui però l'intenzione è volta a sviluppare una proposta indipendente da un quadro teorico e questo è una novità, perché ogni riflessione sugli effetti sismici nel costruito fu quasi sempre strettamente connessa a una teoria interpretativa fin oltre la metà dell'Ottocento.

Giovanni scrive che il terremoto può recare danno alle fabbriche in tre modi: con il tremito, con il sussulto e con l'inclinazione e precisa cautamente che ci si può in parte difendere solo dai terremoti che causano "tremore". Passa quindi in rapida rassegna i modi di difendersi adottando sia particolari forme costruttive, sia il legno (f.187). Riguardo alla forma, osserva che la figura conica con la quale erano fatte «alcune case dell'America, le rende più resistenti e meno soggette alla ruina, grazie alle proprietà del cono, le cui pareti tutte ugualmente premono verso la base e dall'unione che strettamente le lega insieme e le congiunge» (f. 189). Riguardo al legno, a suo parere le case costruite con tale materiale erano «più elastiche e più facili a secondare il moto della terra». Inoltre, afferma, le fabbriche a un solo piano hanno meno da temere perché «sarà più difficile che la linea di direzione dei muri esca fuori della propria base»: un concetto molto diffuso fin dal tempo dei romani. Nei capitoli 69 e 70 Aldini espone il suo secondo progetto per attenuare lo scuotimento dei muri di una casa. Egli propone di nuovo una casa a base quadrata, a destra in Figura 1, con le seguenti indicazioni: «Sieno costruiti sottoterra i fondamenti x x, sopra d'essi siano posti quattro volte semicircolari, NUM, ad ognuna delle quali corrispondono due travi RN e MS li quali dal capo inferiore sieno introdotti nella volta di marmo, dal superiore nel lungo [trave di] legno RS. Gli spazi racchiusi nelle suddette travi rappresentano li robusti muri principali terminati dalle quattro travi OP, le quali formano il tetto della fabbrica; sopra delle quattro travi RS erriganси archi i quali sostengano i muri secondari che formar debbano l'opportuna divisione delle camere». La *ratio* di questa costruzione è che la fondazione sia separata dal resto della fabbrica per interrompere quello che Aldini definisce la "perfetta comunicazione del moto". L'isolatore è il corpo NUM, in particolare il punto U, al centro del disegno, sotto la casa. Ma poiché ciò non era realizzabile in maniera completa, Aldini, al capitolo 70, osserva che ci si dovrà accontentare del fatto che il moto trasmesso dalla terra alle fondamenta dalla casa e da queste ai muri possa subire "almeno qualche indebolimento".

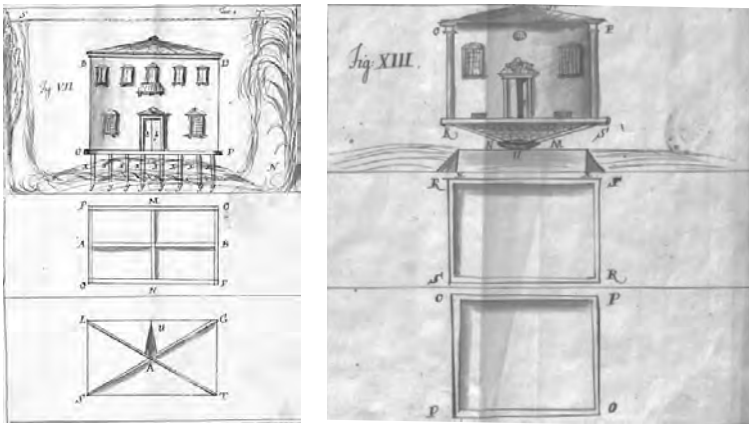


Fig. 1 - Trattato di Giovanni Aldini (Aldini G. 1781): *prima proposta di casa isolata dal suolo (a sinistra)* (tavola 4, figura VII)*; la casa isolata dal suolo per interrompere l'urto sismico (a destra)* (tav. VII, fig. XIII).

Il pensiero si faceva un po' più preciso, rilevando che «il moto comunicato dal pianoterreno alle volte semicircolari può considerarsi come un moto comunicato per le tangenti di otto uguali segmenti di sfera. Il contatto adunque si avrà per soli otto punti; dunque anche la comunicazione del tremore [sarà] per soli otto punti. Laonde si concepisce essere l'urto della terra trasferito al fondamento, non istantaneamente ma con successione (siccome avviene in tutti i corpi elettrici). Il tremore sarà successivamente applicato ora ad una, ora ad altra parte delle fondazioni e caderà nei punti di U, le quali cose sembra che debbano rendere men gagliardo il tremore alla fabbrica comunicato». Secondo Aldini, l'urto del tremuoto si sarebbe diffuso ugualmente ai quattro centri di gravità dei quattro muri principali e "la percossa" non sarebbe stata perpendicolare che in soli quattro punti, «laddove nelle fabbriche comuni tante ponno essere le perpendicolari percosse, quanti sono i punti delle travi alle quali è comunicato il movimento» (ff. 190-192).

Il trattato termina con la speranza che in futuro qualcuno altro avrebbe meglio risolto il problema e che in fondo si era nelle mani di Dio: un'osservazione, quest'ultima, quasi d'obbligo, in un contesto istituzionale e scientifico dominato da preminenti figure ecclesiastiche, e a cui occorreva chiedere il permesso di pubblicazione. Il tipo di approccio al problema della riduzione dei danni sismici, contenuto in questo trattato, è singolare nel panorama del tempo. Si noti che nello stesso anno in cui il giovane Aldini terminava il suo trattato, fu pubblicata da Francesco Milizia (1781), teorico dell'architettura neoclassica, l'opera *Principj di Architettura civile*, che per generazioni fu alla base dell'arte del costruire. In tale opera, Milizia si occupò anche degli effetti dei terremoti sulle case e scrisse, quasi *en passant*, che ci si poteva di-

fendere costruendole di legno, assai basse e larghe alla base, e da lui stesso definite simili a "casse", ossia con il baricentro entro le pareti perimetrali anche se sottoposte a forti movimenti. Era questo un singolare suggerimento, se si pensa che era proprio un "primate" dell'estetica architettonica a negare alle case comuni la dignità di costruzioni decorose, in nome di una sicurezza che pareva non poter essere realizzata se non rinunciando appunto a una dignitosa estetica.

Dubbi e certezze nel tumulto della realtà

Le proposte di Aldini non interessarono molto i suoi professori, o essi non si soffermarono a comprenderle, o fu ritenuto irrilevante occuparsi di prevenzione. Di fatto il trattato non fu pubblicato assai probabilmente per il mancato appoggio dell'Ateneo e dell'Istituto delle Scienze. Solo qualche anno dopo, nel 1783, una figura preminente dell'Istituto delle Scienze, Alfonso Bonfioli-Malvezzi, esternò pubblicamente molti dubbi sulla teoria elettricista nell'interpretazione dei terremoti e ne prese le distanze in una lunga dissertazione pubblicata nel trattato *Congetture su i terremoti* di Cristofano Sarti (1783), professore all'università di Pisa. La dissertazione fu inserita da Sarti dopo l'*Appendice di nuovi fatti e nuove illustrazioni alla teoria*: questo era di fatto il testo già inviato come manoscritto all'Accademia delle Scienze di Parigi, precedentemente citato, ma che non era stato diffuso.

Nel suo trattato Sarti fece seguire al testo di Bonfioli-Malvezzi un *Ristretto,* in cui erano presentate gli aspetti sperimentali del problema, con il titolo *Sperienze fatte da Monsignor Bonfiglioli-Malvezzi in occasione dei terremoti di Bologna.* Tale testo, prima della stampa, fu inviato all'Abate Beccaria, autorità in materia di elettricismo, e di Beccaria stesso fu pubblicato poi il commento sotto forma di una lunga lettera (Sarti, 1873: 204-208), alla quale contro rispose lo stesso Bonfioli-Malvezzi (Sarti, 1873: 209-213). Ma l'aspetto più interessante di questo dibattito teorico, pubblicato da Sarti alla luce del sole, è la parte intitolata *Nuovi dubbj* dello stesso Bonfioli-Malvezzi, formalizzato in otto proposizioni di *dubbi*, esposti ognuno con la relativa circostanziata *risposta* (Sarti, 1873: 213-222).

I dubbi stavano scalzando le certezze teoriche di quegli anni cruciali, 1780-1782, ma dei rimedi per difendersi dai terremoti nessuno sembrava più curarsi. Sarti forse intuì la portata della svolta teorica, che tuttavia non era affatto vicina. E mentre si discuteva e si dubitava dell'interpretazione elettricista, accadde la disastrosa crisi sismica della Calabria, durante la quale cinque terremoti di elevata energia, fra il 7 febbraio e il 30 marzo 1783, portarono rovine e lutti.

I due volti della "casa baraccata" di area borbonica

Sul disastro sismico della Calabria del 1783 Sarti fece in tempo ad aggiungere, a conclusione del suo trattato, una *Relazione*, datata 16 febbraio 1783, che egli stesso dichiarò di aver ricevuto da un "Personaggio di gran considerazione", di cui non svela

il nome. Nella *Relazione* si fa riferimento con grande deferenza al ministro Acton e al maresciallo di campo Francesco Pignatelli: lo stile e il modo di raccontare fanno ritenere che l'autore sia Giovanni Vivenzio (1737-1819), medico di corte, uomo di potere, informato da fonti ufficiali alle vicende dei terremoti calabresi di quell'anno. Vivenzio fu poi protagonista, assieme ad Acton e a Pignatelli, della gestione di quell'enorme disastro e ne scrisse dal punto di vista scientifico e politico. In quel contesto napoletano la teoria elettricista era ancora in auge e Vivenzio ne fu uno strenuo sostenitore, ignorando dubbi e discussioni scientifiche già circolanti e pubblicate.

In quella tormentata ricostruzione calabrese (Placanica, 1979), due ufficiali del Genio militare, gli ingegneri Antonio Winspeare e Francesco La Vega, assai probabilmente sollecitati dallo stesso Pignatelli, proposero un modello di nuova casa, ispirandosi sia alla "gaiola" portoghese, adottata per la ricostruzione di Lisbona dopo il terremoto del 1755, sia alla casa intelaiata di legno, presente da secoli in tutta l'area mediterranea e perfino nel nord Europa. Vivenzio aderì a quella proposta di casa, definita poi "baraccata", la elaborò in modo da darle non solo una motivazione teorica, ma anche un'immagine decorosa e ne pubblicò un suo modello (Vivenzio, l788). La "casa baraccata", nella proposta originaria degli ingegneri, mirava a realizzare caratteristiche di resistenza, flessibilità e maggiore sicurezza rispetto alle case calabresi allora in uso, costruite per i ceti popolari e poveri in *breste*, ossia in mattoni crudi misti a paglia, e per i ceti abbienti in pietra o mattoni. Tuttavia Vivenzio inserì la proposta della nuova casa nel contesto della teoria elettricista, evidenziando del legno soprattutto la sua capacità di non condurre la scarica elettrica e quindi di isolare la casa dalla scossa sismica. Questa intenzione è chiara nel disegno della "casa baraccata" pubblicata da Vivenzio, in Figura 2 a sinistra, divenuta poi quasi un emblema della cultura "antisismica borbonica". Accanto all'immagine della fitta intelaiatura lignea delle pareti e dei pali di fondazione, sono indicati i tipi di incastri lignei fra le parti da congiungere, e sono disegnati i "verticilli" di metallo da inserire, con la funzione di parafulmine rovesciato, per scaricare l'elettricità terrestre ritenuta causa del terremoto, in Figura 2 a destra. Questa scelta di Vivenzio rivestì di autorevolezza teorica la proposta della casa intelaiata, fermò la discussione sulla teoria elettricista, anzi consolidò l'approccio elettricista al terremoto. Tanto è vero che alcuni anni dopo, quando accadde il terremoto di Rimini del 1786, si pensò di costruire delle torri "paraterremoto" lungo il litorale, funzionanti come parafulmini rovesciati. La teoria elettricista ebbe complessivamente una vita assai breve e fu abbandonata del tutto nei primi decenni dell'Ottocento (Poirier, 2016).

Conclusioni

Il progetto del giovane Giovanni Aldini di limitare gli effetti dei terremoti, isolando in un certo qual modo le case dall'urto sismico, ci appare oggi più razionale della "casa baraccata", nella sua forma elaborata in ambito colto, strettamente connessa alla teoria elettricista. Il vantaggio della struttura lignea della casa tralicciata, in re-

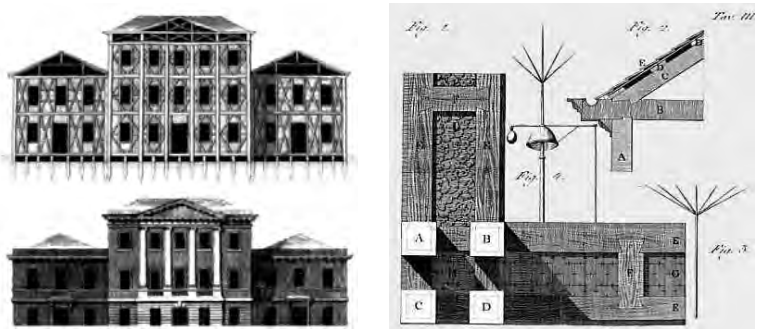


Fig. 2 – La 'casa baraccata' di Vivenzio: il disegno della casa (a sinistra), particolari degli incastri dei legni per la costruzione e i "verticilli" che avrebbero dovuto scaricare dal suolo all'aria l'elettricità terrestre (a destra) (Vivenzio, 1788: tavola III, fig.1).

lazione ai terremoti, ha trovato poi la sua affermazione su un piano totalmente pragmatico, ma non va dimenticato il contesto storico in cui fu proposta e divulgata. Il concetto di "isolamento sismico" delle case, che nel trattato di Aldini trova una sua precoce, ingenua e originale esposizione, pur anch'esso all'interno del quadro teorico elettricista, ebbe nel tempo un suo autonomo sviluppo, indipendentemente dai contesti teorici riguardanti l'interpretazione del terremoto, soprattutto quando l'onda sismica, allora ignota, divenne una realtà scientifica con cui fare i conti.

Le vicende di questi progetti, elaborati in modo indipendente nello stesso arco di pochi anni, pongono curiosamente in luce il rapporto storico fra la caducità e il superamento delle teorie e la forza innovativa delle applicazioni.

Bibliografia

Aldini G. 1781. *Varie congetture fisiche intorno ai tremuoti* Biblioteca Archiginnasio di Bologna, manoscritto B 1440.

Beccaria G.B. 1753. *Dell'elettricismo artificiale e naturale, libri due.* Torino: F.A.Campana.

Bertelli T. 1887. Di alcune teorie e ricerche elettro-sismiche antiche e moderne. Bullettino di bibliografia e di storia delle Scienze matematiche e fisiche, 20, 481-542.

Bina A. 1751. *Ragionamento sopra la cagione dei terremoti ed in particolare quello della terra di Gualdo di Nocera nell'Umbria seguito l'anno 1751*. Perugia: presso Costantini e Maurizj.

Bonfioli-Malvezzi A. 1780. Presentazione allegata al fascicolo *Sur le Tremblement de Terre de Bologne*. Académie des Sciences de Paris, Archives, *Pochette de Séance* 6 *mai 1780.*

Boschi E., Guidoboni E. (a cura di). 2004. *I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo.* Bologna: Editrice Compositori.

Canterzani S. 1780. *Sur le Tremblement de Terre de Bologne.* Archives de l'Académie des Sciences de Paris, *Pochette de Séance,* 6 *mai 1780.*

Galvani L. 1791. De viribus electricitatis in motu muscolari. In: *De Bononiensi Scientiarum at Artium Instituto atquae Academia Commentarii'*, n.7. Bologna.

Guidoboni, E. 2003. Il terremoto nei taccuini manoscritti di Luigi Galvani. In *I terremoti a Bologna nel suo territorio, dal XII al XX secolo* (a cura di E. Boschi e E. Guidoboni). Bologna: Editrice Compositori.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. 2018. *Catalogo dei Forti terremoti in Italia e nell'area mediterranea.* INGV, http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/

Kircher A.1664. *Mundus subterraneus*. Amsterdam: Jansson-Waesberg. (Edizione anastatica a cura di Vai G.B. 2004. Premesse di G.B. Vai, N. Morello e U. Eco. Bologna: Arnaldo Forni).

Milizia F. 1781. *Principj di Architettura civile*. Finale: Jacopo de' Rossi.

Mitchell J. 1761. Conjectures concerning the cause and observations upon the phenomena of earthquakes upon the phenomena of earthquakes. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, 51, 566-634.

Placanica A. 1979. *Alle origini dell'egemonia borghese in Calabria: la privatizzazione delle terre ecclesiastiche (1784-1815).* Salerno-Catanzaro: Società Editrice Meridionale.

Poirier J.-P. 2016. Electrical earthquakes: a short-lived theory in the 18th century. Earth Sciences History, 35, 283-302.

Sarti C. 1783. *Saggio di congetture su i terremoti*. Lucca: Francesco Bonsignori.

Vivenzio G. 1788. *Istoria de' tremuoti avvenuti nella provincia della Calabria Ulteriore e nella città de Messina nell'anno 1783, e di quanto nella Calabria fu fatto per il suo risorgimento fino all'anno 1787, preceduta da una teoria e istoria generale de' tremuoti.* Napoli: Stamperia Regale.

Note

1. Nella disputa, nota anche come controversia sull'arco voltaico, Volta sostenne che erano i metalli a trasmettere l'elettricità e che non esisteva alcun "fluido elettrico nel corpo animale".
2. Gli esperimenti di Aldini a Londra ispirarono forse Mary Shelley, autrice di Frankstein.
3. Alfonso Bonfioli-Malvezzi (1730-1804), appartenente a una delle più illustri famiglie nobili bolognesi, fu un protagonista della vita culturale e politica della città, in stretto rapporto con la cultura europea, in quanto corrispondente per la matematica e la fisica di varie accademie. Dopo l'occupazione napoleonica di Bologna, da conservatore illuminato cercò di partecipare alle innovative riforme cittadine, aderendo nel 1802, già molto anziano, al corpo dei Municipalisti.
4. Come è noto, la bottiglia di Leida fu la forma iniziale sperimentale del condensatore elettrico, messo a punto a Leida, in Olanda, da Pieter van Musschenbroek nel 1746.
5. Occorre forse precisare che, anche se le onde sismiche longitudinali sono veramente delle onde di dilatazione e di compressione, e anche se le onde di superficie possono propagarsi molto lontano e fare oscillare le acque, le onde sismiche sono delle *onde elastiche* nella terra, che attraversano strati rocciosi e li deformano, e non hanno niente a che fare con ciò che produrrebbe il vapore acqueo circolando fra gli strati, come immaginava Mitchell.
6. Giuseppe Veratti era il consorte della famosa Laura Bassi, seguace di Newton, docente a Bologna di fisica sperimentale, fra le prime donne al mondo a ottenere una cattedra universitaria, nel 1776.
7. L'opera di Lèmery, *Cours de chymie*, 1675, era stata tradotta in tutte le lingue europee e in latino, ed era considerato un manuale di chimica nella formazione scientifica, ristampata fino al 1756.

Vittorio Marchis

Ingegnerie del futuro, tra scienza e scaramanzia

Engineering of the future, between science and superstition

Felices tiempos cuando
los ingenieros eran pontifices.

Sommario
L'evoluzione della cultura dell'ingegneria è profondamente connessa con la nostra civiltà, e fin dai tempi più antichi la tecnologia è stata caratterizzata dalle sfide per un futuro ignoto. In questo senso esiste una continuità completa tra le procedure magiche e i modelli più deterministici della scienza contemporanea.

Abstract
The evolution of the engineering culture is deeply connected with our civilization, and since ancient times technology has been characterized by the challenges of an unknown future. In this sense, there is complete continuity between magical procedures and the more deterministic models of contemporary science.

Prologo
All'inizio del diciannovesimo secolo, la Società Tipografica Tramater di Napoli faceva uscire il *Vocabolario Universale Italiano*. Nel quinto volume pubblicato nel 1835, alla voce "Politecnico" si legge: «dal Latino *Polytecnicus* (Da *polys* molto, e *techne* arte). Aggiunto d'istituto o di scuola, in cui si insegnano molte arti. […]». Alcuni decenni più tardi Nicolò Tommaseo nel suo Dizionario della lingua italiana (Torino, 1861-1879) riportava la voce «Politecnico: che concerne molte arti in quanto dipendono dalle scienze, che tratta la scienza delle arti varie… Scuola politecnica, Istituto, Società». Così in Italia, da Napoli a Torino, la scienza razionale faceva definitivamente ingresso nella cultura politecnica, le cui origini militari ora si laicizzavano in una ingegneria "civile". Gli ingegneri, in verità, erano esistiti dai tempi più remoti e da sempre con le loro opere avevano sfidato le incognite del futuro.

Che l'ingegneria abbia nei suoi statuti epistemologici una intrinseca sfida e la conseguente scommessa sul futuro è cosa nota, ma forse spesso si ritiene che la razionalità di questa scienza applicata alla realtà ponga tutto su un piano di un prevedibile determinismo. Non è invece così perché, e lo dimostrano i fatti, spesso proprio di fronte al presentarsi di eventi imprevedibili l'ingegneria riesce solo a dare delle risposte a posteriori, anche se proprio da esse trae la propria esperienza. E così il paradosso che mette a confronto la scienza e la scaramanzia ci invita a meglio esaminare quali siano state e quali possano essere le risposte degli ingegneri di fronte alle sfide cui quotidianamente sono messi di fronte. Da un punto di vista storico, si possono trarre non tanto quegli insegnamenti che portano ad affermare che la storia "non è *magistra vitae*", quanto piuttosto una maggiore consapevolezza nel costruire una cultura in perenne evoluzione.

Questa breve analisi delle "ingegnerie del futuro", un titolo che racchiude in sé l'ambiguità dei rapporti sintattici, si dipana in tre momenti: la sapienza degli antichi, i discorsi e le dimostrazioni matematiche, le finzioni. Chi volesse dietro questi tre titoli individuare le presenze di altrettanti maestri, avrà modo di aprirsi a nuovi orizzonti, dove le valutazioni quantitative e i giudizi qualitativi vedono sorgere i conflitti tra la dimensione etica e quella economica in una società sempre più globalizzata, ma è necessario, come accadeva nei trattati medievali, far precedere il tutto da una brevissima *explicatio terminorum*.

Scienza è la disciplina che rappresenta la realtà cercandone un ordine, trasferendolo in un modello[1] che sarà utilizzato da chi vorrà operare nel concreto, mentre la scaramanzia, e forse anche la magia, evocata qui a Napoli non senza un po' di timore reverenziale, dovrebbe essere l'opposto della scienza, ma per il noto fenomeno della *coincidentia oppositorum*, riprendendo le parole di Claude Lévi-Strauss «la différence première serait donc, de ce point de vue, que *l'une* postule un déterminisme global et intégral, tandis que *l'autre* opère en distinguant des niveaux dont certains, seulement, admettent des formes de déterminisme tenues pour inapplicables à d'autres niveaux» (Lévi-Strauss, 1962: 19).

Scienza e magia, scienza e divinazione, scienza e scaramanzia sono i poli intorno ai quali la scienza dell'ingegneria, sin dalle sue origini più antiche, ha dovuto sviluppare tutte le proprie mappe concettuali, perché nonostante tutto il futuro è inconoscibile. I recenti fatti che le contingenze di una pandemia hanno posto davanti agli occhi di tutti noi, e non solo degli scienziati e degli ingegneri, ne sono la più chiara conferma.

Questo mio contributo nasce da un lungo lavoro condotto a partire dal mio lontano libro *Modelli* (Marchis, 1988), dove con semplici modelli matematici cercavo di simulare realtà deterministiche e stocastiche, non solo nel mondo delle scienze esatte ma anche in quello delle scienze sociali e delle arti. Negli ultimi anni, ho sviluppato la mia duplice attività di ingegnere e di storico (Marchis, 2018) [1].

La sapienza degli antichi

… ut non modo casus eventusque rerum, qui plerumque fortuiti sunt, sed ratio etiam causaeque noscantur. (Tacito, Historiae, I-4)

Ὁ μύθος δελοι οτι, la favola mette in chiaro che: così terminavano le favole di Esopo e il mito, in assenza di una spiegazione "scientifica", trasferiva nel mondo della metafora una conoscenza intuitiva, basata sull'esperienza, sulla sapienza degli antichi. I miti hanno spiegato per secoli i mutamenti della nostra civiltà che ha dovuto rimodellarsi nel passaggio dal nomadismo all'agricoltura, ma proprio questa "rivoluzione" ha dovuto fare ricorso alla tecnica, potremmo dire all'ingegneria, come lo fu la nascita dei primi insediamenti urbani, delle prime opere di bonifica dell'ambiente selvaggio come ci testimoniano le fatiche di Eracle, della domesticazione dell'ulivo e della vite. E fu proprio Athena a insegnare all'umanità a disporre i vigneti ἑν τάξις in fila, in ordine, come ci insegna ogni tassonomia. Prima della scienza e dei suoi modelli noi tutti viviamo e siamo sempre vissuti di racconti, perché a questa forma di conoscenza è legata la sopravvivenza della nostra specie: siamo *storytelling animals*.

Arriviamo ora a un testo che ha fatto scuola nella tecnologia del mondo latino e ben oltre. Nel primo libro del *De Architectura* di Marco Vitruvio Pollione, il settimo capitolo tratta "Della scelta de' luoghi per usi pubblici" e lì si può leggere: «Questo si trova fin anche stabilito negl'insegnamenti dell'aruspicina Etrusca, che i Templj, cioè di Venere, Vulcano, e Marte si abbiano ad alzare fuori delle mura, e questo, acciocchè non si familiarizzi dentro la città co' giovani, e colle madri di famiglia la libidine venerea; e tenendo lontana dalle mura la potenza di Vulcano colle preghiere, e co' sacrifici, restino le abitazioni libere dal timore d'incendio». È questo l'unico passo in cui si fa esplicito riferimento agli aruspici. Per una struttura architettonica la *firmitas*, la *venustas* e l'*utilitas* diventano così le principali regole cui ogni progetto deve adeguarsi e così l'architettura diventa vera scienza interdisciplinare. A questa trilogia ecco che «particolare ed efficace è l'aggiunta di Aldo Rossi, che completa le tre componenti con la fortuna. La fortuna che, gioco forza, dovrebbe accompagnare ogni lavoro, ogni progetto così come ogni fatto positivo della vita» [2]. Così se l'architettura moderna mette da parte gli aruspici, come afferma Silvia Mantovani, sempre più per ipotizzare il futuro si cerca di interpretare la realtà attraverso regole deterministiche (Mantovani, 2009: 20). Spesso le città crescono nel caos e forse certe precauzioni scaramantiche non sarebbero del tutto negative.

Il fegato bronzeo etrusco rinvenuto da un contadino durante l'aratura il 26 settembre 1877 a Settima, frazione di Gossolengo nei pressi di Piacenza, rappresenta una mappa del *templum* celeste, suddiviso in sedici costellazioni marginali e in ventiquattro regioni interne dedicate ad altrettante divinità. Se anche mancano altre fonti, i legami tra l'astrologia e le pratiche aruspicine nell'Italia preromana dimostrano che i legami tra tecnologia e divinazione costituiscono un'invariante nella storia del

pensiero (Eliade, 1980; Eliade, 1993). A Roma la gerarchia organizzativa nell'ambito dei lavori pubblici era strettamente legata a quella religiosa, dove le figure del *rex auger* e del *pontifex maximus* svolgevano funzioni sia religiose sia politiche. Il sesto capitolo del Libro IX del *De Architectura* è dedicato all'astrologia. «Ho insegnato il vero giro del cielo intorno alla terra, […] il resto, che riguarda l'Astrologia, e gli effetti che producono e i dodici segni, e i cinque pianeti, e il Sole, e la Luna sopra il corso della vita umana, bisogna lasciarlo a' raziocinj de' Caldei; […] Per le cose fisiche vi furono Talete Milesio, Anassagora Clazomenio, Pittagora Samio, […] Il sapere di costoro deve essere ammirato dagli uomini, perchè giunsero a tanto, che sembrano predire per ispirazione divina gli accidenti futuri delle stagioni: ond'è, che debbono queste cose lasciarsi alla cura, ed applicazione loro» (Galiani, 1790).

Per comprendere definitivamente lo spirito con cui il mondo romano guardava alla divinazione un riferimento non può mancare a Marco Tullio Cicerone che appunto a questa "disciplina" dedica un intero trattato. Queste le prime righe del primo libro del *De Divinatione*: «È un'opinione antica, risalente ai tempi leggendari e corroborata dal consenso del popolo romano e di tutte le genti, che vi siano uomini dotati di una sorta di divinazione – chiamata dai greci *mantiké* –, cioè capaci di presentire il futuro e di acquisirne la conoscenza. Capacità magnifica e salutare, se davvero esiste, grazie alla quale la natura di noi mortali si avvicinerebbe il più possibile alla potenza degli dei! E come in altri casi noi romani ci esprimiamo molto meglio dei greci, così anche a questa straordinaria dote i nostri antenati dettero un nome tratto dalle divinità, mentre i greci, come spiega Platone, derivarono il nome corrispondente dalla follia». Tutto sembra chiaro, ma proprio al termine Cicerone insinua un dubbio: «Questa cosa sola voglio asserire: l'oracolo di Delfi non sarebbe mai stato così frequentato e così famoso, né arricchito di così splendidi doni di tutti i popoli e i re, se in ogni tempo non si fosse sperimentata la veridicità dei suoi responsi» [3].

Se la superstizione e la scaramanzia ad essa collegata sono state oggetto di attente disamine e critiche di teologi e filosofi, da Tommaso Campanella (Campanella, 1630) a David Hume (Hume, 1777), ci si chiede perché Michelangelo Buonarroti, nell'affrescare il soffitto della Cappella Sistina, a fianco dei profeti dell'Antico Testamento abbia posto le Sibille. Già presenti nelle tarsie lapidee del pavimento del Duomo di Siena, le Sibille erano state oggetto degli *Opuscula* del domenicano Filippo Barbieri (Barbieri, 1481) che certamente Michelangelo aveva letto. Come afferma Luigi Guerrini «la storia della riflessione umana sullo statuto epistemologico e la credibilità dell'astrologia appare al Campanella una delle più tormentate e il suo tentativo di dimostrazione della conciliabilità della pratica della divinazione astrale con i fondamenti della religione cristiana palesa l'intensità con la quale egli ne ha seguito e ricostruito i momenti» (Guerrini, 200: 199-209). Ancora si discute sul dualismo religione-astrologia e la scienza se ne tiene in disparte.

La storia dell'umanità si svolge da una episteme antica dominata dai criteri di "somiglianza" e "similitudine" alla episteme della scienza nuova caratterizzata dal principio della "rappresentazione" (Foucault, 1966), dove la misura e l'ordine sono alla base di quella rivoluzione scientifica che Alexandre Koyré definirà nella transizione «dal mondo del pressappoco all'universo della precisione» (Koyré,1957). L'astrologia, l'architettura e la meccanica nel mondo antico procedono realizzando a partire dalla osservazione della natura uno schema da replicare, semmai in scala, e da interpretare alla base di correlazioni fondate sulla memoria del passato.

Le mappe celesti per molti secoli hanno accompagnato l'arte di fare oroscopi, di cui non furono indenni né Keplero né Galilei, ma la rivoluzione scientifica è alle porte. Anche per l'arte del costruire aveva avuto i suoi profeti: «Villard de Honnecourt vi saluta e prega tutti coloro che lavoreranno sulle macchine di questo libro, di pregare per la sua anima e di ricordarsi di lui, poiché in questo libro si possono trovare buoni consigli sulla grande arte delle costruzioni e sulle macchine di carpenteria; e troverete in esso l'arte del disegnare, i fondamenti, così come li richiede ed insegna la disciplina della geometria» (de Honnecourt, s.d.: f. 2 r.).

Il disegno, *la force de la portraiture*, e la geometria, *li ars de iometrie*, stanno diventando le nuove discipline protagoniste di una ingegneria che vuole costruire artefatti durevoli, anche se i *fra-maçons*, i costruttori delle cattedrali, procedono nelle loro opere intervallando le varie fasi delle costruzioni a intere stagioni, per consentire una verifica diretta della loro solidità e capacità di adattarsi al mutare del tempo.

I discorsi e le dimostrazioni matematiche

«La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che […] è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro laberinto». Così scriveva Galileo Galilei nel Capitolo sesto del *Saggiatore* (Galilei, 1623) e ribaltava sul tavolo della scienza le rappresentazioni di una Natura non più inseguita nei cicli del tempo, ma attraverso le matematiche. L'oggettività delle figure geometriche, e in seguito dei modelli algoritmici, cambia la rappresentazione del mondo e anche l'ingegneria e l'arte del costruire si adattano alla mutazione di un sapere euristico che trova nei manuali i depositari dei propri saperi. L'idraulica incomincia a prevedere le azioni dei fiumi e delle maree e anche se i *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Newton, 1687) si sviluppano intorno allo studio dei corpi celesti, così l'analisi sublime diventa lo strumento principe non solo per gli astronomi ma anche per ingegneri e artiglieri. Si ricordi qui che il 26 settembre 1755 Luigi Lagrange ricevette la nomina dal Re Carlo Emanuele III a "Sostituto del Maestro di Matematica" nelle Reggie Scuole di Teoria d'Artiglieria del capoluogo piemontese, all'età di appena diciannove anni e qui elaborò i suoi Principj di analisi sublime[2] che saranno alla base della sua *Mécanique analytique* (Lagrange,

1788) e della *Théorie des fonctions analytique* (Lagrange, 1797). Docente dal 1797 alla École *Polytechnique*, Lagrange sancì il consolidamento degli statuti epistemologici della nuova cultura politecnica sulla rigorosa base dell'analisi matematica.

Un intelletto che ad un determinato istante dovesse conoscere tutte le forze che mettono in moto la natura, e tutte le posizioni di tutti gli oggetti di cui la natura è composta, […] per un tale intelletto nulla sarebbe incerto ed il futuro proprio come il passato sarebbe evidente davanti ai suoi occhi». Per contro proprio da queste pagine Pierre Simon de Laplace con il suo saggio *Essai Philosophique sur les Probabilités* (Laplace, 1814) avrebbe fornito alla scienza una illusione di onnipotenza.

L'École des *Ponts et Chaussées*, l'École des *Mines*, l'École *Polytecnique* diventano il nuovo modello per l'istruzione tecnica. Così a Napoli, il 4 marzo 1811, nasce la Scuola di Applicazione in Ponti e Strade e per gl'ingegneri del Regno di Sardegna si sarebbe dovuto attendere la Legge Casati del 1859.

La "leggenda" che lega la figura dell'architetto Carlo Bernardo Mosca alla volontà di mostrare alla città di Torino l'esattezza dei suoi calcoli nel progettare il ponte che da lui prenderà il nome, trasferendo il 15 agosto 1830 l'intera sua famiglia su una barca proprio al di sotto dell'arco durante i lavori di disarmo della struttura di sostegno, dimostra come alla razionalità spesso si debba affiancare il ricorso alle ragioni emotive.

Rimanendo sempre nella capitale sabauda, dove a fianco della Scuola di applicazione era stato fondato nel 1863 il Regio Museo Industriale Italiano, e dove nel 1875 si sarebbe aperto il nuovo capitolo della *fée electricité*, nel Laboratorio di Elettrotecnica di Galileo Ferraris, un altro ingegnere affrontava nuove sfide. Vilfredo Pareto si era laureato ingegnere industriale nella Scuola di applicazione per gli ingegneri il 14 gennaio 1870 e aveva goduto dell'impostazione lagrangiana del calcolo che si era realizzata compiutamente proprio in quegli anni. Dopo una breve esperienza in un'industria toscana Pareto decise di trasferire l'analisi matematica all'economia; scrisse così il Manuale di economia politica (Pareto, 1906) e fondò la moderna econometria che insegnò all'Università di Losanna. La sua iniziale diffidenza nei confronti della divinazione lo aveva portato a scrivere che «Cicerone (*De nat. deor*., II, 3) cita un ragionamento mercé il quale, dall'esistenza della divinazione M, si deduceva l'esistenza N degli Dei» (Pareto, 1906: II, 14). Sempre nel medesimo Manuale affermava che «le leggi scientifiche non hanno un'esistenza oggettiva. […] e siamo costretti a considerare infinite uniformità parziali, le quali in mille modi s'intrecciano, si sovrappongono, si contrastano» (Pareto, 1906: I, 6-7). A segnare i limiti dell'econometria Pareto scriveva: «L'economia politica pura corrisponde alla meccanica razionale; spinge pure l'astrazione all'estremo, studia uno scheletro delle operazioni economiche; […] Per procedere oltre si chiede aiuto ad altre scienze: all'etica, alla scienza delle religioni, alla politica, ecc. [e così] chiamare sociologia tale scienza» (Pareto, 1899). L'ottimismo positivo per una scienza esatta entra così in crisi e già

alla fine del Manuale si poté leggere che «è manifesto che tanto più si allunga la catena delle deduzioni tra i fatti passati e i fatti futuri, tanto più esse divengono mal sicure ed incerte». Presto Pareto, rilevando i limiti di una scienza deterministica, passò definitivamente dall'economia alla sociologia, disciplina che insegnerà sempre a Losanna e dai cui studi uscirà il Trattato di sociologia generale (Pareto, 1916).

La storia dell'ingegneria in tutto il XX secolo si sviluppò in una continua tensione dove gli ingegneri a fianco di economisti e sociologi cercarono, oserei dire disperatamente, la formula magica per scoprire il futuro.

Come si può leggere alla voce "Futuro" nella Enciclopedia delle scienze sociali dell'Istituto della Enciclopedia Italiana, Wendell Bell afferma che «la futurologia moderna si può far risalire agli anni sessanta» [4]. Nella prima metà del Novecento ancora mancavano gli strumenti e tra essi in primis il computer. Negli anni '50 le cose stavano cambiando e la pubblicazione del saggio di Fred Polak, *Die Toekomst Is Verleden Tijd* (Polak, 1956), tradotto in inglese nel 1961, costituì una pietra miliare segnando, con il concetto della "immagine del futuro", la strada a numerose ricerche sul confine tra storia, economia, antropologia e sociologia. La nascita ufficiale della futurologia "scientifica" si attesta quindi con il saggio *L'art de la conjecture. Futuribles*, apparso a Monaco nel 1964 (De Jouvenel, 1964). Sull'onda lunga del miracolo economico, lo sviluppo degli studi sul futuro in Italia e in Europa, fu oggetto di ampie ricerche da parte di Eleonora Masini [5] e ancor più di Pietro Ferraro, manager e proprietario delle Cartiere del Timavo a Trieste, che fondò nel 1967 la rivista Futuribili, cui parteciparono molti intellettuali di frontiera: Sergio Cotta, Valerio Tomini, Silvio Ceccato, Giorgio Nebbia, Aurelio Peccei, quest'ultimo ben noto per l'avventura del Club di Roma sui temi dei limiti dello sviluppo.

Nel 1968, presso il Massachusetts Institute of Technology, in un contesto che sempre più vedeva lo sviluppo dei grossi elaboratori elettronici, Jay W. Forrester aveva sviluppato il programma DYNAMO con cui si potevano risolvere numericamente sistemi di equazioni differenziali e con il quale si era incominciato a mettere a punto modelli in grado di rappresentare gli andamenti nel tempo di sistemi economici complessi, retti da equazioni non lineari, che difficilmente avrebbero potuto trovare una soluzione analitica. Nel 1970, il Club di Roma, che come accennato aveva raccolto un gruppo di intellettuali di tutti i Paesi, individualmente preoccupati dalla crescente minaccia dell'esaurimento delle risorse, dell'inquinamento e della crescita incontrollata della popolazione mondiale, invitò il System Dynamic Group del MIT, diretto da Dennis L. Meadows a intraprendere uno studio sulle dinamiche mondiali (Meadows et al., 1972).

Nel 1975 Cesare Marchetti era entrato all'International Institute for Applied Systems Analysis di Laxenburg, nei pressi di Vienna, dove sviluppò una personalissima analisi dei fenomeni economici misurabili, arrivando anche a toccare non senza ardimento alcuni settori della politica e della cultura. Con l'introduzione della variabile

[N/(1 – N)], dove N esprime la percentuale di presenza di una certa grandezza fisica, incominciò a esplorare i settori dei trasporti e dell'energia nei confronti dei quali disponeva di serie storiche numeriche negli ultimi due secoli. Su questi semplici modelli si è fondata gran parte dell'attività predittiva di Cesare Marchetti. Ma è facile fare previsioni a posteriori e se dai suoi allo IAASA sono emersi risultati importanti, di fatto questi hanno portato a risultati poco utili a scopi pratici.

Al Santa Fe Institute, fondato nel 1984 da un gruppo di scienziati provenienti dal Los Alamos National Laboratory dove si studiano i sistemi complessi dalla fisica alla finanza, la sfida di predire il futuro è sempre di grande attualità. A seguito di un workshop tenutosi nell'agosto del 2016 con il titolo *Prediction: How good can we get?* Jenna Marshall affermava che gli scienziati stavano facendo passi da giganti nel predire il futuro, ma che ciò nonostante le previsioni rimanevano un problema difficile da risolvere e che bisogna ammettere che si doveva andare a cozzare contro qualche limite fondamentale. Il problema rimaneva perché restava aperta la questione sulla esistenza di alcuni "limiti" di cui non era chiara l'essenza e David C. Krakauer, biologo, ha recentemente pubblicato in proposito una sintesi delle ricerche al Santa Fe Institute (Krakauer, 2020). Ancora di più oggi la tecnologia si intriga con l'evoluzione della specie umana dove simbionti e strutture artificiali intelligenti sembrano condizionare il nostro futuro. Proprio nella contingenza della attuale pandemia, ancora Krakauer ha curato una raccolta di saggi in cui si afferma che la Covid «ce lo dice: la questione non è solo medica: è sociale, matematica, antropologica» (Krakauer e West, 2021) , enfatizzando ancora di più la necessità di far interagire tutti i saperi (Marchis, 2020).

L'immagine in Figura 1 raffigura una piastrella in cui si è verificata una rottura istantanea a seguito di un forte shock termico. L'andamento delle due linee di frattura che si propagano probabilmente da un'iniziale punto di singolarità sul suo lato sinistro, anche se a posteriori potrebbe essere simulato con una certa raffinata tecnica di modellizzazione, difficilmente avrebbe potuto essere previsto. Si voglia assumere questa figura come la sintesi della difficoltà di prevedere il futuro.

Le finzioni

Se si ricorre alla storia delle parole la "finzione" si ricollega al latino *fingere* e di qui alla radice indoeuropea *fig-* legata all'azione del creare, del plasmare. Il verbo greco ποιεῖν (fare) che in origine significava appunto modellare la creta rinvia al mito del dio egizio Khnum, che plasma l'uomo modellando l'argilla su un tornio.

La fantascienza, spesso considerata una letteratura di serie B, trova oggi sempre più una propria ragione epistemologica, proprio perché pone alla ribalta l'immaginazione e la creatività che sono alla base della stessa ricerca scientifica. Nel suo breve saggio intitolato Come *è facile prevedere il futuro!* apparso in lingua originale nel 1975 sulla rivista *Natural History* dell'*American Museum of Natural History,*

Fig. 1 – Opera d'arte astratta o fotografia di una biforcazione caotica? (Foto di V. Marchis).

Isaac Asimov cercava di scoprire se la letteratura di fantascienza potesse assumere un ruolo profetico o quantomeno di attenzione sociale, conclude: «la fantascienza profetizza spesso l'inevitabile, e se problemi e catastrofi sono inevitabili, le soluzioni non lo sono certo. […] Il miglior modo per evitare una catastrofe è prendere provvedimenti molto tempo prima che questo accada. […] Ed è proprio in tal senso che la fantascienza ci è di aiuto» (Asimov, 1984), .

Afferma Jonathan Gottschall che noi apparteniamo a «una specie con l'istinto di narrare» (Gottschall, 2012) che per tale tensione essenziale ha modellato le proprie mappe mentali. Se nei tempi passati i modelli di previsione del futuro facevano affidamento al volgere delle stagioni e al corso degli astri, oggi questi retaggi devono essere analizzati nella loro reale essenza. Oroscopi astrali e almanacchi per lunghi secoli sono stati ritenuti vera scienza e ciò che oggi di loro resta può e deve essere tenuto in conto nella sua natura mitopoietica (Casali, 1993; Minois, 1996). I riti che ancora oggi sussistono nell'arte del costruire, come benedire la posa della prima pietra di un ponte o di un grattacielo, issare una bandiera o un ramo di ulivo al completamento del tetto di una casa, battezzare il varo di una nave, sono parte integrante della nostra cultura e non devono essere irrisi, ma compresi nella loro dimensione simbolica. E per condurre una analisi comparata dei saperi degli ingegneri si può partire dalla lettura del libro di Giulio Busi, *Indovinare il mondo*, dove si affrontano quattromila anni sul mistero della divinazione (Busi, 2021). Gustav Jahoda ci riporta invece alle esperienze della psicologia e della psicanalisi (Jahoda, 1972). Fa sorridere invece il libro di Ellen Weinstein, una raccolta, anche ampiamente illustrata, dei riti scaramantici di scrittori, scienziati, artisti e politici (Weinstein, 2018). Ma per chi volesse trovare anche un'analisi razionale di un comportamento superstizioso potrebbe far ricorso alla teoria dei giochi di Nash. A questo proposito due matematici hanno scritto un saggio (Fudenberg e Levine, 2006) in cui, senza entrare troppo in particolari, affermano che alcune, ma non tutte, le superstizioni possono persistere quando l'apprendimento è razionale e i giocatori sono pazienti. A tale proposito, gli

autori fanno ricorso a un esempio ispirato al codice di Hammurabi dove si cita la "prova della sopravvivenza nel fiume" per decidere se un'accusa sia vera, avendo la credenza che i colpevoli abbiano maggiori probabilità di annegare rispetto agli innocenti. «Per superstizione intendiamo una credenza oggettivamente falsa. Quando può una superstizione persistere di fronte a un apprendimento razionale? La nostra intuizione di base è che le superstizioni riguardanti eventi che sono fuori dal percorso di equilibrio hanno maggiori probabilità di persistere rispetto a quelle che non lo sono. Intuitivamente, se il gioco converge verso uno stato stazionario, ci aspettiamo che i giocatori imparino (almeno) il percorso di gioco. Tuttavia, questo non esclude false credenze sui play off del percorso di equilibrio». Anche la superstizione può diventare l'oggetto di un modello matematico.

L'ingegneria ha da sempre bisogno di nuove narrazioni e se la fantascienza non riesce completamente a soddisfare questa esigenza, la nostra società tecno-scientifica potrà sopravvivere solo se nasceranno nuove mitologie, così come i miti degli antichi, da Prometeo a Dedalo, da Eracle a Proserpina, hanno evitato l'estinzione della nostra specie al tempo della prima rivoluzione agricola.

Futuribili o prevedibili?

Le tesi di Ray Kurzweil, ingegnere capo della ricerca di Google, sono state illustrate in un articolo (Pedemonte, 2021) che prende il La dalla teoria del Cigno nero di Nassim Taleb, che nel 2007 esaminava la dimensione culturale della imprevedibilità degli eventi, come la nascita di un cigno nero, per la quale siamo tutti affetti da "distorsione retrospettiva" in quanto valutiamo gli eventi e cerchiamo di darne una spiegazione solo quando sono avvenuti (Taleb, 2007). Come riportato da Pedemonte, Kurzweil spiega di avere usato la parola «singolarità» perché «è la stessa che si usa per i buchi neri. Facendo i calcoli, possiamo prevedere che nel 2045 l'intelligenza non biologica sarà molti miliardi di volte più potente di quella umana. E questo comporterà una trasformazione radicale della nostra civiltà. Ogni aspetto della nostra vita cambierà ma, come nel caso dei buchi neri, non si può davvero sapere che cosa avverrà dopo». Pedemonte scrive: «Kurzweil parla di un futuro» (la fine di questo secolo) in cui le macchine intelligenti «saranno umane, anche se non biologiche», avranno «corpi virtuali all'interno di realtà virtuali» e saranno dotate di un'intelligenza «trilioni di trilioni di volte quella umana». A quel punto gli esseri umani vivranno soprattutto in ambienti virtuali «dove saremo persone diverse sia fisicamente sia emozionalmente» e dove ciascuno potrà scegliersi un corpo a piacere. In quel mondo «l'intelligenza non biologica saturerà la materia e l'energia dell'universo» e «l'intelligenza della nostra civiltà continuerà la sua espansione verso il resto dell'universo al massimo della velocità con cui l'informazione può viaggiare. Questo è il destino dell'universo: la Singolarità». Pedemonte così conclude il suo articolo: «Il futuro è imprevedibile ma talvolta qualche personaggio particolarmente illuminato

riesce a squarciare il velo». Sin dal 1968 Ithiel de Sola Pool, professore al Mit di Boston, predisse una rivoluzione nelle comunicazioni: «Nella futura società atomizzata, le informazioni che il cittadino otterrà nasceranno dai suoi interessi specifici» aggiungendo che «le notizie saranno personalizzate e i partiti saranno smantellati perché la politica sarà individualizzata e ogni partito sarà formato da una persona» (De Sola, 1968). Chi avrebbe potuto descrivere meglio, con mezzo secolo di anticipo, la realtà di oggi?

Di certo la rivoluzione che stiamo attraversando sta cambiando molte regole del gioco al centro delle quali sta "il paradigma della rete" che prepotentemente sta facendoci dimenticare "il paradigma della macchina", al centro della rivoluzione industriale e di cui hanno a lungo argomentato e discusso storici, filosofi e scienziati, da Gunther Anders a Lewis Mumford (Anders, 1961; Anders, 1980; Mumford, 2011), solo per citare i primi che vengono in mente. L'ingegnere, protagonista della prima, ma anche della seconda e della terza rivoluzione industriale, colui che "sa far fare " e che ha cambiato il paradigma del "saper fare" dell'artigiano, ora non è più l'artefice delle trasformazioni della materia e dell'energia, ma trova al centro delle sue attività l'informazione, per cui il nuovo protagonista della "rivoluzione digitale", se mai la si chiamerà così, forse non sarà più neppure l'ingegnere come lo pensiamo oggi, ma una nuova professione dove biologia, informatica, elettronica e meccanica troveranno una nuova unificazione. Del resto i termini "ingegneria genetica", "robotica", "meccatronica", "intelligenza artificiale" presto ci sembreranno antiquati. E così pure quelle discipline che hanno trovato nell'arte del costruire proprio le origini della scienza "ingegneria", dove l'architectus e l'ingegnarius erano espressioni di una professione sia civile, militare, ma anche politica e religiosa, come si può ben arguire dalla lettura del De Architectura di Vitruvio sono destinate a una nuova metamorfosi. E a questo proposito proprio nella sfida che i beni culturali offrono all'ingegneria nel progettare il futuro, che del passato deve conservare non solo la memoria ma anche la consapevolezza, il volume curato da Salvatore D'Agostino offre numerosi spunti per ridisegnare l'intera disciplina (D'Agostino, 2017). Lasciando al lettore l'approfondimento sugli innumerevoli temi storici e tecnici presentati nel testo, è bene soffermarsi sulle nuove esigenze di una multidisciplinarietà aprono nuove porte ai legami tra scienze umane e scienze tecnologiche. Scrive D'Agostino nella sua introduzione che «negli ultimi decenni la definizione di bene culturale si è molto dilatata inglobando da un lato tutti i manufatti della storia materiale, e dall'altro, in particolare in Italia, estendendolo agli aspetti più popolari della cultura moderna.» E proprio intorno al concetto di "cultura" si ravvede come l'ingegneria deve confrontarsi con «il grande pianeta dei beni storico artistici e archivistici» dove il concetto di "monumento" assume significati che impongono rivisitazioni e ripensamenti di quelle barriere culturali che troppo spesso hanno isolato i singoli saperi, lasciando i documenti agli storici e le strutture agli ingegneri. Sono stati proprio quegli eventi imprevedibili, quali i

terremoti che hanno sconvolto il nostro Paese, a mettere in discussione i pregiudizi e a rimodulare la gestione dei beni culturali. Così conclude Salvatore D'Agostino: «si vuole sottolineare quanto sia pregnante il rapporto Ingegneria-Società, quanto esso si articoli in infiniti rivoli che condizionano profondamente la vita civile, dai beni culturali all'ambiente, dall'abitare all'alimentazione, dai trasporti alla gestione dei rifiuti. L'ingegneria, in un mondo sempre più digitalizzato e robotizzato, ha l'ineludibile compito di dialogare con la Società che da un lato contribuisce ad arricchire, ma dall'altro tende a stravolgere nel suo assetto tradizionale […] Tutto ciò non può che attuarsi in un serrato confronto con gli altri saperi, in una concezione del vivere che in futuro sarà ben più complessa e articolata».

… senza qualità

Ohne Eigenschaften, senza qualità, era nel romanzo dell'ingegnere Robert Musil, Ulrich il protagonista di una storia ambientata a Vienna all'inizio del XX secolo. «Ed era difficile distinguere il sopra dal sotto, e le cose in regresso da quelle in progresso. E inutile, concluse l'uomo senza qualità scrollando le spalle, tanto in un così fitto groviglio di forze la cosa non ha la minima importanza!»[3] (Musil, 1972). Sono trascorsi quasi cent'anni, ma le cose non sono cambiate e se la società politecnica ha costruito una scienza della qualità, ancora molti dubbi orbitano attorno a essa, con le contraddizioni di un sapere, quello degli ingegneri, che non è in grado di risolvere da solo tutti i propri dilemmi.

A questo punto verrebbe naturale concludere questa breve dissertazione sulle ingegnerie del futuro auspicandone la contaminazione con altri saperi perché esse siano capaci di guardare con benevolenza e attenzione alla dimensione antropologica della cultura materiale dove anche le "cose" più umili e personali assumono valori di cui non si può fare a meno. Anche gli "oggetti di affezione" cui noi tutti siamo legati possono e devono mantenere il loro giusto posto nella vita di ciascuno di noi, come, nella città che ci ospita, è doveroso, ricordare le narrazioni che scorgiamo nella materialità dei presepi di via San Gregorio Armeno e nella folkloristica cabala della Smorfia (Zezza, 1835; Rumeo, 1866).

Bibliografia

Anders G. 1961. *Die Antiquiertheit des Menschen. Über die Seele im Zeitalter der zweiten industriellen Revolution*. Muenchen: Beck.

Anders G. 1980. *Die Antiquiertheit des Menschen. Über die Zerstörung des Lebens im Zeitalter der dritten industriellen Revolution*. Muenchen: Beck.

Asimov I. 1984. *Asimov on Science Fiction*. New York: Nightfall.

Barbieri F. post 1 Dec. 1481-. *Discordantiae sanctorum doctorum Hieronymi et Augustini*. Roma: Joannes Philippus de Lignamine.

Busi G. 2021. *Indovinare il mondo. Le cento porte del destino*. Bologna: Il Mulino.

Campanella T. 630. *Astrologicorum libri VII*. Francofurti: Sumptibus Godefridi Tampachii.

Casali E. 2003. *Le spie del cielo. Oroscopi, lunari e almanacchi nell'Italia moderna*. Torino: Einaudi.
D'Agostino S. (a cura di). 2017. *Ingegneria e Beni culturali*. Bologna: Il Mulino.
de Honnecourt V. s.d. Livre de portraiture. Paris, BnF, Français 19093, f.2 r.
De Jouvenel B. 1964. *L'art de la conjecture. Futuribles*. Monaco: Editions du Rocher.
De Sola Ithiel P. 1968. Introduction to Political Communication. In: *International Encyclopedia of the Social Sciences*. New York: Macmillan.
Eliade M. 1956. *Arti del metallo e alchimia*. Torino: Bollati Boringhieri.
Eliade M. 1993. *Cosmologia e alchimia babilonese*. Firenze: Sansoni.
Foucault M. 1966. *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*. Paris: Gallimard.
Fudenberg D., Levine D.K. 2006. Superstition and Rational Learning. American Economic Review, 96(3), 630-651.
Galiani B. 1790. *L'architettura di Marco Vitruvio Pollione tradotta e commentata dal marchese Berardo Galiani.* Napoli: presso i fratelli Terres.
Galilei G. 1623. *Il saggiatore, nel quale con bilancia esquisita e giusta si ponderano le cose contenute nella Libra astronomica e filosofica di Lotario Sarsi Sigensano, scritto in forma di lettera all'ill.mo et rever.mo mons.re d. Virginio Cesarini acc.o linceo m.o di camera di N.S.* Roma, appresso Giacomo Mascardi.
Gottschall J. 2012. *The Storytelling Animal: How Stories Make Us Human*. New York: Houghton Mifflin Harcourt.
Guerrini L. 2000. *Astrologicorum Libri VII. Considerazioni linguistiche e ricognizioni intorno alla tradizione del testo*. Bruniana & Campanelliana, 6(1), 199-209.
Hume D. 1771. Essay X: Of Superstition and Enthusiasm. In: *Essays Moral, Political, and Literary*, I-X. London: s.n.
Jahoda G. 1972. *Psicologia della superstizione*. Milano: Mondadori.
Krakauer D.C. 2020. *Worlds Hidden in Plain Sight: The Evolving Idea of Complexity at the Santa Fe Institute, 1984-201*. Santa Fe: The Santa Fe Institute Press.
Krakauer D.C., West G. (Eds.). 2021. *The Complex Alternative: Complexity Scientists on the COVID-19 Pandemic*. Santa Fe: The Santa Fe Institute Press.
Lagrange L. 1797. *Theorie des Fonctions Analytiques contenant les principles du calcul differentiel*. Paris: de l'Imprimerie de la République.
Lagrange L. 1788. *Mécanique analytique*. Paris: Chez la Veuve Desaint.
Laplace (de) P.S. 1814. *Essai philosophique des probabilités*. Paris: Mme de Courcier.
Lévi-Strauss C. 1962 *La pensée sauvage*. Paris: Plon.
Mantovani S. 2009. *Tra ordine e caos. Regole del gioco per una urbanistica paesaggista*. Firenze: Alinea.
Marchis V. 1988. *Modelli. Esperimenti di simulazione al personal computer*. Torino: SEI.
Marchis V. 2018. Ingegnere della divinazione. Dalle profezie degli aruspici ai modelli della complessità, sotto lo sguardo di Pareto. In: *Misurare il futuro. Ingegneri, scienziati, economisti e politici alla scoperta dell'inconoscibile* (a cura di V. Marchis). Torino: Centro Studi Piemontesi.
Marchis V., Pozzi M. 2020. *Virus ex Machina*. Sesto San Giovanni: Mimesis.
Meadows D.H. et al. 1972. *I limiti dello sviluppo. Rapporto del System Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità*. Milano: Mondadori EST.

Minois G. 1966. *Histoire de l'avenir. Des prophètes à la prospective*. Paris: Arthème Fayard.
Minski M.L. 1965. Matter, Mind and Models. In: *Proceedings of International Federation of Information Processing Congress*, 1, 45-49.
Mumford L. 2011. *Il mito della macchina*. Milano: Il Saggiatore.
Musil R. 1930. *L'uomo senza qualità.* 3 voll. (1930, 1933, 1943). Berlino: Anaconda Verlag.
Newton I. 1687. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. London: Royal Society.
Pareti V. 1916. *Trattato di sociologia generale*. Siena: Barbera.
Pareto V. 1899. I problemi della sociologia. Rivista italiana di sociologia", III(II), 145-157.
Pareto V. 1906. *Manuale di economia politica*. Milano: Società Editrice Libraria.
Pedemonte F. 2021. *L'improbabile distopia post-umana.* Limes 10/21.
Pepe L. 1999. La formazione matematica di Vilfredo Pareto. Revue européenne des sciences sociales, T. 37(116), 173-189.
Polak F.L. 1956. *De Toekomst is Verleden Tijd.* Philosophia Reformata, 21(4), 134-137.
Rumeo G. 1866 *La Nuova Smorfia del giuoco del lotto*. Napoli: presso Luigi Chiurazzi.
Taleb N.N. 2007. *The Black Swan*. London: Penguin Books.
Vitruvio Pollione M. 1997. *De Architectura*. Pordenone: Studio Tesi.
Weinstein E. 2018. *Recipes for Good Luck: The Superstitions, Rituals, and Practices of Extraordinary People*. San Francisco: Chronicle Books
Zezza M. 1835. *La smorfia ossia Il nuovo metodo per perdere denaro, e cervello con maggior sicurezza al gioco del lotto*. Napoli: Torchi della Società filomatica.

Sitografia

[1] Marchis
www.youtube.com/watch?v=DYaBMCCX1B0&ab_channel=PoliToCulture
[2] Vitruvio
https://www.vitruvio.ch/00_vitruvio_20/autoweb/maestro.php?id=121&titolo=Marco%20Vitruvio%20Pollione
[3] Cicerone
www.bibliomania.it
[4] Bell, 1994
https://www.treccani.it/enciclopedia/futuro_%28Enciclopedia-delle-scienze-sociali%29/
[5] Masini, 2000
https://www.fondazionemicheletti.eu/contents/documentazione/archivio/Altronovecento/Arc.Altronovecento.02.07.pdf

Note

1. Ben nota è la definizione di "modello" formulata da Marvin L. Minsky: «To an observer B, an object A* is a model of an object A to the extent that B can use A* to answer questions that interest him about A. The model relation is inherently ternary» (Minsky, 1965).
2. Opera conservata in un manoscritto della Biblioteca reale di Torino tra le carte di Ferdinando di Savoia, duca di Genova (ms Saluzzo 736).
3. Il testo originale tradotto letteralmente così si esprime: «Non potevi davvero dire cosa fosse su e cosa fosse giù, cosa stesse andando avanti e cosa indietro. Puoi fare quello che vuoi; disse l'uomo senza qualità, alzando le spalle, in questo sentire di forze non importa affatto!»

Giovanna Greco

Il cantiere edile, tra maestranze specializzate, costi e normalizzazione: le voci dall'antichità

The building site, specialized workers, costs and standardization: voices from antiquity

Sommario
La nota prende spunto da un passo di Diodoro Siculo (I sec. a.C.) che, nella sua Bibliotheca Historica, descrive l'organizzazione del cantiere allestito per la costruzione delle possenti mura difensive costruite all'inizio del IV sec. a.C. Le fonti letterarie e quelle epigrafiche forniscono informazioni dettagliate sulla funzionalità di un cantiere specializzato in opere pubbliche, così per i costi dei materiali e le maestranze o per il ruolo dell'architetto-progettista. Tra il IV e il III secolo a.C., in Grecia, in Sicilia e nel Sud Italia si diffonde un comune "saper fare edilizio" che unifica moduli, strutture e materiali; si avvia un processo di standardizzazione del cantiere, sia a livello di attrezzature impiegate che di riproposizione di modelli e forme architettoniche.

Abstract
This note is inspired by a passage from Diodoro Siculo (80/20 B.C.) describing the organization of a building site for the construction of the fortification of Syracuse in the early IV century B.C. Literary and epigraphic sources provide detailed information regarding the functionality of a building site specialized in public works, as the costs for materials and workers or the role of the architect/designer. Between the IV and the III century B.C., in Greece, Sicily and South of Italy a common "building know-how" is spreading and it unifies modules, structures and materials. Moreover a process of building site standardization starts, both at the level of employed equipment and of the re-proposal of architectural models and forms.

Introduzione
Questa nota prende spunto da un passo di Diodoro Siculo (I sec. a.C.) che, nella sua Bibliotheca Historica, descrive l'organizzazione del cantiere allestito per la costruzione delle possenti mura difensive volute da Dionigi I, tiranno di Siracusa, tra il 402

e il 397 a.C. «... Volendo al più presto realizzare questo lavoro, da ogni parte della campagna radunò una gran turba da cui scelse 60.000 dei più capaci cittadini e li distribuì opportunamente secondo l'opera che ognuno doveva compiere; quindi mise un architetto per ogni stadio di terreno che si doveva fortificare e un capomastro e, ad ognuno, assegnò 200 operai dalla plebe...; destinò, poi, 6000 buoi per il trasporto delle pietre...; Dionigi, perché da tutti si procedesse di buon animo, promise agli architetti, ai capomastri, agli operai, nobili premi e ogni giorno andava a vedere i lavori...» (BiblHist. XII, 10).

Al di là del racconto, in questo passo si delinea il complesso apparato organizzativo di un cantiere di opere pubbliche dalle dimensioni mastodontiche come quelle delle imponenti fortificazioni di Siracusa, giunte fino a noi; viene spontaneo chiedersi quanto sia costata alle finanze di Siracusa la costruzione di queste imponenti fortificazioni (Sconfienza, 2003) e come funzionava l'organizzazione di un cantiere di opere pubbliche nel mondo antico.

La bibliografia specialistica sul tema non è molto vasta; il fascino dei grandi templi di Paestum o di Agrigento, lo splendore dell'Acropoli ateniese, l'imponenza delle fortificazioni siracusane hanno da sempre condizionato il rapporto con il costruito antico, in una romantica e quanto mai distorta visione della *ruina*. L'attenzione alla cultura materiale è conquista recente, nella storia dell'archeologia: scaturisce dall'affermarsi dello strutturalismo e del positivismo che lentamente portano al superamento dell'idealismo. È solo nella seconda metà del XX secolo che si affaccia l'interesse verso tutto quel mondo ingegneristico-tecnico che è dietro alla realizzazione di un'opera architettonica: dal progetto, alle risorse umane, ai costi, ai materiali, alle tecniche, all'organizzazione di un cantiere. Ed è consapevolezza della ricerca archeologica di questi ultimi decenni leggere un monumento, sia esso opera architettonica che una bella statua o un vaso decorato, come un documento storico, inestimabile archivio di storia materiale (Moreno e Quaini, 1976; Manacorda, 1985; Carandini, 1979; Mannoni e Gianichedda, 1996).

Questo diverso sguardo alla realtà materiale del mondo antico è tanto più pregnante quando si rapporta a una struttura architettonica; ma l'arte dell'architettura, pur essendo quella maggiormente legata alla società che la produce, in realtà è quella meno documentata dalle fonti scritte che restituiscono, per l'età ellenica, solo descrizioni di monumenti; il primo trattato organico rimane, ancora oggi, quello di Vitruvio (Gros, 1997), scritto in età augustea, che raccoglie, in modo frammentario, molte fonti di età ellenistica ma che, essendo l'unico trattato superstite, ha avuto, sin dal Rinascimento, un valore forse sproporzionato al suo merito.

L'architettura è l'arte sociale e politica per eccellenza: qualsivoglia intervento architettonico affonda le sue radici in una struttura economica, senza la quale non si sarebbe mai potuta realizzare; ma è anche l'esito di un apparato tecnico, di un "sapere" artigianale che si trasmette e di una struttura sociale dove le articolazioni

professionali - quale l'architetto - e quelle specialistiche - artigiani e maestranze- rivestono, all'interno della comunità in cui operano, ruoli e compiti ben strutturati. Il lungo silenzio che ha condizionato questo filone di studi è ampiamente giustificabile, a fronte di una documentazione materiale quanto mai scarna, disorganica, a tratti evanescente: è la dispersione delle conoscenze, nel grande oceano della dimenticanza, l'inciampo più frequente nel cammino della ricerca archeologica.

Le tracce materiali che rivelano organizzazione e preparazione di una struttura muraria sono labili, rare e difficili da decifrare; solo di recente si è prestata la dovuta attenzione al recupero di queste sfuggenti evidenze.

È dunque dai testi epigrafici, dai decreti scritti su pietra, dalle epigrafi, dai contratti tramandati dagli scrittori o documentati su pietra che è possibile aprire uno squarcio sulle modalità di organizzazione dei cantieri, sulle maestranze specializzate che viaggiano a seconda della committenza, sulle imprese in grado di soddisfare una domanda sempre più esigente, sugli appalti, sulla conduzione dell'opera, sui costi, sulla poliedrica figura dell'architetto (Scranton, 1960; Ginouvès e Martin, 1985). Ed è un decreto del V sec. a.C. a restituire forse la prima delibera di un'assemblea pubblica; l'iscrizione riporta la delibera per la costruzione del santuario di Athena Nike sull'acropoli di Atene; il decreto elenca minuziosamente i lavori da effettuare, i materiali, i tempi e i costi: in pratica un vero e proprio capitolato d'appalto. Ed è sempre ad Atene che si conserva una lunga iscrizione su pietra che restituisce il contratto per la costruzione dell'Arsenale al Pireo (347/6 a.C.) (Marginesu, 2015; Marginesu, 2020).

La mastodontica operazione edilizia sull'acropoli di Atene, voluta da Pericle nel V sec. a.C., ha restituito una delle documentazioni più dettagliate, giunta fino a noi attraverso un'articolata serie di testi letterari ed epigrafici che offrono uno spaccato quanto mai illuminante sulle modalità, i tempi e i costi dell'edilizia pubblica; l'attenzione è sul mondo ellenico, prevalentemente sull'universo ateniese (Hocker e Schneider, 1997) e certamente non può essere generalizzata e trasferita a contesti geografici e storici differenti; tuttavia costituisce una preziosissima traccia conoscitiva sulle modalità di organizzazione e realizzazione delle opere pubbliche, sull'approvvigionamento dei materiali, sulle maestranze specializzate, sul ruolo di artisti, architetti e tecnici (Carpenter, 1970; Himmelmann, 1980).

Per il mondo romano, il dossier è più articolato e presenta una migliore conservazione della trattatistica.

Tra età classica ed età ellenistica

Tra V e III sec. a.C. si diffonde in tutto il Mediterraneo antico un "sapere costruttivo" che accomuna città e monumenti e uniforma strutture, forme, materiali; prende l'avvio un processo di normalizzazione del cantiere edile, tanto nei modi dell'attrezzatura tecnica quanto nella riproposizione di modelli e forme architettoniche (Caliò e de Courtils, 2011).

Nel IV secolo compaiono i primi *syngraphai*, testi tecnici che contengono prescrizioni e regole per i vari edifici, per i contratti di appalto, per le gare, per il trasporto dei materiali a seconda che siano grezzi o parzialmente lavorati, come capitelli e rocchi di colonne; sono documenti che registrano anche i costi, i prezzi delle materie, i compensi alla mano d'opera. Queste testimonianze epigrafiche, accanto a brandelli della letteratura, hanno consentito agli studiosi di ripercorrere la cronaca costruttiva di un cantiere edile, le tappe successive nella realizzazione dell'opera e i costi (Marginesu, 2020).

L'avvio, ancor prima del progetto o della gara di appalto, è determinato dalle risorse finanziarie messe in campo; per le opere pubbliche, condizionante è il rapporto con la comunità politica che ne è il committente; non è a caso che le maggiori e più imponenti opere pubbliche vengono realizzate nei momenti di maggiore potenza e ricchezza delle città, come nell'Atene di Pericle o nella Siracusa di Dionigi I, il tiranno che imposta un nuovo modo di intendere il potere, facendo dell'edilizia pubblica una delle maggiori forme di autorappresentazione del suo «buon governo» (Sordi, 1992).

Emblematica è la vicenda che coinvolge Pericle, nel suo progetto per l'Acropoli ateniese; il racconto di Plutarco, molti secoli dopo, è dettagliato e può costituire quasi il paradigma del dibattito e delle fasi preparatorie che accompagnano la realizzazione di un'opera pubblica. Pericle viene fortemente criticato per il denaro speso per la costruzione degli edifici sacri sull'Acropoli di Atene e Plutarco così commenta: «ciò che procurò maggior diletto e ornamento agli Ateniesi, la maggiore meraviglia agli stranieri, ciò che rimane da solo a testimoniare la potenza dell'Ellade... fu pure il più denigrato degli atti pubblici e bersaglio di accuse calunniose da parte dei suoi avversari nelle assemblee» (Carena, 1974).

Ma Pericle realizza il suo progetto e «propose all'assemblea piani grandiosi di costruzioni e disegni di opere, la cui esecuzione richiedeva l'intervento di numerose categorie di artigiani... falegnami, scultori, fabbri, scalpellini, tintori, modellatori d'oro e d'argento, pittori per non dire di coloro che importano e trasportano queste merci: armatori, marinai e piloti di mare e ancora cordai, tessitori, cuoiai, terrazzieri e minatori; ogni categoria aveva poi schierata sotto di sé, come un generale un corpo d'armata, una folla di manovali che erano le membra di cui si serviva per disimpegnare la sua mansione» (Carena, 1974).

Il progetto e il disegno architettonico

Dai resoconti economici giunti fino a noi, non è chiaro fino a che punto e in che modo la stesura di un progetto, l'attività ideativa che è alla base di un manufatto edilizio fosse compensata come opera intellettuale; il dibattito sulla posizione sociale dell'architetto, così come dell'artista-artigiano, coinvolge, in realtà, il tema più complesso e articolato della considerazione sociale del lavoro nel mondo greco e romano (Coarelli, 1980). Un'iscrizione greca del tardo IV sec. a.C. riporta la notizia di architetti stipendiati dalla città, mentre altre fonti raccontano di architetti che

percepiscono un salario giornaliero, per tutta la durata dell'opera, e calcolano come questo salario coincida con la diaria a un oplita (Himmelman, 1980: 150).

Anche sul disegno di architetture il dibattito odierno è molto aperto e per nulla esaustivo, a fronte di un'evidenza materiale quanto mai evanescente, difficile da interpretare. Le fonti antiche hanno tramandato la terminologia greca per il disegno architettonico e così sappiamo che i capitolati d'appalto erano chiamati *sungraphai* mentre *paradigma* e *anagrafè* erano i termini tecnici per definire forme, moduli e attività di cantiere. Non abbiamo alcuna evidenza materiale di disegni di architetture, anche se si trovano schizzi sulle pareti o promemoria di assemblaggi e modanature in numerosi edifici; non sappiamo però se fossero segni lasciati dalle maestranze o se guide di cantiere elaborate dal progettista.

Plinio (N.H. XXXV, 67) racconta che sulle pareti del pronao dell'Apollonion di Didima, costruito nel III sec. a.C., vi erano graffiti funzionali a indirizzare le maestranze; l'evidenza materiale attesta la presenza, nei cantieri, di *grammata* per indicare la posizione dei blocchi in corso d'opera (Ginouvès e Martin, 1985: 83-177).

Vitruvio scrive di architetti che disegnano scene teatrali, come Agatarco ad Atene per una tragedia di Eschilo; riporta i nomi di numerosi scrittori greci che si sono occupati di proporzioni simmetriche, di progetti, di costruzione di templi concludendo: «i Greci hanno pubblicato molti libri sull'argomento»; purtroppo nessuno è giunto fino a noi, ma è da questa trattatistica greca che Vitruvio trae i parametri per il disegno architettonico con le sue diverse espressioni, in corso ancora oggi: dalla *dispositio* - la planimetria (*ichnographia)* probabilmente disegnata sul terreno (1:1), all'*orthographia* - elevato, alla *scaenographia* - rappresentazione pseudo prospettica dell'edificio da costruire (Gros, 1997).

A Roma il disegno architettonico è prassi comune e viene eseguito su pergamena con squadra e compasso; ancora una volta, però, la conoscenza è restituita da testi scritti e dal recupero di qualche rarissimo strumento per la realizzazione del disegno (Inglese, 2000; Amore, 2017).

L'appalto

Giovanni Marginesu ha raccolto, in un preziosissimo volumetto, una serie di iscrizioni e testi letterari che illustrano, con molta chiarezza, come funzionava l'appalto di un'opera pubblica nel mondo ellenico (Marginesu, 2020): il bando rimane esposto nell'Agorà civica per un certo tempo e questo avviene non solo ad Atene.

Una delle più antiche testimonianze di una gara di appalto pubblico risale alla fine del VI sec. a.C.; l'assemblea cittadina apre una sottoscrizione pubblica per la costruzione del tempio di Apollo a Delfi; viene riportata anche la notizia che Amasi, un ricco mercante egiziano, invia, come contributo, una partita di allume. La gara per l'appalto viene vinta dagli Alcmeonidi, un potente e ricco clan familiare ateniese; immediatamente, corrono voci di una "mazzetta" percepita dalla potente sacerdo-

tessa di Apollo, la Pizia, per favorire l'appalto agli Ateniesi. Il capitolato che viene stipulato descrive il modello di tempio da edificare, nei suoi particolari; prescrive anche come la facciata debba essere nel "costoso marmo insulare".

Un decreto (Democare IG II, 244) riportato da un'iscrizione del IV sec. a.C. conserva, nei dettagli, i termini di un capitolato d'appalto con le modalità di esecuzione, la commissione edilizia con la nomina dei *poleti*, che erano magistrati preposti alle opere pubbliche, la descrizione tecnica delle opere, i nomi degli appaltatori, il prezzo concordato e il nome della commissione di garanti per la corretta esecuzione (Marginesu, 2015).

I pagamenti potevano essere erogati in varie forme concordate: le iscrizioni registrano sia la forma giornaliera che quella a misura per un muro o altrimenti un compenso a prezzo definito e chiuso. Per le mura di Atene, nel V sec. a.C., il pagamento è previsto a rate: un primo versamento all'inizio dei lavori, un secondo all'avanzamento e il saldo finale alla chiusura del cantiere dopo l'esame della commissione per la perfetta esecuzione delle prescrizioni contenute nel capitolato.

A Roma gli appalti pubblici sono gestiti dai censori e controllati dal Senato; fenomeni di corruzione, frode e appalti fuori controllo riempiono le pagine degli scrittori latini. Per le opere pubbliche è l'ambiguo legame tra la riscossione dei tributi, gestita dai governatori, e la classe dei cavalieri, cui era appaltata la riscossione, a favorire concussione e ladrocini (Perrelli, 1994).

Organizzazione del cantiere

Il cantiere, per sua natura, è una struttura temporanea dove convivono persone di varie nazionalità e diverso *status* sociale: liberi, schiavi e *meteci* (forestieri).

Saperi costruttivi, specializzazioni artigianali e tecniche di diverse provenienze e sensibilità convergono nella realizzazione dell'opera. Intorno a un cantiere si aggregano abitazioni e strutture funzionali alla macchina edilizia: dalla lavorazione dell'argilla al taglio del legname o della pietra, alla fabbricazione dei mattoni o agli *ateliers* per le decorazioni fittili dei tetti o per le opere di scultura per i frontoni. È questa realtà materiale a restituire le poche e sporadiche tracce evidenti sul terreno della presenza del cantiere; infatti, tutta questa attività intorno a un cantiere produce la formazione di vere e proprie cittadelle, i cui resti si ritrovano sul terreno.

Nel corso dell'età ellenistica si affermano grandi imprese edili che fanno capo a clan familiari, divenuti ricchi e potenti con il commercio; partecipano ai bandi pubblici e hanno, in subappalto, imprese più piccole, a carattere familiare, con specializzazioni proprie. Un esempio sono i carpentieri o i tagliatori di grande perizia tecnica, così nel taglio della pietra come nelle modanature. Molto spesso è lo stesso architetto progettista a essere impresario e firmare il contratto per l'esecuzione dell'opera.

Uno dei rari indicatori archeologici dell'organizzazione di un cantiere che si registra sul terreno è restituito dalla preparazione, dalla misurazione, dalla sistemazione

dei luoghi prima dello scavo delle fondazioni vere e proprie. La scelta del terreno dove realizzare l'opera coinvolge la committenza pubblica da un lato, il tecnico progettista dall'altro. Le operazioni di delimitazione e adattamento dei suoli lasciano tracce leggibili nel terreno, non sempre facili da interpretare; si possono riconoscere le operazioni di sbancamento o di colmate successive, necessarie per adattare il suolo all'opera da impiantare. Sono registrati i costi per l'acquisto o l'esproprio dei terreni: per la grande chiesa di Santa Sofia a Costantinopoli voluta da Giustiniano nel 532, l'indennizzo ai proprietari dei suoli fu finanziato dal patrimonio personale dell'imperatore (Brenk, 2003).

Approvvigionamento e trasporto dei materiali sono ben documentati dalle fonti scritte e lasciano tracce evidenti soprattutto nelle cave; quelle di Cusa, nei pressi di Selinunte, restituiscono un patrimonio documentario ricchissimo su modalità di tagli, spessori, forme, strumenti; il riscontro nei monumenti realizzati, non solo a Selinunte, ma in ambiti differenti della Sicilia antica, raccontano di committenti, esecutori, impresari, mercanti (Mertens, 2006).

Dai resoconti finanziari delle spese sostenute per la costruzione del Partenone, veniamo a sapere che i trasportatori di pietre costarono poco più di 1926 dracme: una dracma equivale all'incirca a 4 gr. di argento, dunque quasi due kg di argento (Ampolo, 1982; Marginesu, 2020; Carpenter, 1970).

Il commercio del marmo è ben noto: i preziosi marmi ellenici viaggiavano nel Mediterraneo antico con le loro maestranze specializzate; le cave di marmo nella zona di Carrara sono attivamente sfruttate dai Romani, solo dal I sec. a.C. (Pensabene, 1993).

Accanto a pietre e marmo, sono legno e mattone i materiali prevalenti in un cantiere edile e anche il legno si commercia, viaggia da un posto all'altro; la documentazione materiale è restituita, oltre che dalle fonti letterarie, da qualche relitto naufragato, dove sono state riconosciute le tracce del legname trasportato (Antico Gallina, 2011).

Plinio (NH XVI, 78-84) racconta di legni segati e squadrati. Il tetto per il tempio di Artemis Efesia è in cedro. Molto richiesto è l'abete, per la sua lunghezza che meglio si adatta alle lunghe travature del tetto; cipresso e ginepro, anche se rari e costosi, sono richiesti per porte e cassonetti dei soffitti; non a caso, quello del Partenone era in cipresso. I prezzi variano da zona a zona; la documentazione epigrafica ci ha restituito un contratto registrato a Epidauro nel IV sec. a.C. per la fornitura di una partita di legno da Corinto, dal valore di circa 4390 dracme (Marginesu, 2020: 49).

In legno erano le impalcature e molte delle macchine necessarie per il sollevamento; si trattava di tutta un'attrezzatura strumentaria, appannaggio dell'impresario; solo grandi imprese potevano sostenere costi e attrezzature per l'allestimento di un cantiere di grandi dimensioni (Antico Gallina, 2011).

Il processo di normalizzazione del cantiere edile, infatti, prende l'avvio proprio dall'attrezzatura di cantiere. Con lo sviluppo della meccanica di età ellenistica, ancor più si accentua il fenomeno di poche grandi imprese in grado di acquistare e manu-

tenere macchine edili complesse e sistemi di lavorazione con grandi carpenterie e impalcature; artigiani e operai specializzati sono appannaggio di pochi architetti e capo cantieri e si diffonde sempre più un "sapere costruttivo" che uniforma forme, strutture, materiali. Un esempio riportato da quasi tutti gli studiosi è quello del tetto ligneo che solo carpentieri fortemente specializzati sono in grado di eseguire a regola d'arte; i racconti catastrofici riportati in letteratura giustificano l'estrema cura nella costruzione dei tetti ed i costi elevati per i legni adoperati: nel 494 a.C. a Chio morirono 120 bambini nel crollo di un tetto di una scuola (Erodoto VI, 27).

Le tracce materiali del legno sono rarissime e conservate solo in determinate circostanze; i legni dell'edilizia più famosi e meglio conservati rimangono, ancora oggi, quelli di Ercolano.

I mattoni crudi e cotti lasciano invece tracce ben leggibili e costituiscono una delle evidenze materiali più diffuse e meglio conosciute, sia per l'edilizia pubblica che per quella privata; ogni città o agglomerato abitativo ha la sua fornace e anche più di una. La produzione di mattoni, come il loro commercio, è sottoposto a regole precise; esistono fornaci pubbliche e private che si differenziano per la qualità e la quantità della miscela di argilla, se non anche per la forma e il modulo (De Domenico, 2019). Un'iscrizione datata nei primi decenni del IV sec. a.C. riporta i costi di una partita di mattoni ad Atene: 23.600 mattoni per 306 dracme (IG II 1658).

A Roma, sulle pareti laterizie delle terme di Traiano risalenti al II sec. d.C., è stata scoperta una serie di iscrizioni dipinte in rosso che registra giorno per giorno l'avanzamento dei lavori; ne sono state riconosciute 60 redatte tra febbraio e agosto e tra settembre e ottobre. Gli studiosi ne hanno ricavato che un operaio poteva eseguire circa 10 metri quadrati di paramento al giorno e metteva in opera circa 800 mattoni al giorno (Mannoni e Boato, 2002; Camporeale, 2010).

Maestranze, operai, schiavi

Come racconta con chiarezza Diodoro Siculo, è la forza lavoro di 60.000 operai a consentire la rapida costruzione delle mura di Siracusa.

Il dibattitto fra storici e archeologi sulle modalità di formazione della mano d'opera nel lavoro, è quanto mai aperto e solo di recente si vanno chiarendo ruoli, funzioni e salari nell'ambito della costruzione. Il tema del lavoro schiavistico è stato affrontato già alla fine del XIX secolo e gode di ampia letteratura (Garlan, 1982). Non c'è dubbio che una mano d'opera schiavistica fosse necessaria per i tempi rapidi di realizzazione di un'opera pubblica ma, anche in questo caso, sono le stesse fonti letterarie a distinguere tra schiavi comprati e prigionieri di guerra.

Ad Agrigento, è dopo la vittoria di Himera sui Cartaginesi del 480 a.C., che si realizzano grandi e imponenti opere pubbliche, avendo a disposizione la gran massa di prigionieri come manodopera per i grandi cantieri; tuttavia sono gli artigiani specializzati quelli maggiormente richiesti che viaggiano con l'impresario lì dove sono richiesti.

Molte le voci dall'antichità: per la costruzione delle mura di Argo, partono da Atene impresario e carpentieri; decreti iscritti su pietra impediscono la circolazione di operai specializzati, senza l'autorizzazione della città (Martin, 1972) e nel racconto di Diodoro si trovano "premi nobili" promessi alle maestranze specializzate (BiblHist XIV, 41).

L'esempio meglio documentato sia dalle fonti letterarie che da quelle materiali riguarda le maestranze cicladiche che viaggiano insieme ai preziosi marmi delle isole; sono maestranze altamente specializzate sia nella progettazione che nell'esecuzione: la particolarità propria dei profili delle modanature, la lavorazione delle scanalature, la realizzazione di sottosquadri, forme e moduli delle cornici sono tutti elementi che documentano una mano d'opera esclusiva e sapientemente esperta nei diversi modi di trattare il delicato marmo insulare (Rocco, 2010).

La presenza di una mano d'opera con forte specializzazione conserva numerose tracce, ancora oggi leggibili, nella realizzazione del monumento; sono anche i segni che parlano della normalizzazione del cantiere e del movimento delle maestranze con specifiche conoscenze artigianali: dal carpentiere al fabbro, dal plastificatore al pittore, dal tagliatore di pietra a colui che mette in opera, ognuno di questi interventi lascia segni leggibili nella struttura. Rifiniture di blocchi, modanature, scanalature, lisciature di pareti sono tutte fasi di una lavorazione specializzata che documenta modalità di lavorazione, scansione di tempi e interventi specifici.

Ancora più interessante è registrare alcuni accorgimenti di cantiere che indicano precise scelte economiche e di velocizzazione dei lavori; così la presenza dell'*apergon* (la superficie lasciata grezza come misura di protezione del blocco nella fase dal trasporto al cantiere e alla lavorazione), che si ritrova, piuttosto costantemente, su blocchi di sottofondazione o di filari nascosti; ma numerosi sono gli accorgimenti: la semplificazione delle cornici, con la riduzione della profondità d'intaglio, le scanalature delle colonne, rese con la semplice sfaccettatura, la bugnatura del blocco utilizzata per il sollevamento, lasciata sul blocco non visibile, i fori per l'impalcatura, lasciati solo con la zeppa. Sono tanti i segni che si possono leggere ancora oggi sulle strutture; raccontano fasi e momenti della costruzione e forme di organizzazione del cantiere con maestranze istruite a sveltire il lavoro e adottare dunque precise indicazioni dell'impresario (Livadotti, 2010; Bianchi, 1997).

Una delle forme di artigianato altamente specializzato è quella delle terrecotte architettoniche dipinte e di tutto l'apparato di decorazione del tetto ligneo di un edificio; al sistema di copertura e di decorazione di un tetto lavorano plastificatori e pittori. Forme, modelli, iconografie e modanature sono dettate dalle singole "scuole e ambiti di produzione"; la letteratura sul tema è vasta e molto aggiornata; le maestranze viaggiano, portano prototipi e modelli che adattano, sul cantiere, al tetto da completare (Winter, 1994; Greco, 2010). Emblematiche sono alcune terrecotte policrome da Elea/Velia che dovevano decorare un primo edificio di culto sull'Acropoli,

nei decenni finali del VI sec. a.C.; forme, modelli e motivi decorativi rientrano in una produzione propria dell'area flegrea, tra Pithecusa e Cuma, e le analisi archeometriche hanno confermato questa provenienza (Greco, 1994).

La documentazione epigrafica parla dei compensi corrisposti, aprendo così uno spaccato sulla qualità e sulla specializzazione delle maestranze: a Eleusi si spendono 5 dracme per la coloritura di una cimasa, a Epidauro la coloritura di una gronda leonina costa 16 dracme.

Intorno ai costi di un'opera pubblica, alcuni studiosi hanno avanzato proposte e ipotesi, esito di proiezioni teoriche ma indicative dell'incidenza dell'opera sull'erario pubblico. Roland Martin è stato tra i primi studiosi a cimentarsi con questa problematica; circa i costi dei più famosi templi della Magna Grecia, ha avanzato l'ipotesi che, per i cinque templi di Selinunte costruiti fra il 540 e il 450 a.C., sarebbero stati spesi circa 1268 talenti; i templi di Poseidonia sarebbero costati 420 talenti; il teatro di Epidauro è costato all'incirca 10 talenti mentre le mura di Atene avrebbero comportato una spesa di oltre 500 talenti (Martin, 1972). Il recente lavoro di Marginesu affronta il tema del costo dell'edilizia pubblica sulla base di una ricca documentazione letteraria ed epigrafica, in un rapporto dialettico con la statuaria, la pittura, la ceramica (Marginesu, 2020).

Vale la pena sottolineare che, nei calcoli dei costi di un'opera pubblica, si prevedono, in prospettiva, i costi per la manutenzione e il restauro; nell'Atene del IV sec. a.C. esiste un collegio di 10 restauratori che gestiscono un fondo destinato al restauro degli edifici sacri e pubblici, per un ammontare di circa 3000 dracme; di questo fondo, il collegio deve dar conto a una commissione di magistrati, i poleti, preposti al controllo della manutenzione dei monumenti sacri e pubblici della città.

Per comprendere a fondo l'impatto economico di un'opera pubblica come di una statua o di una pittura, Marginesu raffronta la paga giornaliera di un operaio specializzato o di un oplita, pari ad una dracma al giorno, con il costo della vita nella Grecia classica ed ellenistica.

Così sappiamo che per comprare un agnello servono 16 dracme, mentre una capra ne costa 12; a Eleusi si compra una tunica per 7 dracme e tre litri circa di olio costano 3 dracme, mentre un'anfora di circa 39 litri di vino costa 12 dracme. L'elenco comprende anche le sostanze pubbliche delle città ricche e potenti; la ricchezza della polis è custodita nei santuari e può derivare tanto da bottini di guerra, donazioni, espropri quanto, soprattutto, da un sistema fiscale capillare e molto controllato.

Circolazione di saperi costruttivi

Le tante conformità e assonanze che si riscontrano sia sul piano architettonico-progettuale che su quello tecnico-costruttivo, suggeriscono, dunque, la presenza di imprese specializzate, mano d'opera qualificata in grado di riproporre non solo modelli progettuali, ma tecniche e conoscenze costruttive.

I caratteri di standardizzazione e serializzazione sottendono una circolazione di modelli architettonici e progettuali. Dieter Mertens ha sottolineato, a più riprese e già da tempo, per l'architettura templare occidentale, la presenza di ben organizzate scuole architettoniche che elaborano una normativa nella costruzione del tempio che diventa così un "tipo" che può essere moltiplicato e che indifferentemente può essere adoperato per culti differenti: «ciò che colpisce particolarmente è che tutti [i templi di Agrigento] sembrano provenire da uno stesso cantiere o da pochi cantieri in contatto fa loro, ma che rappresentano uno spirito ed un concetto comune» (Mertens, 1990: 85).

D'altro canto è quanto mai evidente come, accanto alla circolazione delle materie prime necessarie all'edilizia quali marmo, pietra, argilla, legno e metallo, viaggiassero anche uomini, idee, culture e conoscenze. Le fonti antiche raccontano di architetti o scultori che partecipano a veri e propri bandi di concorso presentando i loro progetti nelle diverse città della Grecia propria, della Grecia d'Oriente e di quella d'Occidente (Wittenburg, 1978).

Le diverse formulazioni architettoniche si adattano ai contesti nei quali giungono; si sviluppa un lessico proprio che accoglie e fa proprio un sapere ingegneristico e tecnico che si va contemporaneamente affermando in tutto il Mediterraneo antico tra il IV e il III sec. a.C. Un ruolo decisivo e irradiatore hanno i centri della Macedonia, come Alessandria d'Egitto o le città dell'Oriente ellenico o la Siracusa di Dionigi.

Si elaborano, allo stesso tempo, materiali, forme e modelli propri della cultura di un territorio, dando così esito a formulazioni diversificate, che tuttavia ben si inquadrano in una cornice generale. Come per i templi agrigentini, Mertens rileva la conformità progettuale, così un'altra tipologia di edificio che fa la sua apparizione in età ellenistica, il *balaneion*, riflette conoscenze tecnico-operative oltre che un modello progettuale specifico che si ritrova reiterato in Grecia, nelle città d'Oriente come in Sicilia e in Magna Grecia. La conformità planimetrica, i particolari tecnici, le forme decorative dei *balaneion* sono tali da suggerire la formazione di cantieri edili e maestranze specializzate che lavorano su una precisa committenza pubblica (*special commission*) che sceglie di costruire, nelle proprie città, edifici peculiari che si vanno rapidamente diffondendo e che vengono realizzati da imprese specializzate, da mano d'opera qualificata in grado di riproporre non solo un modello progettuale, ma tecniche e saperi costruttivi. Roma eredita dal mondo ellenistico questo modello architettonico, sviluppandolo nei suoi monumentali edifici termali dove ritroviamo soluzioni planimetriche, linguaggio architettonico e modelli costruttivi già largamente condivisi nel mondo ellenistico tra il IV e il III sec. a.C. (Greco, 2020).

Giorgio Rocco ha chiaramente dimostrato come i tetti in marmo pario, già a partire dalla metà del V sec. a.C., siano realizzati da maestranze cicladiche che viaggiano insieme al materiale; lo studio sul tempio di Hera Lacinia a Crotone ha mostrato il ruolo delle officine cicladiche itineranti e la loro incidenza non solo nella realizzazione del tetto, ma anche nella progettazione e nella realizzazione del monumento (Rocco, 2010).

D'altro canto, è stato da più parti ribadito come le conoscenze tecniche-operative scaturiscano da una consolidata tradizione costruttiva e le regole tecniche, come moduli e forme, abbiano alla base una lunga esperienza che convalida l'ipotesi di una formazione di cantieri edili e maestranze specializzate. Il dinamismo dei cantieri di costruzioni è chiaramente condizionato dalle tante diversità, e dai tanti componenti e fattori locali che facilitano l'evoluzione dei modelli e la circolazione delle conoscenze tecniche e dei linguaggi architettonici. Il modello di riferimento di cui disponiamo è quello dell'organizzazione di cantieri delle grandi opere nel Medioevo, dove sono documentate maestranze specializzate itineranti quali i *magistri commacini*, quelli addetti alle macchine, alle impalcature; per il palazzo di Aquisgrana, Carlo Magno chiamò lapicidi, mosaicisti e carpentieri da diverse parti dell'Europa. Dall'età romanica in poi aumentano le testimonianze che attestano lo spostamento di squadre di operai specializzati per specifici monumenti ed è tutta l'eredità del mondo antico che trova, nella monumentale architettura medievale, la propria memoria (Brenk, 2003). Questi studi stanno dimostrando tutta la complessità della realtà antica, dove si registra una fitta rete di comunicazione, mobilità delle maestranze e grande abilità di adattamento e sperimentazione nel proporre soluzioni differenti, adattabili alle situazioni in cui sono chiamate a operare.

È nel corso del III sec. a.C. che si afferma, in una visione tutta mediterranea, una diversa progettazione di edifici e città, da Alessandria ad Atene, da Rodi a Siracusa, da Taranto a Velia e a Napoli; è un nuovo modo di pensare l'edilizia pubblica, dove si vanno affermando nuove tecniche e nuovi materiali, grazie a uno sviluppo della meccanica, a un affinamento dei linguaggi architettonici e, soprattutto, uno sviluppo eccezionale di artigiani, pittori, scultori, maestranze (Caliò e de Courtils, 2011).

Declinazioni diverse, pluralità di soluzioni, specificità territoriali, identità territoriali possono aiutare a superare stereotipi utilizzati in passato e comprendere fenomeni di interazione culturale; l'organismo architettonico e urbano acquista una diversa visibilità, fortemente proiettata verso un'ostentata rappresentazione. Sul piano progettuale e tecnico costruttivo, saranno le grandi imprese edili a consolidare il processo di omologazione del lessico architettonico e di circolazione delle nuove tecniche costruttive, normalizzando cantieri e maestranze.

Fonti

BiblHist: Diodoro Siculo, Bibliotheca Historica
IG: Inscriptiones Graecae
N.H.: Plinio, Naturalis Historia

Bibliografia

Amore R. 2017. Il cantiere storico attraverso le fonti iconografiche. Eikonocity Storia e Iconografia delle Città e dei Siti Europei, 2(2), 89-105.

Ampolo C. 1982. Le cave di pietra dell'Attica: problemi giuridici ed economici. Opus: rivista internazionale per la storia economica e sociale dell'antichità, I, 251-260.
Antico Gallina M.V. 2011. *Archeologia del legno. Uso, tecnologia, continuità in una ricerca pluridisciplinare*. Milano: EDUCatt.
Carena C. (traduzione e note di). 1974. Plutarco: *Vite parallele, Vita di Pericle, 12*. I, 545-592. Milano: Mondadori.
Caliò L., de Courtils J. (a cura di). *Architettura 2011: L'architettura greca in Occidente nel III sec. a.C.* Thiaosos Monografie, 8. Roma: Edizioni Quasar.
Bianchi G. 1997. I segni dei tagliatori di pietre negli edifici medievali. Spunti metodologici ed interpretative. Archeologia dell'architettura, II, 25-37.
Brenk B. 2003. Committenza e retorica. In: *Arte e Storia del Medioevo. Del costruire: tecniche, artisti, artigiani, committenti*, II, (a cura di E. Caselnuovo e G. Sergi), 3-39. Torino: Einaudi.
Camporeale S. 2010. Archeologia dei cantieri di età romana. Archeologia dell'Architettura, XV, 171-180.
Carandini A. 1979. *Archeologia e cultura materiale. dai lavori senza gloria nell'antichità a una politica dei beni culturali*. Bari: De Donato.
Carpenter R. 1970. *Gli architetti del Partenone*. Torino: Einaudi.
De Domenico C. 2019. Costi dei laterizi e della manodopera nei cantieri della Grecia classica ed ellenistica. In: *Annuario della Scuola Archeologica di Atene, Supplemento 2: Studi sull'economia delle Technai in Grecia* (a cura di G. Marginesu), 39-50.
Garlan Y. 1982. *Les esclaves en Grèce ancienne*. Paris: Editions La Découverte.
Ginouvès R., Martin R. 1985. *Dictionnaire méthodique de l'Architecture grecque et romaine. Matériaux, techniques de construction, techniques et formes du décor*, I. Rome: École Française de Rome.
Greco G. 1995. Le terrecotte architettoniche di Elea Velia dall'età arcaica all'età ellenistica. Hesperia, suppl. XXVII, 283-292.
Greco G. 2010. La nascita del tetto con le tegole e la formazione dei sistemi decorativi: qualche riflessione. In: *Storia dell'Ingegneria, Atti del 3° Convegno Nazionale* (Napoli, 19-21 Aprile 2010). I, 207-218. Napoli: Cuzzolin Editore.
Greco G. 2020. Edifici termali di età ellenistica tra Calabria, Campania e Sicilia: circolazione di esperienze e saperi costruttivi. In: *Tra Ionio e Tirreno: Orizzonti d'archeologia. Omaggio ad Elena Lattanzi*, 197-213. Roma: Scienze e Lettere.
Gros P. 1997 (a cura di). Vitruvio: *De Architectura* (traduzione e commento di A. Corso e E. Romano). Torino: Einaudi.
Himmelmann N. 1980. La remunerazione dell'attività artistica nelle iscrizioni edilizie d'età classica. In: *Artisti e Artigiani in Grecia. Guida storica e critica* (a cura di F. Coarelli). 131-152. Bari: Laterza.
Hocker C., Schneider L. 1997. Pericle e la costruzione dell'Acropoli. In: *I Greci Storia Cultura Arte e Società* (a cura di S. Settis), 1239-1274. Torino: Einaudi.
Inglese C. 2000. *Progetti sulla pietra*. Roma: Gangemi.
Livadotti M. 2010. Processi di standardizzazione del cantiere ellenistico: il caso di Kos. Bollettino di Archeologia on line, I, 23-42.
Manacorda D. 1985. Cento anni di ricerche archeologiche italiane: il dibattito sul metodo, Quaderni di Storia, 6, 85-119.
Mannoni T., Boato A. 2002. Archeologia e Storia del cantiere di costruzione. Arqueologia de la Arquitectura, I, 39-53.

Mannoni T., Gianichedda E. 1996. *Archeologia della produzione*. Torino: Einaudi.
Marginesu G. 2015. Le azioni degli architetti nell'Attica classica ed ellenistica. Revue Archaeologique, 59, 3-22.
Marginesu G. 2020. *Il costo del Partenone. Appalti e affari dell'arte greca*. Roma: Salerno Editrice.
Martin R. 1972. Aspects financiers et sociaux des programmes de constructions dans les villes grecques de Grande grèce et de Sicile. In: *Architecture et urbanisme*, 533-547. Rome: École Française de Rome.
Mertens D. 1990. L'architettura. In: *Lo stile severo in Sicilia. Dall'apogeo della tirannide alla prima democrazia*, 75-100. Palermo: Novecento.
Mertens D., Schützenberger M. 2006. *Città e monumenti dei Greci d'Occidente. Dalla colonizzazione alla crisi di fine V sec. a. C.* Roma: L'Erma di Bretschneider.
Moreno D., Quaini M. 1976. Problemi di storia della cultura materiale, Quaderni Storici, 11, 31(1), 5-37.
Pensabene P. 1993. *Marmi antichi. Problemo di impiego, di restauro, d'identificazione*. Roma: L'Erma di Bretschneider.
Perrelli L. 1994. *La corruzione politica nell'antica Roma*. Milano: Rizzoli.
Rocco G. 2010. Il ruolo delle officine itineranti cicladiche nella trasmissione dei modelli architettonici tra tardo arcaismo e proto classicismo. In: *Scolpire il marmo* (a cura di G. Adornato), 159-170. Milano: Hoepli.
Sconfienza R. 2003. Architettura militare in Magna Grecia fra IV sec. a. C. e l'età ellenistica. Orizzonti, Rassegna di Archeologia, IV, 169-183.
Scranton R. 1960. Architectural inscription as documents, Harvard Library Bulletin, XIV, 59-182.
Sordi M 1992. La dynasteia in Occidente. Studi su Dionigi I, Padova.
Winter N. 1994. *Greek Architectural Terracottas from the Prehistoric to the End of the Archaic Period*. Oxford: Clarendon Press.
Wittenburg A. 1978. *Griechische Baukommissionen des 5. und 4. Jahrhunderts*. München: Ludwig-Maximilians-Universität zu München.

Francesca Romana d'Ambrosio Alfano,
Gennaro Di Fraia, Angela Schiavone

Le terme di Baiae tra mito, storia e tecnica

The Baiae baths between myth, history and technique

Sommario
Le terme romane giunte a noi, da quelle immense di Caracalla sino a quelle "domestiche" di *Fregellae*, passando per gli esempi più noti di Pompei ed Ercolano, hanno un impianto corrispondente a uno schema definito, più o meno complesso, che comprende uno spogliatoio, tre ambienti dedicati alla pratica termale vera e propria, cioè il frigidarium, il tepidarium e il calidarium, più una serie di altri vani costituiti dal laconicum e dal sudatorium, entrambi dedicati alla sauna, oltre alle sale destinate alle unzioni e ai massaggi, senza tralasciare lo spazio esterno di un'adeguata palestra. Sugli aspetti architettonici delle terme è disponibile un'ampia letteratura, mentre molto c'è ancora da scoprire su quelli termotecnici, ad esempio l'origine della tecnica dell'hypocaustum. Tradizionalmente l'invenzione dell'hypocaustum viene attribuita a Lucio Sergio Orata, un imprenditore che avrebbe ingegnerizzato il fenomeno naturale che si aveva appunto a Baia, applicandolo a Pompei. Questa teoria è oggi considerata poco attendibile, grazie alle scoperte di ambienti termali dotati di pavimenti riscaldati precedenti a quelli delle Terme Stabiane, le più antiche di Pompei. Resta però la tradizione e questo contributo vuole essere un viaggio a ritroso nel tempo a Baia, meta privilegiata dell'antica Roma prima ancora che del Grand Tour. Baia, dove il mito si intreccia con la storia, fu un luogo prediletto da vari imperatori, una meta dell'immaginario collettivo ed un laboratorio nel quale l'Ingegneria sperimentò cupole e impianti, lasciando testimonianze tangibili della tecnica romana. Baia, qui considerata per le sue testimonianze tangibili della tecnica romana.

Abstract
The thermal baths have come down to us, from the magnificent ones of Caracalla to the "domestic" ones of Fregellae, passing through the more famous ones of Pompeii and Ercolano, they have a defined scheme layout that could be more or less complex, which includes three areas dedicated to the actual thermal practice, the frigidarium, the tepidarium and the calidarium, plus a series of environments going from the laconicum and sudatorium, both dedicated to the sauna, the changing room and the gym.

Extensive literature is available on the architectural aspects of the baths, while there is still much to discover on the thermotechnical aspects, for example the origin of the hypocaustum technique. Traditionally, the invention of the hypocaustum is attributed to Lucio Sergio Orata, an entrepreneur from Baia, who allegedly engineered the natural phenomenon that occurred in Baia, applying it to Pompeii. This theory is considered by many to be unreliable, thanks to the discoveries of thermal environments with heated floors prior to those of the Stabian Baths, the oldest in Pompeii. However, tradition remains and this contribution aims to be a journey back in time to Baia, a privileged destination of ancient Rome even before the Grand Tour, where myth is intertwined with history, where Engineering experiments with domes and systems and where the emperors and the people meet in the pages of the most famous writers of antiquity. Baia, considered here for its tangible evidence of Roman technique.

Introduzione

L'area dei Campi Flegrei, i campi "divorati dal fuoco" (Silius Italicus, Le Puniche, 12.116-158), compresa tra le colline di Posillipo e Cuma, presenta un paesaggio molto variegato, oggi caratterizzato dalla presenza di quattro laghi, Lucrino, Averno, Miseno e Fusaro[1] oltre a diverse insenature e promontori. Nel territorio flegreo sorsero *Cumae Euboica*, ritenuta da Strabone la prima città della Magna Grecia, *Puteoli*, oggi Pozzuoli, *Baiae*, amministrativamente una frazione di Cuma, ma in realtà la più nota degli antichi centri termali, *Bauli*, l'odierna Bacoli, e infine *Misenum*, dove era all'ancora la più potente flotta dell'Italia imperiale. Questo paesaggio meraviglioso nasconde una caldera di 13 km di diametro, la cui attività si manifesta sia con le eruzioni che, a partire da quella dell'Ignimbrite Campana di circa 40.000 anni fino fa a quella di Monte Nuovo del 1538, hanno accompagnato la vita dei residenti, che con il fenomeno del bradisismo. Nel corso dei millenni, il bradisismo ha portato all'innalzamento e all'abbassamento del suolo locale rispetto al livello del mare e la sua attività prosegue tuttora, visto che negli ultimi anni la costa si è innalzata di più di 2 metri. Non a caso Virgilio localizzò nei Campi Flegrei l'inquietante ingresso attraversato da Enea nella sua discesa agli Inferi e non a caso gli Imperatori romani scelsero le splendide coste di questi stessi luoghi per trascorrere i propri *otia*: i Campi Flegrei erano sentiti come la terra in cui gli opposti trovavano un'inattesa conciliazione.

Le tracce nel mito e nella storia

La bellezza e la prosperità dei luoghi e la presenza di sorgenti idrotermali, oltre che di vapori provenienti dalle viscere della terra, fecero della zona costiera dei Campi Flegrei uno dei luoghi privilegiati dai ricchi patrizi e dalla corte imperiale. Non va trascurato il fatto che, grazie alla particolare conformazione della costa caratterizzata dalla profonda baia a ridosso di capo Miseno e dalla presenza di un ottimo approdo al centro del golfo, questi luoghi erano strategici. Infatti, Puteoli fu il vero porto di

Roma sino al II secolo d. C. inoltrato e Miseno accolse la più potente flotta militare dei Cesari.

Tra tutte le località della costa la più famosa fu Baia. In letteratura sono numerose le testimonianze che ne confermano la popolarità, sin dai tempi di Livio, per le sue "acque termali" e le lussuose ville costruite lungo la costa. La prima testimonianza riguardo le finalità terapeutiche delle strutture presenti a Baia e nei suoi dintorni è fornita proprio da Livio, che nel 176 a.C., nell'*Ab urbe condita*, narra del console Gneo Cornelio Scipione Ispallo, che tentò di curare la parziale paralisi che affliggeva le proprie gambe sfruttando il potere curativo delle acque termali di Cuma. Orazio, nelle sue *Epistole*, parla con orgoglio della costa baiana, affermando che «nessuna insenatura sulla terra può brillare più della splendente Baia» (Epistole, 1.1.83). La bellezza del paesaggio è sottolineata anche da Marziale, il quale poeticamente conferma quanto sostenuto da Orazio, definendo Baia come "la riva d'oro della beata Venere, il dono ammaliante della natura orgogliosa" (Epigrammi, 11.80). Lo stesso Orazio, nell'epistola indirizzata all'amico Numonio Vala, si lamenta di non potersi recare, come ogni inverno, a Baia, in quanto per curare l'artrite doveva recarsi presso le fonti termali fredde di Velia ed evitare assolutamente i bagni in acqua calda. In particolare, Orazio si sofferma sulla descrizione delle abitudini che caratterizzavano la vita quotidiana baiana, sottolineando la qualità del cibo, l'abbondanza di pesce e la bontà dell'eccellente vino, del quale non si cura particolarmente "bastandogli un vino leggero e generoso che lo renda gradito a un'amante lucana" (Epistole, I, 15, 1-24). Questo accenno alla fanciulla lucana introduce un tema che, menzionato in molti riferimenti letterari, sembra costituire una peculiarità dei soggiorni a Baia, rispetto alla quale c'erano posizioni diverse: qualcuno era affascinato dal particolare stile di vita, mentre altri ne prendevano accuratamente le distanze: ad esempio, Cicerone che, in un'orazione del 56 a.C. contro Clodia, sorella di Clodio e amante di Catullo, accusa la donna di partecipare a orge, amori e adulteri a Baia, luogo «dove tiene i suoi giardini e la sua villa a disposizione degli amanti di passaggio, si prostituisce apertamente e frequenta i banchetti di perfetti estranei» (Difesa di Celio, 15, 35).

Le prime ville baiane sorsero a partire dalla fine del II sec. a.C. (Di Luca, 2009); prima di allora, l'area era frequentata solo da alcuni patrizi dell'Urbe, che vi si recavano principalmente per sfruttare il termalismo e la piscicoltura della zona. A partire dal periodo augusteo, si registrò un particolare interesse da parte della famiglia imperiale nei confronti del litorale baiano, manifestato attraverso un aumento delle proprietà imperiali nell'area (Yegül, 1996), realizzato anche con confische di proprietà private a favore del demanio imperiale (Di Luca, 2009). Tra il IV e il V sec. d.C., le strutture termali baiane godevano di tale popolarità che il termine *Baiae* era utilizzato in maniera generica per indicare un centro benessere, anche se l'impianto era disapprovato dalla comunità cristiana proprio a causa dei piaceri mondani che ne caratterizzavano la permanenza (Yegül, 1996). Testimonianze risalenti agli inizi

del VI sec. d.C. riportano la ancora viva notorietà della zona: scrivendo a nome di Atalarico, giovane re degli Ostrogoti, il ministro Cassiodoro consigliò ad un ufficiale malato di approfittare del «potere di conferire benessere» della zona (Varie Lettere di Cassiodoro, Epistola 9.6).

Tra il VII e il IX sec. d.C. le fonti su Baia sono scarse ed è solo a partire dal 1164 che si hanno nuovamente notizie in merito al complesso balneare, grazie alla testimonianza di un medico ebreo, Benjamin di Tudela, il quale, narrando del proprio viaggio a Pozzuoli, menziona la popolarità delle sorgenti termali della regione (Yegül, 1996). Probabilmente fu la citata eruzione del Monte Nuovo, nel 1538, a determinare la scomparsa della maggior parte delle sorgenti termali della zona e a far cadere nell'oblio Baia e dintorni.

Intorno alla metà del XVII sec., il Viceré spagnolo don Pietro Antonio d'Aragona tentò di ripristinare l'attività balneare, ma, purtroppo, il successo riscosso dall'iniziativa fu limitato, sebbene fossero state rintracciate le fonti termali disperse a opera di Sebastiano Bartoli e venisse collocato, nell'area di nostro interesse, un lungo epitaffio marmoreo con il relativo elenco dei bagni presso la punta baiana detta da allora "dell'Epitaffio".

Una delle testimonianze più valide che attesta la continuità della frequentazione del sito durante il Medioevo è un poema degli inizi del XIII sec. dal titolo *De Balneis Puteolanis* scritto da Pietro da Eboli, poeta di corte al tempo di Manfredi (1232–1266), figlio di Federico II. La copia del poema conservata alla Biblioteca Angelica di Roma riporta solo 18 dei 35 epigrammi che costituivano il codice originale e che descrivono 18 bagni termali della zona di Pozzuoli e, come per le iscrizioni di Punta Epitaffio, trafugate intorno al 1830, le malattie che si era soliti curare in ciascuno di essi. Sebbene il manoscritto originale sia andato perduto, sopravvivono a oggi circa venti copie; particolarmente degne di nota sono le illustrazioni dell'opera, che rappresentano una fonte iconografica ancora in parte inesplorata (Yegül, 1996). In accordo con quanto sostenuto da Kauffman, Pietro da Eboli trasse ispirazione, per il testo e per le illustrazioni sorprendentemente dettagliate, dalla lettura di trattati e di coevi manuali popolari sulle cure balneari; in particolare, per quanto concerne le fonti per le illustrazioni e le miniature, l'autore probabilmente fece riferimento direttamente ai prototipi classici delle terme romane di Baia, sopravvissute fino al Medioevo.

Le testimonianze letterarie sono accompagnate, a Baia, da numerosi ritrovamenti archeologici soprattutto edilizi. I reperti confermano la straordinaria entità del patrimonio archeologico della zona e conferiscono valore all'osservazione di Strabone, geografo e storico greco antico, che descrisse *Baiae* come una città, non inferiore a *Puteoli*, «composta da un palazzo lussuoso dopo l'altro» (Geografia, 5.4.7). Recenti ricerche sviluppate nella zona che, a causa dei fenomeni bradisismici, fu sommersa dal mare, lasciano pochi dubbi in merito al fatto che alcuni dei resti siano appartenuti, in passato, a ville e palazzi. Altri resti archeologici, invece, appartennero agli

edifici balneari, costruiti al di sopra o in prossimità di sorgenti naturali di acqua calda e vapore; in alcuni casi, è possibile ancora riconoscere le canalizzazioni che collegavano gli impianti termali ad ampie fonti sotterranee (Yegül, 1996).

Dal XIX secolo Baia ha subito un'intensa urbanizzazione, con la costruzione di strade e cantieri navali, e, soprattutto, ha sofferto ingenti danni causati dall'attività di varie cave di pozzolana. Del considerevole patrimonio archeologico disseminato lungo la costa compresa tra Baia e Pozzuoli, l'unico sito ad aver ricevuto una "giusta attenzione", è stato l'odierno Parco archeologico di Baia, scavato tra il 1941 e il 1943 e poi tra il 1950 e il 1951 da Amedeo Maiuri, lungo le pendici della collina che domina la costa di Baia.

Baia: tra le terme e il palatium imperiale

L'opera di Maiuri fu continuata dall'archeologo napoletano Alfonso de Franciscis (1915-1989) che avanzò l'ipotesi della identificazione dell'intero sviluppo collinare di Baia con il *palatium* imperiale, in disaccordo con Maiuri che riteneva fosse un insieme di impianti termali (Yegül, 1996). A supporto della propria tesi, de Franciscis evidenziò alcune argomentazioni che possono essere riassunte in tre punti: innanzitutto, sulla base dei ritrovamenti archeologici, egli osservò che le caratteristiche architettoniche del complesso riportato alla luce fossero atipiche per essere rappresentative di un progetto di pianificazione balneare risalente ai tempi dei Romani; in secondo luogo, riconobbe nelle stilizzazioni riportate su alcune fiaschette vitree la rappresentazione dei palazzi imperiali, che identificò con le tre grandi "sale a cupola" note come templi di Mercurio, Venere e Diana presenti nel parco archeologico baiano e l'incisione del termine *palatium* su una fiaschetta vitrea fornì un ulteriore supporto all'argomentazione. Infine, egli asserì che la qualità delle decorazioni ornamentali architettoniche e scultoree, note grazie alle ricerche effettuate nell'area sommersa, si confacesse meglio al profilo di un palazzo imperiale piuttosto che a quello di un complesso termale pubblico (Yegül, 1996). Le argomentazioni avanzate da de Franciscis sono state soggette a critiche. In primo luogo, è chiaro che un complesso termale "naturale" fosse architettonicamente diverso da tutti gli altri, in cui i fumi e l'acqua dovevano essere prodotti da una combustione (d'Ambrosio Alfano, 2021). Per quanto riguarda le quattro fiaschette vitree relative a Baia, la scritta *palatium* appare solo su quella di Piombino. Infine, lo sfarzo legato alle decorazioni e alle sculture è del tutto compatibile con la presenza di ville di personaggi che a Baia venivano a esibire ricchezza e potenza.

A sostegno della tesi di Maiuri, da una analisi cronologica dei possedimenti dei vari imperatori nell'area di Baia si registra come già Augusto e, prima ancora, Giulio Cesare avessero qui delle ricche proprietà. La villa di Cesare, come confermato da Tacito, si trovava sulla strada per Miseno, a un'altezza rilevante, su una collina con una splendida vista sulla baia (Annali, 14.9.3). La posizione della villa nella zona

alta della collina è confermata da Seneca; sembra plausibile che fosse ubicata sulla collina al confine sud della baia, area in cui oggi si trova il Castello aragonese. Senza dubbio, i successori della dinastia giulio-claudia estesero le proprietà in quell'area, in particolare lungo la bassa zona costiera poiché non tutti condividevano le riserve morali espresse da Seneca in merito alla realizzazione di edifici in prossimità del mare. In particolare, in questa zona era più agevole dedicarsi all'allevamento di pesci, che all'epoca era una pratica signorile.

In ogni caso, la presenza di terrazze, portici, rampe, pergolati, fontane ed esedre, ispirata ai temi universali dell'architettura e realizzata con le tecniche romane è una esemplare dimostrazione dell'abitudine romana di modellare caratteristiche naturali e antropiche all'interno di un più ampio complesso scenografico (Bergmann, 1991). Il profondo significato della coesistenza tra i due ambiti, privato e pubblico, potrebbe risiedere nell'esclusiva nozione di *otium*, un ideale che, per gli esponenti dell'alta società, doveva essere sinonimo di privacy e comodità, spesso ricercate mediante la fuga dalla città verso la campagna. L'*otium* poteva essere inteso come attività dotta e raffinata, volta al perseguimento di uno stato di pace interiore (Cicero, De officiis, III), o come stato d'inerzia fine a sé stesso. Per i privilegiati gli spazi per l'*otium* erano le ville; probabilmente Baia, grazie alle sue caratteristiche climatiche e vulcaniche, rappresentò il luogo ideale dell'*otium* per la classe alta.

Il Parco Archeologico di Baia

Nell'area compresa tra la Sella di Baia e l'attuale linea di costa, si sviluppa il complesso realizzato su terrazze artificiali ricavate lungo le pendici della collina di Baia, descritto dal Maiuri come una «città termale i cui diversi impianti […] sfruttavano le sorgenti termo-minerali e i vapori […]. Gli edifici affacciati sul Golfo, realizzati in larghi blocchi rettangolari indipendenti, ospitavano sia le sale termali vere e proprie sia i quartieri residenziali, di riposo e turistici» (Maiuri, 1951). Inoltre, la valutazione approfondita e completa delle evidenze archeologiche relative ai monumenti rinvenuti *in situ*, suggeriscono che questi costituissero il centro di un vasto complesso balneare. Tantissime sono le fonti letterarie antiche che citano *Baiae* (Medri, 2018) e la letteratura contemporanea sulla progettazione e sull'interpretazione del complesso termale è molto vasta, ma nonostante siano numerosi gli studi di carattere generale, risultano limitati quelli dedicati a un'approfondita analisi dei singoli edifici (Medri, 2013).

La descrizione degli edifici attualmente in situ

Il Parco Archeologico di Baia sorge su di un'area in cui è possibile individuare quattro diversi settori, in Figura 1: da Nord verso Sud, si susseguono il settore delle Terme di Mercurio, la Villa dell'*Ambulatio*, il settore della Sosandra e, infine, il settore di Venere che, nella zona a quota maggiore, comprende le Piccole Terme: tutto il complesso si sviluppa su terrazze artificiali affacciate sul mare.

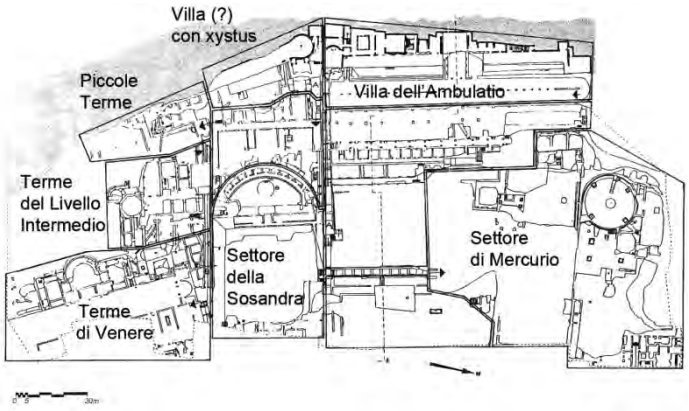


Fig. 1 - Baia, Parco Archeologico: planimetria degli edifici compresi con suddivisione per settori ed edifici (Medri, 2013).

L'analisi cronologica degli edifici

Sulla base della datazione proposta dal De Angelis d'Ossat, l'edificio più antico del complesso archeologico è la Villa dell'*Ambulatio*; quest'ultima, infatti, nel suo impianto originario, è datata tra la fine del II e l'inizio del I sec. a.C. (De Angelis d'Ossat, 1977). A partire dalla metà del I sec. a.C., si registra il primo utilizzo termale dell'area, testimoniato dalla prima fase edilizia dell'impianto delle Piccole Terme, realizzato nella zona a monte.

Con l'avvento del periodo augusteo, si osserva un'ampia crescita dell'attività edilizia, in particolare nella regione flegrea che fu dotata non solo di edifici termali, ma anche e soprattutto di nuove infrastrutture, come l'acquedotto augusteo, che collegava la sorgente di Serino con la Piscina Mirabilis a *Misenum* con un percorso di circa 100 km (Colussi e Leggieri, 2018). A questo periodo risalgono il primo impianto del settore di Mercurio, le terme note come Stanze di Venere (Medri, 2013; Ling, 1979) e un piccolo *balneum* ipogeo, rinvenuto nella zona occidentale del settore della Sosandra, che risponde perfettamente alla descrizione vitruviana dei *loca sudationibus excavata* (Vitruvio 2.6.2).

Durante il I sec. d.C. ci fu un totale riassetto dell'area in seguito alla realizzazione degli edifici del settore della Sosandra; in particolare, le nuove costruzioni previste nell'area meridionale della Villa dell'Ambulatio, portarono a un ridimensionamento di quest'ultima. I percorsi tra i vari settori e i rapporti tra gli edifici che vi sorgevano furono completamente cambiati, soprattutto a causa della definizione delle nuove terrazze e della rampa che fu realizzata lungo il margine meridionale della Villa dell'Ambulatio per collegare l'area a monte con quella a valle. Ciò che risulta certo è che in questo periodo le Piccole Terme costituivano un'entità isolata in quanto,

interrotti i rapporti con la Villa, dei quali a oggi nulla si conosce, furono separate dal resto del complesso dal muro perimetrale sud della Sosandra, che in origine non prevedeva alcun passaggio; le porte attualmente visibili furono ricavate nella muratura solo successivamente (Medri, 2013).

Un ulteriore cambiamento del complesso archeologico avvenne intorno alla metà del II sec. d.C., in cui si registra la realizzazione di un nuovo edificio balneare, noto come le Terme del livello intermedio, nell'area compresa tra le Piccole Terme e le Stanze di Venere; queste ultime, di conseguenza, furono ridimensionate e riutilizzate come cisterne. Con il completamento delle edificazioni nel settore meridionale, il complesso archeologico raggiunse, in questo secolo, una configurazione molto simile a quella attuale.

In Figura 2 è riportato lo sviluppo nelle varie fasi di vita del complesso.

Il settore di Mercurio

Il settore più a nord dell'intero complesso è quello di Mercurio, i cui confini sono determinati da una serie di ambienti prossimi a una grande sala circolare con volta a cupola, il cosiddetto Tempio di Mercurio, noto anche come Tempio dell'Eco, che è l'unico ambiente termale che conserva la cupola intatta, anche se oggetto di importanti restauri (Maiuri, 1934: 77-80).

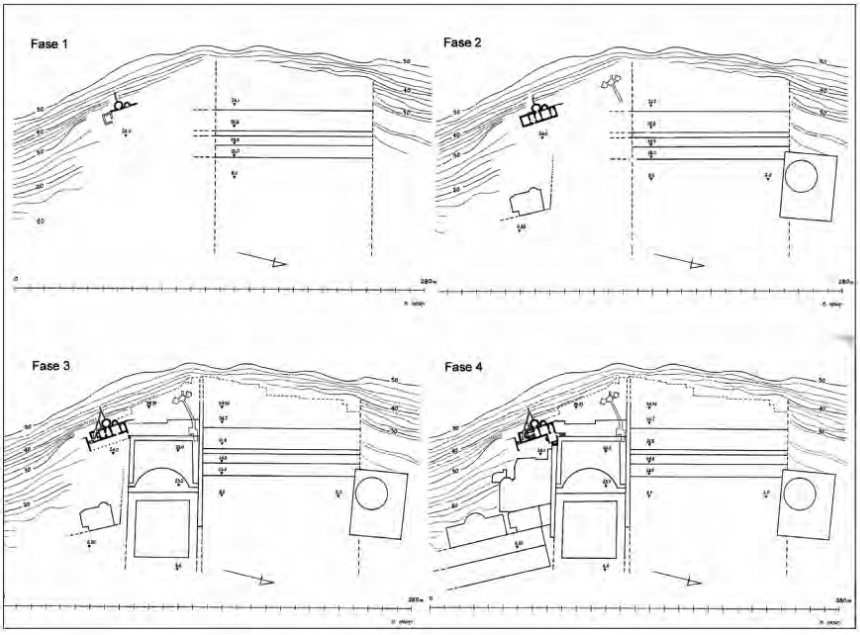


Fig. 2 – Baia, Parco Archeologico: fasi di realizzazione del complesso archeologico (Medri, 2013).

Questa "rotonda di Baia", nella quale Maiuri identificò una *natatio*, probabilmente risalente alla fine dell'età repubblicana o al principio del regno di Augusto rappresenta «una delle più mirabili costruzioni dell'edilizia romana e una delle più grandiose terme di acque minerali che i Romani abbiano utilizzato dalla fine dell'età repubblicana a tutto il III secolo dell'Impero» (Maiuri, 1934: 80). Sta di fatto che la cupola della Rotonda, tutta in *opus reticulatum*, presenta un diametro poco inferiore alla metà di quello del Pantheon, costruito successivamente, 21,46 m contro 43,55 m e si ipotizza che abbia lo stesso rapporto diametro/altezza del monumento romano: questo avvalorerebbe l'ipotesi di Baia laboratorio di sperimentazione dell'edilizia romana.

Attualmente, la sala è sommersa dall'acqua fino all'altezza dell'imposta della volta. Un sondaggio geognostico e una prospettiva radar effettuate intorno al 1998 (Pappalardo e Russo, 2001) hanno evidenziato la presenza di due pavimenti di marmo, a 4,70 m e a 6 m e di un terzo pavimento in cotto a 6,70 m rispetto a quello che era allora il livello del mare, nel senso che il bradisismo ha evidentemente modificato le quote: questo potrebbe mettere in discussione l'ipotesi di Maiuri che si tratti di una *natatio*, facendo propendere verso un ambiente "caldo".

La Villa dell'Ambulatio

Procedendo da Nord verso Sud, si incontra la Villa dell'*Ambulatio*, che si sviluppa su sette terrazze parallele, degradanti verso il mare; i terrazzamenti sono collegati da una rampa di scale, posta nell'area meridionale del settore. De Angelis d'Ossat, cui si deve la denominazione della villa, l'ha datata, nel suo impianto originario, tra la fine del II sec. a.C. e gli inizi del I sec. a.C. (De Angelis d'Ossat, 1977). Molto c'è ancora da scoprire in questo settore del Parco Archeologico con riferimento all'architettura e alle funzioni dei tanti ambienti di cui restano le tracce, anche perché la configurazione attuale del complesso è il risultato di numerose modifiche apportate nel corso dei secoli fino a quando la villa fu defunzionalizzata, perdendo il suo carattere residenziale (Giuliani, 1977). In età medievale furono realizzati piccoli ambienti nella quarta e nella quinta terrazza; probabilmente, quelli alloggiati nella quarta terrazza erano dei piccoli *balnea* (De Angelis d'Ossat, 1977).

Il settore della Sosandra

Il settore della Sosandra, che prende il nome da una copia romana della statua greca di Afrodite Sosandra, ritrovata in uno degli ambienti, si sviluppa su una serie di quattro terrazze. Per quanto riguarda la destinazione funzionale della struttura che sorge all'interno del complesso, è soprattutto nella terza e quarta terrazza di questo settore che si manifesta il confronto tra Maiuri e De Franciscis di cui si è detto e, a supporto di Maiuri, De Angelis d'Ossat (1977) riconosce nelle terrazze analizzate da Maiuri, l'*ephebéion* voluto da Nerone. L'interpretazione più convincente è quella proposta da Giuliani, che riconosce nell'edificio le caratteristiche tipologiche delle

altre ville prospicienti la costa e che sostiene che la struttura fu modificata e adattata a struttura ricettiva (Giuliani, 1977).

Nel periodo compreso tra la metà del III e il IV sec. d.C. fu effettuata una modifica radicale dell'edificio principale, che portò all'aumento del numero di ambienti causando una riduzione delle aree destinate al verde e allo svago, con conseguente enfatizzazione del carattere termale dell'edificio in questione a discapito di quello residenziale. Questa trasformazione avvenne, molto probabilmente, in funzione dell'introduzione di diversi complessi termali nelle aree adiacenti alla villa; proprio a questo periodo risalgono, infatti, la suddivisione in dodici ambienti dell'emiciclo del terzo livello e la realizzazione dei collegamenti con la villa dell'*Ambulatio* e con le Piccole Terme (Di Luca, 2009).

Il settore di Venere e le Piccole Terme

Il settore di Venere, che occupa l'area meridionale del complesso, è quello più interessante dal punto di vista termotecnico, perché conserva importanti testimonianze dello sfruttamento diretto delle sorgenti termominerali naturali per quello che oggi si direbbe un impianto sostenibile per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. Il settore si articola lungo la collina, partendo dall'alto con le Piccole Terme, proseguendo con le Terme del Livello Intermedio e la loro imponente sostruzione la cui datazione può essere approssimativamente ricondotta al II sec. d.C. (Medri, 2013), per arrivare alle cosiddette Stanze di Venere, struttura di impianto augusteo (Ling, 1979) e alle Terme di Venere, costruite probabilmente in sovrapposizione a un complesso più antico (Medri, 2013), fino alla grande Rotonda posta al di fuori del Parco, nota come Tempio di Venere.

Probabilmente è proprio qui, alle Piccole Terme, dove ancora oggi sono visibili i cunicoli attraverso i quali acqua calda e vapore acqueo fuoriuscivano dalle viscere della terra, che nacque la tradizione di Lucio Sergio Orata quale "inventore" dell'hypocaustum. Infatti, Orata avrebbe ingegnerizzato quanto visto in questo luogo, ideando l'intercapedine attraversata da fumi caldi che poi fu utilizzata in tutti gli impianti termali e che può essere considerata la madre degli attuali impianti radianti a pavimento (d'Ambrosio Alfano, 2021). In realtà, sulle *pensiles balineae* di Orata ci sarebbe molto da dire, ma lo riserviamo a una prossima puntata, limitandoci qui a una breve descrizione del funzionamento dell'impianto "naturale".

Nel *De Architectura* Vitruvio scrive «Che vi sia il fuoco in que' luoghi, si può anche ricavare dal vedersi ne' monti di Cuma, e di Baia delle grotte cavate per uso di stufe, nelle quali il gran vapore, che esce dal fondo, trafora per la veemenza del fuoco quella terra, dalla quale poi uscendo, sorge in que' luoghi, i quali sono perciò di sommo uso per sudare» (Vitruvio, 1758: 2, VI). La testimonianza di Celso « La sudorazione viene innescata in due modi, con il *siccus calor* o con il bagno. Il *siccus calor* è quello della sabbia calda e dei Laconici e dei forni e dei sudatori naturali,

dove il vapore caldo esalato dal terreno resta nell'edificio, come accade a Baia, dove sono i mirteti» (*De Medicina*, 2,17) fa pensare ad ambienti in cui era presente vapore a temperature superiori a 100 °C, così che non ci fosse presenza di acqua in fase liquida: il *siccus calor*, appunto, come confermato in qualche modo da Vitruvio che parla di generici *loca sudationibus*, il che confermerebbe che si tratta di *laconica* e non di *sudatoria* (d'Ambrosio Alfano, 2021).

Le Piccole Terme sono state oggetto di più fasi edilizie, che hanno visto non solo l'ampliamento della struttura originale, ma anche modifiche della funzione di alcuni ambienti e che sono ampiamente documentate (Medri, 2013), come mostrato in Figura 3. Poco noto è invece il funzionamento dell'impianto, di grande interesse proprio per le sue peculiarità; purtroppo, in questi 2000 anni la situazione geo-vulcanologica del sito è cambiata e degli ambienti termali non resta molto, per cui al momento risulta ancora difficile andare oltre una ricostruzione parziale della sola area delle Piccole Terme, da cui si ritiene partisse il complesso sistema impiantistico che serviva l'intero settore o parte di esso. Uno studio del genere richiede innanzitutto la conoscenza dei luoghi: nel 2016, partendo da una pianta eseguita dal Consorzio Pinacos a cavallo tra il 1989 e il 1990 e conservata presso l'Archivio della Soprintendenza per i Beni Archeologici di Napoli, è stata realizzata una rappresentazione planimetrica della struttura a partire dalla quale, con l'ausilio di operazioni di rilievo metrico dirette effettuate sul campo, si è pervenuti a una planimetria aggiornata rispetto ai risultati

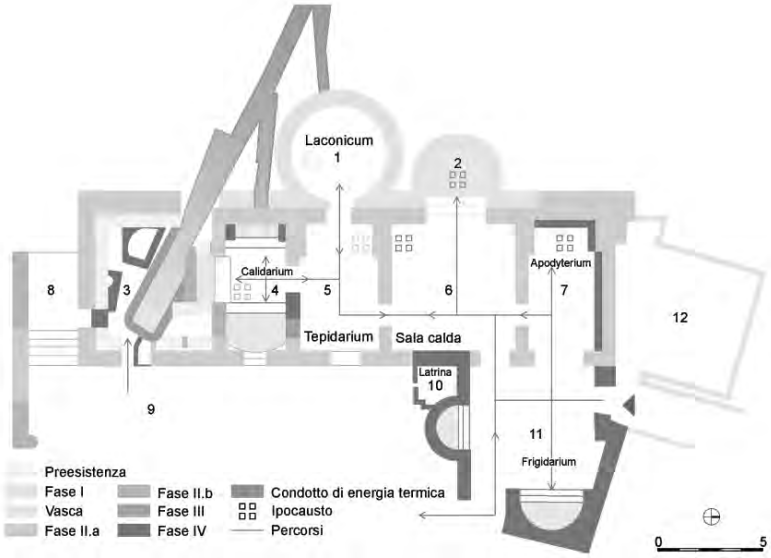


Fig. 3 – Baia, Parco Archeologico: Piccole Terme, pianta schematica dell'edificio di Fase IV (Rielaborazione di G. D'Andria da Medri, 1999).

dell'ultima sessione di scavi. La planimetria, in Figura 4, è stata ottenuta con piano di sezione a 3,10 m rispetto allo 0 relativo ubicato in corrispondenza del calpestio esterno (D'Andria, 2016).

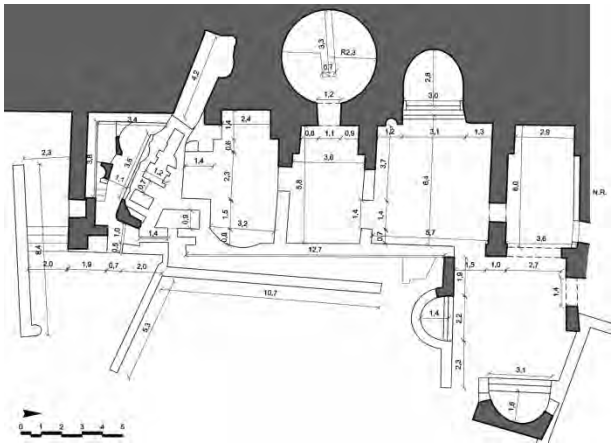


Fig. 4 – Parco Archeologico di Baia, Piccole Terme: pianta tecnica a quota 3,10 m (D'Andria, 2016).

In riferimento alla captazione dell'acqua e del vapore, l'elemento più interessante è il cunicolo in alto a sinistra in Figura 3, scoperto alla fine degli anni '50 del secolo scorso, che collega l'interno della collina con l'ambiente ottagonale delle Terme del Livello Intermedio e probabilmente prosegue. La parte a monte, quella verso la collina, fu ispezionata nel 1962 da Paget, che ipotizzò si trattasse di un accesso agli Inferi; continuando, Paget giunse a un altro ambiente che interpretò come l'*Inner Sanctuary* un santuario di origini greche (Paget, 1967); probabilmente Paget si fece influenzare dal mito più che dal desiderio di dare un contributo serio alla ricerca. È forse superfluo dire che recenti indagini speleologiche, condotte sull'intera lunghezza del cunicolo, non hanno rivelato prove a sostegno dell'esistenza di un ambiente corrispondente alla descrizione dell'*Inner Sanctuary* di Paget (Ferrari et al., 2015). In realtà, a partire dal punto d'accesso, il cunicolo prosegue all'interno della collina, con andamento praticamente rettilineo, per 121 m, con una leggera pendenza verso il basso, fino a raggiungere una polla d'acqua. Tra il 2013 e il 2014 sono state effettuate misurazioni periodiche della temperatura dell'acqua, il cui valore è diminuito da 27 °C, misurati il 12 febbraio 2013, a 26 °C, rilevati il 19 aprile 2014 (Ferrari et al., 2015): è questa una conferma di quanto sia difficile immaginare quali fossero le condizioni delle sorgenti idrominerali 20 secoli fa.

Tornando agli aspetti tecnici, è stata effettuata un'indagine sulla parte di cunicolo tra l'uscita dalla collina e la Sala Ottagonale (Citarella et al., 2018). Addossato alla parete meridionale del cunicolo, è stato rinvenuto un alloggiamento per *fistulae* realizzato con una canaletta in laterizio, sorretta da una teoria di *pilae* in terracotta con passo regolare di circa 60 cm. Questo sistema era addossato all'apparato murario ed era reso a esso solidale mediante conglomerato cementizio rivestito di intonaco idraulico. L'assenza dello spesso strato di calcare che caratterizza le superfici del cunicolo lascia presupporre che quest'elemento sia stato realizzato in un secondo momento rispetto allo scavo del condotto del vapore e che sia stato costruito contemporaneamente alle Terme del livello intermedio per garantire l'apporto di acqua cal-

da nelle vasche ivi ubicate. Evidentemente l'acqua, proveniente probabilmente dalla vasca in muratura del livello superiore oppure direttamente dall'acquedotto augusteo, era riscaldata per convezione dal vapore che scorreva all'interno del cunicolo. È verosimile che le tracce presenti lungo lo stesso muro, in corrispondenza sia del tratto di cunicolo diretto verso il livello intermedio, sia di quello all'interno della montagna, possano essere una prosecuzione dell'alloggiamento di *fistulae* appena descritto (D'Andria, 2016).

Sempre nel 2016 D'Andria ha rilevato alcuni particolari di interesse dal punto di vista dell'impianto termico, che andrebbero ulteriormente indagati, tra cui delle *fistulae* rinvenute al di sotto di uno spesso strato di conglomerato nel muro meridionale della sala 4 in Figura 3, il *calidarium*. Similmente, la presenza di un alloggiamento per *fistulae*, in adiacenza al muro meridionale del cunicolo, lascia presupporre l'esistenza di un più complesso sistema di condotti finalizzati al rifornimento di acqua calda nelle vasche delle Terme del Livello Intermedio. Inoltre, non è ancora stata attribuita una funzione precisa alle due aperture presenti nel muro divisorio degli ambienti 4 e 5 sempre in Figura 3, il *tepidarium*, probabilmente praticata per favorire il trasferimento di energia termica dal primo verso il secondo; infatti, il *tepidarium*, che non presentava alcuna connessione con il condotto di energia termica, era verosimilmente riscaldato mediante collegamenti secondari, ubicati al di sotto del piano pavimentale, con il *calidarium* e il *laconicum*, ambienti in diretta relazione con le diramazioni del cunicolo principale.

Conclusioni

Baia: un posto magico, in cui il passato e il presente, il sopra e il sotto il mare, l'antico e il moderno, il mito e la storia, la letteratura e la tecnica vivono in una sintesi difficilmente spiegabile a chi non ha ancora avuto il privilegio di camminare su queste pietre e posare lo sguardo su queste meraviglie.

«Nullus in orbe sinus Baiis praelucet amoenis...» Nulla al mondo è più splendente dell'ameno golfo di Baia (Orazio, Epistole, I - 1, 83).

Ringraziamenti

Un particolare e affettuoso ringraziamento va a Giuliana D'Andria, che con grande passione ha svolto la sua Tesi di Laurea sulle Piccole Terme di Baia.

Bibliografia

Bergmann B. 1991. Painted perspectives of a Villa Visit: Landscape ad Status and Metaphor. In: *Roman Art in the Private Sphere* (E.K. Gazda ed.), 49-70. Ann Arbor: The University of Michigan Press.

Citarella M.C., D'Andria G., Donciglio E., d'Ambrosio Alfano F.R., Palella B.I. 2018. The heating system of Piccole Terme in Baia: some hypotheses. Measurement, 118, 387-39.

Colussi F., Leggieri C. 2018. L'acquedotto augusteo del Serino a nord di Neapolis nell'area compresa tra la Sanità e i Ponti Rossi. In: *Atti del VII Convegno di Storia dell'Ingegneria – International Conference* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). I, 93-104. Napoli: Cuzzolin Editore.

d'Ambrosio Alfano F.R. 2021. *Le terme romane da Pompei a Cuma*. Milano: Ed. Delfino.

D'Andria G. 2016. *Gli aspetti termotecnici delle terme romane*. Tesi di Laurea. Dipartimento di Ingegneria Civile. Università degli Studi di Salerno.

De Angelis d'Ossat G. 1977. L'architettura delle terme di Baia. In: *Atti del Convegno internazionale I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia,* Roma 4-7 maggio 1976, 227-274. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Di Luca G. 2009. Nullus in orbe sinus Bais praelucet amoenis. Riflessioni sull'architettura dei complessi c.d. 'dell'Ambulatio', 'della Sosandra' e delle 'Piccole Terme' a Baia. *BABESCH*, 84, 143-162.

Ferrari G., Guidone I., Lamagna R. 2015. Il sistema di vapore delle Piccole Terme di Baia. In: *Atti del XXII Congresso nazionale di speleologia "Condividere i dati",* Pertosa-Auletta (SA), 439-444.

Giuliani C. F. 1977. Note sull'architettura dei Campi Flegrei. In: *Atti del Convegno internazionale I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia,* Roma 4-7 maggio 1976, 365-375. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Ling R. 1979. The Stanze di Venere at Baia. Archaeologia, 106, 77-140.

Maiuri A. 1934. *I Campi Flegrei. Dal sepolcro di Virgilio all'antro di Cuma.* Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

Maiuri A. 1951. Terme di Baia, scavi, restauri e lavori di sistemazione, Bollettino d'Arte, 36, 359-364.

Medri M. 2013. In baiano sinu: il vapor, le aquae e le piccole terme di Baia. In: *Atti del Convegno Internazionale "Aquae salutiferae. Il termalismo tra antico e contemporaneo"* (a cura di M. Bassani, M. Bressan, F. Ghedini). 119-141. Padova: Padova University Press.

Medri M. 2018. La fama di Baia e le risorse naturali tipicamente baiane nelle fonti letterarie. Archeologia Classica, 69, 549-578.

Paget R. F. 1967. *The 'Great Antrum' at Baiae: A Preliminary Report*. Papers of the British School at Rome, 35, 102-112.

Pappalardo U., Russo F. 2001. Il bradisismo dei Campi Flegrei (Campania): dati geomorfologici ed evidenze archeologiche. In: *Atti di "Forma maris", Forum Internazionale di Acheologia Subacquea* (a cura di P. Gianfrotta e F. Maniscalco). 107-199. Napoli: Massa Editore.

Vitruvio. 1758. *L'architettura di Marco Vitruvio Pollione tradotta e comentata dal marchese Berardo Galiani.* Napoli: Nella Stamperia Simoniana

Yegül F.K. 1996. The Thermo-Mineral Complex at Baiae and De Balneis Puteolanis. Art Bulletin, 78 (1), 137-161.

Nota

1. L'antico lago di Licola venne colmato cento anni fa; ugualmente scomparso è il lago di Agnano, formatosi nel Medioevo e bonificato nella seconda metà dell'Ottocento

Cairoli Fulvio Giuliani

Terremoti: riflessioni su alcuni casi tra Roma e l'Appennino

Earthquakes: reflections on some case studies between Rome and the Apennines

Sommario
Il problema dell'incidenza dei terremoti sulle condizioni dei resti pervenutici come sullo sviluppo dell'antico stato dell'arte del costruire costituisce una fortissima incognita nel processo conoscitivo dell'architettura archeologica. Per illustrarne l'ampiezza e il peso è necessario ricorrere a qualche esempio di letture tradizionali che possono risultare opinabili.

Abstract
The problem of the impact of earthquakes, both on the state of the surviving remains and on the development of the state of the art of building in antiquity, constitutes a major unknown factor in the process of learning about archaeological architecture. In order to illustrate the extent and weight of the problem, it is necessary to resort to a few examples of traditional readings that may be questionable.

Introduzione
Non sempre la lettura su basi filologiche dei resti dell'architettura archeologica riesce a spiegare in modo soddisfacente le particolarità formali e strutturali il cui insieme costituisce la "storia" di un edificio archeologico. Esiste una possibilità di lettura diversa da quella diffusa e accettata nella tradizionale sfera dell'archeologia ufficiale che, grazie a una differente angolatura di approccio consente di evidenziare altre motivazioni alla base di particolari caratteristiche dei monumenti pervenutici. Infatti, una visuale che anteponga motivazioni soprattutto strutturali a quelle puramente descrittive e di superficie, riesce spesso ad aprire prospettive nuove, quando non a sovvertire del tutto convincimenti riguardanti la storia materiale di alcuni noti edifici archeologici. Gli esempi riportati di seguito, che sono stati scelti secondo criteri di evidenza strutturale, riguardano Roma ma anche centri minori e periferici, oggi anche completamente defunzionalizzati come *Amiternum* e *Telesia*.

Roma, tempio B del Largo Argentina.
A proposito del noto sistema di legare tra loro le colonne dissestate da un sisma, si registra il fatto curioso per cui è normale accettarlo come consolidamento sismico in un peristilio a Pompei, ma quando si tratta di un edificio "nobile" come, che so, il tempio F della collina orientale di Selinunte, una funzione meccanicamente analoga non si ipotizza neppure. Si pensa piuttosto a ragioni di culto, o, nel caso peggiore, a uno schermo per evitare la vista del vicino cantiere del tempio E in costruzione (Lippolis et al., 2007: 835). La possibilità che possa trattarsi di una versione raffinata dello stesso sistema di riparazione utilizzato in occasione di danni sismici non è neppure ipotizzata, anche se dovrebbe sembrare normale per un edificio funzionante e di elevato livello qualitativo, situato in area sismica, neanche per metterla in dubbio, per esempio a causa del modesto spessore del diaframma, ma si tratta sempre di elementi lapidei, o per la leggera eccentricità rispetto alle colonne[1.]

Esempi macroscopici di chiusura parziale o totale di colonnati, quasi certamente riferibili a terremoti si hanno anche in altri edifici a Roma, nel pronao del Portico di Ottavia[2] sulla fronte del Tempio di Venere Genitrice. Verosimilmente, lo stesso fenomeno può aver interessato il tempio rotondo del Largo Argentina, in Figura 1.

Fig. 1 – Roma: Largo Argentina, tempio B, chiusura del colonnato con aggiunta strutturale del nuovo podio (Di Vita, 2015).

Fig.2 – Leptis Magna: tholos del mercato prima dell'asportazione dei blocchi di chiusura del colonnato (Di Vita, 2015).

É possibile, infatti, che la chiusura del colonnato della peristasi più che alla comunemente accettata necessità dell'ampliamento della cella per alloggiarvi una statua di culto di grandi dimensioni (Marchetti Longhi, 1960: 55-65) sia dovuto a due fasi di un generale intervento di consolidamento. Nel tempio, verso la metà del I sec. a. C. furono chiusi gli intercolumni con muri in tufo sostituiti poi, forse in età domizianea, con muratura in laterizio; in proposito si ricorda che tra il 63 e il 43 a.C. a Roma vi furono cinque terremoti) Qualcosa di simile si ebbe nella *tholos* meridionale del Mercato di *Leptis Magna*, in Figura 2, a seguito di un sisma nella metà circa del IV sec. (Di Vita, 2014: 667-668). Nel caso di Roma lo sconvolgimento del tradizionale rapporto ambulacro/peristasi, tipico dei templi peripteri e con l'ambulacro posto sempre tra la cella e il colonnato, L'anomalo trasferimento sul perimetro esterno si giustificherebbe con la necessità di una cintura di contrasto per il considerevole aumento di carico sull'appiombo del vecchio perimetro.

Roma, Teatro di Marcello e Colosseo

Anche le strutture interne del teatro di Marcello mostrano danni e riparazioni conseguenti ad urto sismico[3]. L'aula con stucchi, che come si vede in Figura 3 è posta al centro dei cunei al piano terra dell'*ima cavea*, fu foderata con uno strato di calcestruzzo spesso circa un piede, gettato in cassero ligneo per inglobare il muro originario danneggiato, sempre in Figura 3. La fodera, le cui modalità di costruzione denunciano l'urgenza dell'intervento, è considerata erroneamente un rinforzo delle cantine del palazzo degli Orsini. In realtà si deve a un intervento antico fatto per riparare danni sismici; l'antichità è dimostrata dai fori da grappa per l'incrostazione marmorea esistenti sulla faccia interna della gettata. Dove il rivestimento in calcestruzzo è mancante, si vede la lesione obliqua nel muro in reticolato con labbri

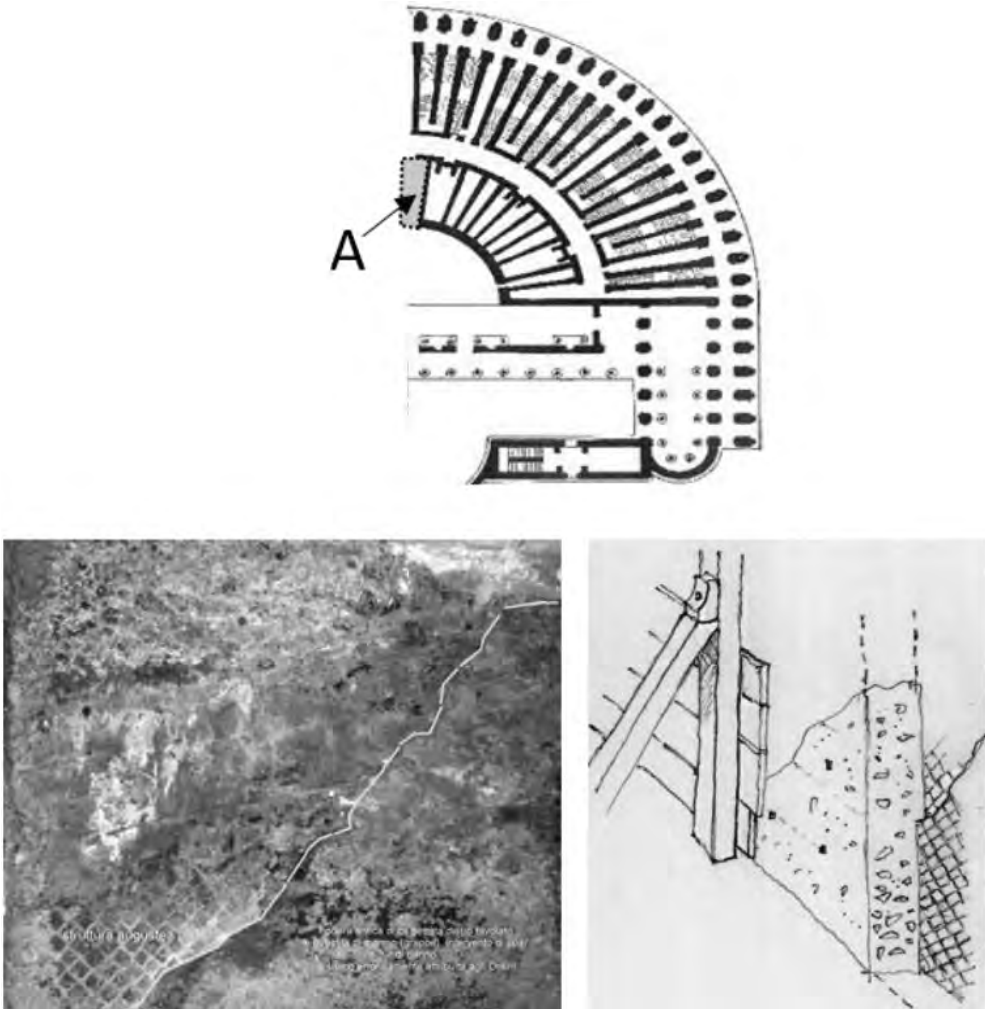


Fig. 3 – Roma: teatro di Marcello, pianta in cui la lettera A indica la posizione dell'aula (in alto), la fodera in calcestruzzo sul muro originario (sotto a sinistra, il sistema di costruzione (sotto a destra) (Giuliani, 2018).

disallineati in traslazione di 2÷5 cm con andamento ortogonale al piano della parete originaria in opera reticolata.

Il sistema di costruzione antisismica interessò anche il Colosseo non solo per il sistematico uso di grappe e perni negli archi e nelle piattabande, ma persino nei pilastri di blocchi di travertino imperniati inseriti nelle murature, per creare appoggio più efficiente ad archi di scarico asimmetrici, come mostrato in Figura 4.

Fig. 4 – Roma: Colosseo, pilastro sollecitato da archi asimmetrici (Foto di C.F. Giuliani).

Contraffortamenti

"Ridare piede" con un barbacane a una struttura inclinata, che al sisma successivo avrebbe così resistito meglio, fu una intuizione spontanea antichissima e funzionale che raggiunse nel tempo complessità inedite ed efficienti, sia per i contrafforti emergenti sia per quelli interrati, a patto di stabilire idonee ammorsature tra contrafforte e muro ammalorato, in modo che i due elementi collaborassero evitando lo scorrimento sul piano di contatto tra i differenti solidi murari. In proposito scrissi che l'aggiunta secondaria di contrafforti «…poteva dipendere sia da dissesti statici di varia natura sia dalla previsione di un aumento o cambiamento di direzione delle sollecitazioni originarie. È intuibile che mentre nel primo caso gli speroni erano chiamati a lavorare subito, nel secondo si faceva affidamento anche nella possibile riserva di stabilità, nel senso che la struttura aggiunta poteva entrare in funzione solo "se" le sollecitazioni lo avessero reso necessario» (Giuliani 2018:148).

Come si vede, a causa dell'appiattimento concettuale sui problemi statici delle strutture proprio degli studi sull'architettura archeologica, nella casistica non citai un fenomeno che pure è da sempre fondamentale nella realtà costruttiva, quello dinamico, che, peraltro, non riguarda solo i terremoti.

Il ventaglio dei contrafforti è estremamente ampio e va dal semplice barbacane ai più complessi, in Figura 5, talvolta opere di alta ingegneria come il Tabularium di Roma, i «Grottoni» che collegano il Pantheon alla cosiddetta Basilica Neptuni, in Figura 6, o l'intera parte settentrionale del santuario tiburtino di Ercole, via Tecta compresa, in Figura 7, o gli organismi articolati per successive addizioni, come Minerva Medica, Santa Sofia di Costantinopoli, San Vitale di Ravenna.

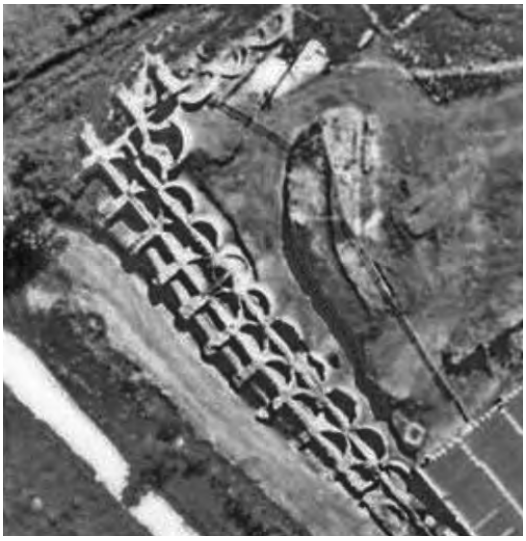


Fig. 5 – Civita di Bagno (AQ): doppia fase di contrafforti ad absidi alternate con funzione di sostruzione (Per cortesia di S. Tuteri).

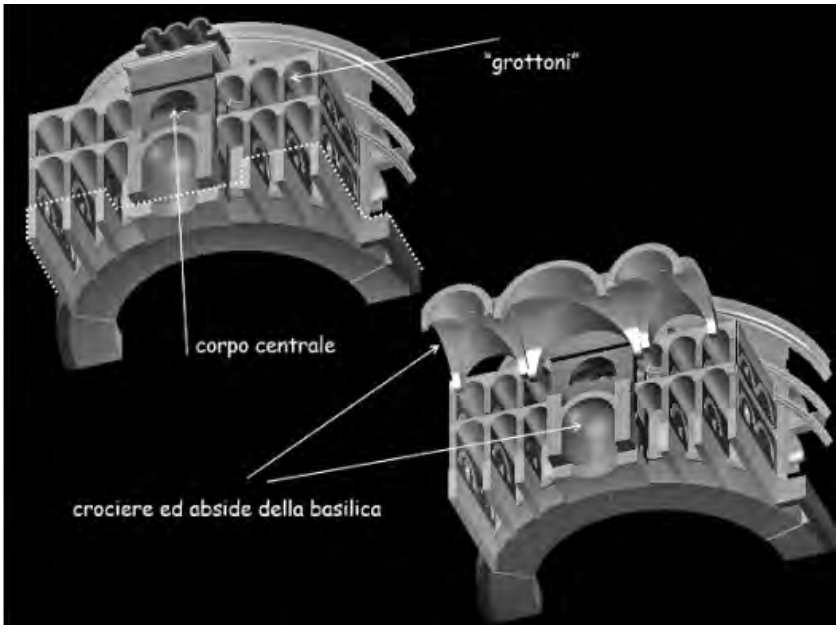


Fig. 6 – Roma: Pantheon, il complesso dei «Grottoni» sul retro che contrafforta la rotonda (Giuliani, 2018).

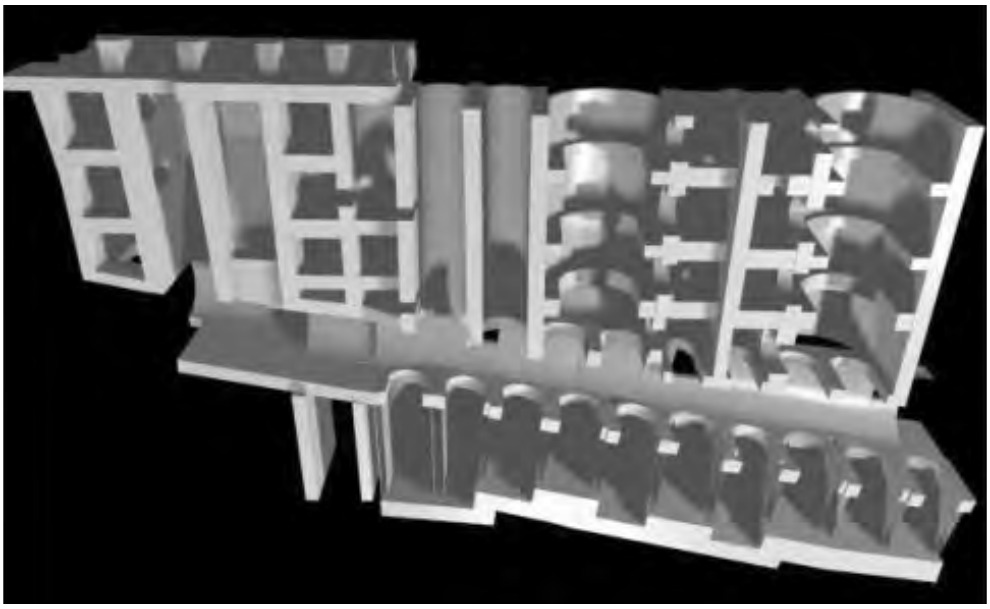


Fig. 7 – Tivoli: Santuario di Ercole, la zona settentrionale (Giuliani, 2001).

Le crisi strutturali durante la costruzione, il caso dell'anfiteatro di Amiternum

Da quanto accennato, risaltano le difficoltà nello stabilire l'incidenza della "costante terremoti" nella formazione del rudere, ma anche le possibilità dell'esistenza di una attenzione particolare, spesso ignorata, prestata dagli antichi tecnici al vasto campo dei problemi dinamici. Tutto questo anche senza aggiungere l'eventuale concorso di eventi accidentali, come l'eccezionalità di un sisma verificatosi durante la costruzione o le pause richieste da correttivi per errori di progettazione o di esecuzione, o ancora una banale mancanza di fondi.

Ad *Amiternum*, per esempio, centro da sempre soggetto a forti terremoti, l'anfiteatro, probabilmente risalente al I sec d.C., e di cui era stata realizzata la sola metà settentrionale rispetto all'asse maggiore (non sappiamo se perché affidata ad appaltatori diversi o per strategia di una stessa impresa)[4], fu danneggiato gravemente da un terremoto, obbligando a importanti riparazioni e consolidamenti che alterarono di molto il progetto originario. Questo provocò la riprogettazione della parte ancora da costruire, in Figura 8B, tenendo conto degli errori commessi e realizzando una struttura più resistente.

Nella parte iniziale, in Figura 8A, i difetti originari non furono però pienamente risolti e dopo poco tempo fu necessario aggiungere nei vani già consolidati un ulteriore riempimento con gettate compatte di calcestruzzo che ne limitò ulteriormente

Fig. 8 – Amiternum: anfiteatro. A, I fase; B, II fase (Per cortesia di S. Tuteri).

l'utilizzazione. Il fatto che non sia stato necessario farlo anche nell'altra metà dipese probabilmente proprio dalla circostanza che questa era stata ripensata anche nel sistema fondale in base all'esperienza precedente. Si tratta di un evidente esempio di miglioramento strutturale in corso d'opera conseguente al riconoscimento di errori di progettazione.

Fig. 9 – Amiternum: anfiteatro, muro ribaltato da sisma sulla sede stradale (Foto di C.F. Giuliani).

Le mura di Telesia, un antico caso di progettazione antisismica?

Un tipo di danno sismico proprio di strutture a prevalente disposizione lineare quali sono in special modo le cinte murarie, è il susseguirsi di crolli festonati verificabile sia dalle sopravvivenze materiali sia dalle rappresentazioni pittoriche; nelle Figure 10 e 11 sono riportati alcuni esempi.

Dal punto di vista della resistenza sismica è di estremo interesse il caso della cinta muraria di *Telesia,* la cui conformazione ad archi orizzontali appoggiati a robuste torri, finora un *unicum* nel panorama dell'architettura archeologica, pone qualche problema circa la finalità della funzione dei mesopirgi curvi.

Fig. 10 – Peltuinum (AQ): cinta muraria di metà I sec. A.C, 1-4 sono le torri cilindriche, le frecce indicano la festonatura dei crolli verso l'esterno (Per cortesia di L. Migliorati).

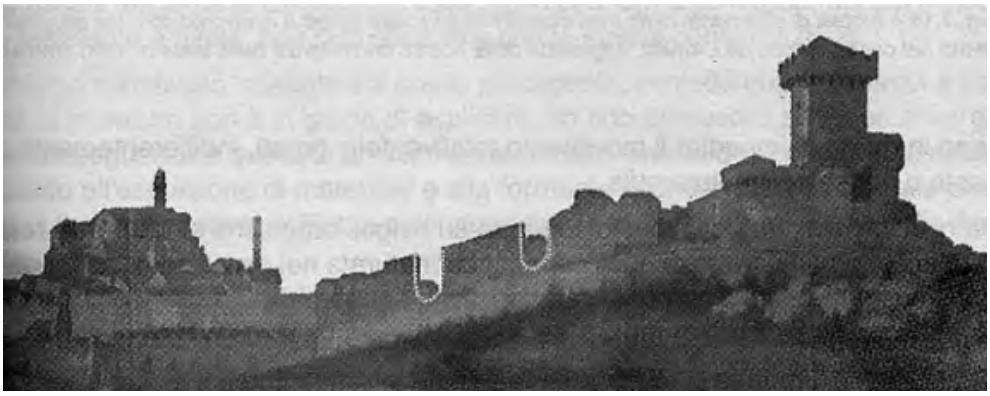


Fig. 11 – Montone (PG): le mura nel XV sec. con evidenziati i crolli festonati dal sisma (Cangi et al., 2010).

La lettura proposta da Quilici (1966; 1970), legata a motivazioni di tattica militare, seppure affascinante anche per il suo rapporto con le caratteristiche della scienza di età ellenistica, lascia tuttavia sussistere qualche possibilità di diversa lettura. Questo perché il campo di tiro che praticamente non risulta troppo dissimile da quello ammesso dalla cortina rettilinea, sempre con torri aggettanti, dipendeva molto dalla

posizione e dalla strombatura delle aperture e soprattutto dall'accessibilità del terrazzo che, se presente, avrebbe vantaggiosamente consentito il tiro delle artiglierie a 360°, quindi anche verso l'interno dell'abitato. Infatti, il tracciato dei mesopirgi concavi e appoggiati ai nuclei avanzati strutturalmente importanti, delle torri di calcestruzzo, di cui qualcuna sembra addirittura piena (Quilici, 1966, fig. 34), potrebbe anche essere stato pensato in rapporto alla maggiore capacità di resistenza dello schema strutturale della volta ad asse verticale su parete vincolata (Cangi et al. 2010: 29-31) per evitare proprio quei crolli festonati caratteristici delle cinte murarie in caso di urto sismico, come mostrato in Figura 12, a sinistra.

Per quanto concerne il rapporto cronologico tra la cinta muraria e l'anfiteatro, mi trovo totalmente d'accordo con P. Sommella (Sommella e Giuliani 1974: 61).che sostiene un avanzamento cronologico dell'anfiteatro a un periodo in cui la funzione strategica della cinta muraria era ormai vanificata. Non sembra infatti, accettabile la collocazione dell'anfiteatro in quel punto, giustificata dalla prossimità di una torre esagonale che non si vede come avrebbe potuto difendere l'organismo dalle mire di un assediante che avesse voluto trasformarlo in un comodissimo strumento offensivo, come generalmente si verificò a partire dalla tarda antichità per questo tipo di edifici.

In realtà l'identità cronologica è basata solo sulla presenza in entrambi i casi dell'opera quasi reticolata/reticolata sostanzialmente identica. Nell'anfiteatro tuttavia si tratta senz'altro di un'opera mista, data la presenza in tutti i punti strutturalmente rilevanti di laterizio di ottima qualità, che può scendere agevolmente alla metà del I sec. d.C. (Blake, 1947: 44-4; 45-3, 238; Lugli 1956: 482, 502, 505) e che pertanto può collocare le due strutture in Figura 12, al centro e a destra, ad almeno un secolo di distanza l'una dall'altra.

Infine un particolare di grande interesse riguarda lo stato di conservazione dei resti. Le mura, che oggi hanno vasti tratti di fondazione scoperte sia all'interno che all'esterno, sono l'elemento che si è più conservato dell'antico centro di cui restano pochissimi avanzi. Ora la considerazione che proprio le mura, la parte più soggetta a demolizione per sfavorevoli eventi storici, si sia sostanzialmente salvata a differenza del rimanente dell'abitato e comunque meglio di altri edifici strutturalmente impegnativi come l'anfiteatro o il teatro, può far pensare che quella particolare forma, più resistente ai terremoti delle cortine rettilinee, sia stata usata a questo scopo.

In questo caso avrebbe comunque valore l'osservazione di L. Quilici, secondo cui l'idea delle mura della colonia sillana, non triumvirale, sarebbe stata importata e applicata dalle truppe di Silla di ritorno dalla campagna in Asia Minore. Solo che anziché derivare dalle teorie scientifiche di Filone di Bisanzio l'idea potrebbe essere l'elaborazione da parte di qualcuno dei tecnici del genio militare che, notato il comportamento della parete concava nei frequenti casi di porte urbane, abbia pensato di estenderla ai mesopirgi dell'intera cinta urbana.

Fig. 12 – Telesia: lesione da sisma ad una torre cilindrica all'incontro di due mesopirgi inflessi (a sinistra), opera quasi reticolata della cortina interna delle mura (al centro), opera mista dell'anfiteatro (a destra) (Foto di C.F. Giuliani).

È evidente che, nel caso di un concreto rapporto delle mura con la nota sismicità dell'area, evidenziata dal terribile sisma del 346 (Galadini e Galli, 2004: 885-905; Soricelli, 2009), riportato anche in Guidoboni et al. [1], avremmo un esempio unico di applicazione a vasto raggio di "strutture antisismiche" nell'edilizia antica.

Bibliografia

Blake M.E. 1947. *Ancient Roman Construction in Italy from the prehistoric period to Augustus*. Washington: Carnegie Institution.

Cangi G., Caraboni M., De Maria A. 2010. *Analisi strutturale per il recupero antisismico*. Roma: DEI, Tipografia del Genio Civile.

Di Vita A. 2015. *Scritti Africani II*. Roma: L'ERMA di Bretschneider.

Galadini F., Galli P. 2004. The 346 A.D. earthquake (Central-Southern Italy): an archaeoseismological approach. Annals of Geophysics 47(2-3), 885-905.

Galli P., Molin D., Scaroina L. 2013. Tra fonti storiche e indizi archeologici, terremoti a Roma alla soglia del danno. Rivista dell'Istituto nazionale d'archeologia e storia dell'arte, 62-63, III, XXX-XXXI, 9-32.

Giuliani C.F. 2001. Alcune osservazioni in margine all'Anfiteatro Campano. In: *Beni Culturali in terra di Lavoro. Atti del Convegno di S. Maria Capua Vetere*, 9-10 dicembre 1998, 33-40. Napoli: Luciano Editore.

Giuliani C.F. 2018. *L'Edilizia nell'Antichità*, 2 ed. Roma: Carocci.

Guaitoli M. 2003. *Lo sguardo di Icaro. Collezioni dell'aerofototeca nazionale per la conoscenza del territorio*. Roma: Campisano Editore.

Guidoboni E., Comastri A., Traina G. 1994. *Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean area up to 10th century*. Bologna: ING-SGA.

Guidoboni E. Ebel J. 2009. *Earthquakes and Tsunamis in the Past. A Guide to Techniques in Historical Seismology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lippolis E., Livadiotti M., Rocco G. 2007. *Architettura greca. Storia e monumenti del mondo della polis dalle origini al V secolo*. Milano: Bruno Mondadori.

Lugli G. 1957. *La tecnica Edilizia Romana*. Roma: Barbi.
Marchetti Longhi G. 1960. *L'Area Sacra del Largo Argentina*. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.
Quilici L. 1966. Telesia: studi di Urbanistica Antica. Quaderni dell'Istituto di Topografia Antica della Università di Roma, 2, 85-106.
Quilici L. 1970 Telesia. In: *Enciclopedia dell'Arte Antica*. Roma: Istituto Treccani.
Sommella P., Giuliani C.F. 1974. *La pianta di Lucca Romana*. Quaderni dell'Istituto di Topografia Antica della Università di Roma VII. Roma: De Luca Editore.
Soricelli G. 2009. La Provincia del Samnium e il terremoto del 346 d.C. In: *Interventi imperiali in campo economico e sociale da Augusto al Tardoantico* (a cura di A. Storchi Marino e C.D. Merola). 245-262. Bari: Edipuglia.

Sitografia

[1] Guidoboni et al., 2018
https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5

Note

1. Si noti che trattandosi di blocchi lapidei, la resistenza alla compressione orizzontale, tra le colonne, sarebbe comunque più efficace che nella muratura semplice sollecitata controverso.
2. Forse dopo il terremoto del 443 valutato del 7,5/8 della scala Mercalli, le due colonne di destra con i tre intercolumni furono sostituiti da un'arcata che poi divenne l'ingresso di Sant'Agata *in summo circo* e poi di S. Angelo in Pescheria.
3. Per danni sismici all'intorno cfr. (Galli et al., 2013), dove tuttavia non si considera il problema dell'inquadramento critico del *corpus* epigrafico già evidenziato in (Guidoboni et al., 1994: 252.254). Per i riflessi in campo sismologico cfr. (Guidoboni e Ebel, 2009: 59, 375-376).
4. Un caso di cantieri indipendenti affidati ad appaltatori diversi ai lati dell'asse maggiore dell'ellisse, denunciato dalla profonda diversità della qualità del lavoro, a partire dalla differente accuratezza del tracciato delle fondazioni, si ha nell'Anfiteatro Campano (Giuliani, 2001: 33-40).

Luigi Marino, Raffaele Serangeli

Il ponte romano sul torrente Harod (Israele). Nota su un ponte posto in diagonale rispetto al corso dell'acqua

The Roman bridge over the Harod river (Israel). Note on a bridge placed diagonally with respect to the direction of flow of the river

Sommario

Il ponte di *Beth Shean* si presenta ampiamente ricostruito nel XIX secolo; la muratura romana è visibile chiaramente sulla spalla settentrionale, dove gli antichi conci sono ancora presenti fino a un'altezza di circa 1 m, e sulla spalla meridionale, dove raggiunge un'altezza di quasi 3 m. Il ponte, anche nelle sue condizioni attuali, costituisce un monumento di grande interessante per la singolarità delle soluzioni d'apparecchio adottate: era posizionato in obliquo rispetto alla direzione del corso d'acqua, ma con i fianchi dell'arco paralleli alle sponde del fiume. Consisteva in una volta a botte con base romboidale; nello spazio formava una botte a base rettangolare e due triangoli semicilindrici. I due fronti erano rivestiti di lastre di pietra. Per avere una idea credibile del ponte originario può essere utile il confronto con altri ponti posizionati in obliquo rispetto al corso d'acqua. Il più importante tra questi è il ponte Fonnaia, a Massa Martana, lungo la via Flaminia.

Abstract

The bridge at *Beth Shean* was extensively rebuilt in the nineteenth century; the Roman masonry is clearly visible on the north shoulder, where the ancient stone blocks are still present up to a height of about 1 m, and on the south shoulder, where it reaches a height of nearly 3 m. The bridge, even in its current condition, is a monument of great interest because of the singular nature of the structural solutions adopted: the bridge was positioned obliquely with respect to the direction of the water course but with the sides of the arch parallel to the banks of the river. It consisted of a barrel vault with a rhomboid base; the internal space formed a rectangle and two semicylindrical triangles. The vault was built using stone blocks arranged in horizontal rows. The two fronts were cladded with stone slabs. To get a credible idea of the original bridge, it may be useful to compare it with other bridges positioned obliquely with respect to the water course. Important among these is the *Fonnaia* Bridge located along the *Via Flaminia*.

I ponti romani

Un catalogo che comprenda gli oltre novecento ponti che i Romani ci hanno lasciato (Gazzola, 1963; Galliazzo, 1994) potrebbe essere organizzato secondo classi che tengano conto di cronologie, diverse tipologie intese come geometrie dipendenti dalle caratteristiche dei territori e articolazioni planovolumetriche del costruito, tecniche in termini di uso di materiali, lavorazione e soluzioni di apparecchio e riutilizzi, cioè di adattamenti e restauri. Tali classi possono stimolare processi conoscitivi e di tutela in una ottica evolutiva nel quadro di relazioni tra teoria e pratica, tra scienza e invenzione tecnica, tra casualità e necessità. Si devono prendere in considerazione le storie costruttive dei manufatti che si possono considerare standard, e perciò più volte riprodotti, ma anche quelli che presentano, invece, locali singolarità, comprese le trasformazioni avvenute nel tempo tanto da farne esempi unici o quantomeno rari.

Ponti con impianto obliquo

Una classe di ponti di certo interesse è costituita da quelli in pietra che presentano un andamento non perpendicolare ai corsi d'acqua ma si sviluppano in maniera obliqua. I costruttori romani hanno cercato di evitare di regola l'apparecchio elicoidale preferendo adottare un apparecchio retto in *opus quadratum*, anche se non sempre molto regolare, limitando lo sbieco, o obliquità[1], alle testate realizzate con un opportuno taglio obliquo dei conci. Nella maggior parte dei casi l'apparecchio è costituito da un *opus arcuatum* con conci sagomati a cuneo e adatti alla formazione delle diverse strutture voltate. Allo stato attuale sopravvive un numero non indifferente di ponti obliqui che presentano uno sbieco contenuto tra 10° e 20°, ma anche alcuni manufatti in pietra con forte sbieco: il viadotto di Valle Ariccia, disegnato da Piranesi che lo ha definito "magnifico", ha uno sbieco di 30° e il ponte di *Beth Shean* in Israele che ha uno sbieco di oltre 25°. Il ponte Fonnaia a Massa Martana[2], invece, presenta uno sbieco di quasi 60°. Lo stato di conservazione di tali ponti è generalmente sufficiente anche se quasi tutti denunciano gli inevitabili cedimenti dovuti alla loro particolare struttura: perdita di geometria delle sezioni trasversali, quadri fessurativi relativi a slittamenti lungo i piani di posa dei filari, ribaltamento di cunei di apparecchio di testa a causa di sollecitazioni dall'interno verso l'esterno oppure sbrecciature angolari con espulsioni localizzate di materiale lapideo.

Il ponte sul torrente Harod in Israele

Il *Nahal Harod*, *Jalud* in arabo, è un fiume che passa dalla città di *Beth Shean*, *Bisan* in arabo, l'antica *Scythopolis*. Nel punto dove la valle si allarga, la strada scende verso il fiume attraversato da un ponte[3] per poi risalire dalla parte opposta. La collocazione non sembra godere attualmente di una rilevanza topografica e strategica ma anticamente la strada svolgeva un importante ruolo poiché collegava *Scythopolis* a *Lejjun*, la *Legio Caparcotna*, e arrivava fino ad Acri *Ptolemais* (Isaac e Roll, 1982)[4].

Il ponte è databile tra la fine del I secolo d.C. e la metà del II secolo in una epoca in cui la Palestina si è trovata coinvolta in una vasta attività di trasformazioni territoriali. Attualmente la sua funzione è fortemente ridotta perché a circa 50 metri a monte c'è un nuovo ponte che assorbe tutta la viabilità. Tra i due ponti l'alveo del fiume sono contenute da massicce opere di difesa idraulica mentre a valle il fiume scorre tra argini rocciosi che solo in parte hanno avuto bisogno di essere rinforzati.

Del ponte antico, solitamente chiamato "romano" e inglobato nel ponte ricostruito dai turchi nel XIX secolo perché in parte crollato, attualmente sopravvivono solo parti ridotte della muratura originaria, in ogni caso, sufficienti a definirne le antiche caratteristiche dimensionali e costruttive. Viaggiatori che avevano avuto occasione di vedere il ponte prima della ricostruzione, testimoni di condizioni di conservazione ancora accettabili[5], descrivono la struttura romana come una volta a botte di pianta trapezoidale, ma apparecchiata come se fosse dritta con le assise dei conci a cuneo posti in filari paralleli al corso d'acqua[6].

Non è molto chiaro quale siano stati i motivi dell'intervento turco. È probabile che la ricostruzione che ha previsto una radicale modifica strutturale sia stata condizionata da una incapacità di assicurare una efficace integrazione delle strutture romane parzialmente collassate adottando una procedura di costruire più congeniale e di uso collaudato. Non si può escludere che questa ricostruzione sia stata giustificata, oltre che da una reale necessità di facilitare la viabilità, anche da un valore simbolico[7] legato al controllo del territorio da parte del sultano in un momento in cui era impegnato a contrastare le aspirazioni del movimento sionista ad avere uno stato ebraico in Palestina e le pretese dei Giovani Turchi che, nel 1909, lo avrebbero deposto. I costruttori turchi hanno utilizzato con efficacia le murature romane come base fondale e il materiale crollato in precedenza ma anche quelli che si sono resi disponibili dalla distruzione sistematica di murature dilapidate e riutilizzate nel vicino villaggio.

L'intervento turco è evidente; i fronti del ponte sono caratterizzati da una muratura di piccoli conci[8] provenienti da una probabile rilavorazione degli elementi del ponte romano che presentano una generale buona fattura con evidenti tracce di lavorazione a spacco e rifiniture a scalpello nei bordi e, allo stesso tempo, anche da conci lavorati in maniera più sommaria, forse per adattarsi a esigenze particolari. I conci d'apparecchio nella parte superiore sono disposti a filari orizzontali e regolarizzati da riporti di malta sabbiosa, mentre nella parte inferiore si inclinano leggermente verso il centro per contribuire a contenere la spinta alle reni dell'arco. Gli archi di facciata, contrariamente a quelli obliqui originari romani, sono posti ortogonalmente alla generatrice della volta. Allo stato attuale il ponte è caratterizzato da 8,5 m di luce, l'altezza in chiave di volta è di 4,5 m e la larghezza complessiva, parapetti compresi, è di oltre 9 m. Sul fronte a valle una iscrizione incisa su una lastra murata nel parapetto commemora la ricostruzione del ponte da parte delle autorità turche avvenuta durante il regno di Abdul Hamid II (1876-1909). Sul fronte opposto si trova una pietra con inciso un

simbolo araldico di non facile interpretazione. Nelle Figure da 1 a 5 sono riportati alcune tavole di rilievo del ponte, mentre in Figura 6 sono riportate due foto.

Lo sviluppo ogivale è ben denunciato nel fronte a valle mentre sul lato opposto si riscontra una curva, con qualche irregolarità, a due centri. La ghiera d'arco è realizzata con un doppio filare di armille che parte da terra sul prospetto settentrionale mentre su quello meridionale si appoggia alle residue murature romane. La ricostruzione grafica del manufatto romano è basata sul presupposto che il ponte fosse un ponte obliquo ma con i fianchi dell'arco paralleli alle sponde del fiume. Le indicazioni fornite da Conder e Kitchener nel 1882 in Survey of Palestine [1] riflettono condizioni che erano molto diverse da quelle odierne, ma è ancora possibile verificare queste differenze. All'epoca il ponte consisteva in una volta a botte con base romboidale che nello spazio formava una botte a base rettangolare e due triangoli semicilindrici. Questa ipotesi è comprovata dalla direzione della strada romana, di cui si sono conservati dei tratti. Dove Guérin cita un arco a tutto sesto (Guérin, 1880), Conder e Kitchener riportano misure che si riferiscono non a un semicerchio ma a una semiellisse che è la sezione verticale ma obliqua rispetto alla direttrice della volta [1]. Per un possibile dimensionamento dell'antico ponte utile è la leggera variazione dell'allineamento e nel prospetto dove la finitura della muratura mostra chiaramente una anomalia in corrispondenza di una linea che potrebbe indicare il bordo della struttura romana. Su questo bordo si è appoggiata la muratura turca con una aggiunta di 2,55 m per trasformare il ponte originale inclinato in uno perpendicolare al torrente.

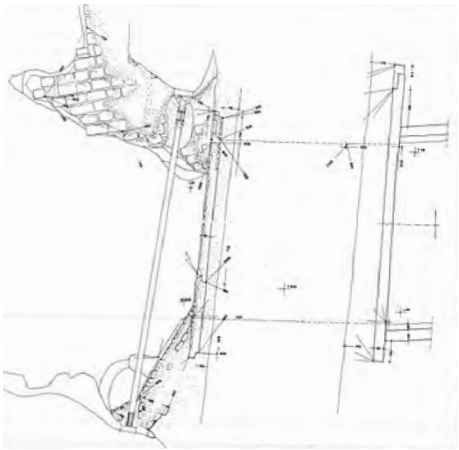


Fig. 1 – Il ponte romano di Beth Shean: planimetria dello stato attuale. I rilievi originali sono in scala 1:50 (Disegno di L. Marino).

Fig. 2 – Il ponte romano di Beth Shean: ricostruzione grafica dell'andamento del ponte romano sovrapposto a quello attuale (Disegno di L. Marino).

La muratura sulla riva orientale evidenzia quattro filari e arriva fino a un'altezza media di oltre un metro. In corrispondenza della riva occidentale la muratura originaria arriva a una altezza di oltre tre metri lasciano bene in evidenza la logica di apparecchio dei conci dell'edificio romano e, nelle aree di crollo sopravvissute in

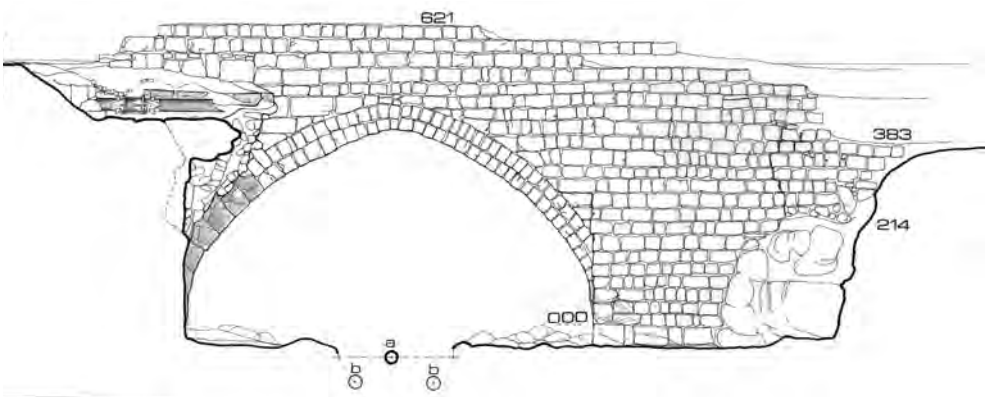


Fig. 3 – Il ponte di Beth Shean: prospetto meridionale del ponte turco con indicazione del centro del ponte originario a tutto sesto (a) e dei centri del ponte turco ogivale (b). I due filari della ghiera del ponte turco si appoggiano ai resti superstiti della struttura romana (Disegno di L. Marino).

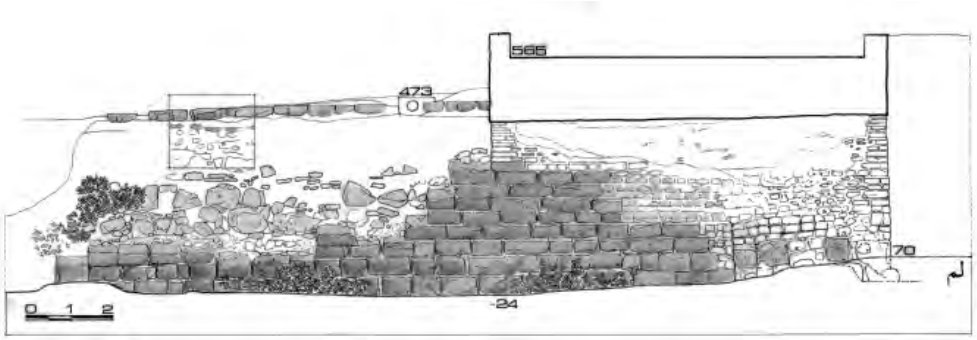


Fig. 4 – Il ponte di Beth Shean: sezione longitudinale S-N del ponte turco con evidenza dei resti del ponte romano e traccia delle due strade sovrapposte (Disegno di L. Marino).

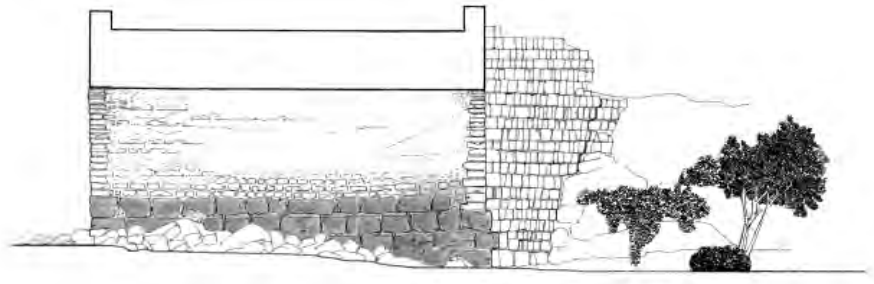


Fig. 5 – Il ponte di Beth Shean: sezione longitudinale N-S del ponte turco con tracce dell'apparecchio del ponte romano (Disegno di L. Marino).

Fig. 6 – Il ponte di Beth Shean: resti dell'apparecchio superstite del ponte romano (Foto di L. Marino).

vista, il nucleo di riempimento, costituito da un'opera a sacco realizzata con una malta molto dura e *caementa* dello stesso tipo litologico, a ridosso del banco roccioso. Questi resti murari appartenevano alla volta e alla struttura di supporto delle due soprastanti strade lastricate[9], poste a una quota di circa 5 m dal piano dell'acqua.

L'esplorazione delle murature romane è possibile soprattutto sullo spezzone superstite in corrispondenza della soprastante strada e che corrisponde alla muratura compresa tra l'attuale facciata turca e l'antico spigolo acuto del triangolo cilindrico non più esistente.

La struttura romana in vista è caratterizzata da conci basaltici[10] parallelepipedi con rade tracce di lavorazione[11]. I conci, almeno alcuni, sono tagliati in maniera da fornire la faccia di posa per gli elementi di apparecchio adeguandosi alla curvatura della volta che comincia dopo due filari verticali[12]. L'appoggio della ghiera alla muratura verticale è realizzato con un peduccio d'imposta sagomato, ben allettato nel calcestruzzo del rinfianco. Al momento non si hanno informazioni sulle strutture di fondazione e sulle soluzioni di appoggio sul terreno. Il collegamento tra le murature del ponte e il loro naturale supporto è stato forse effettuato con il consueto sistema di gradoni intagliati nella roccia e gettate di calcestruzzo come sembrerebbe indicare la traccia visibile al di sotto della strada romana.

Gli elementi della volta[13] del ponte romano sono apparecchiati su filari sufficientemente orizzontali e localmente regolarizzati con lo sporadico uso di zeppe mentre non si riscontrano casi di calettature o tenoni metallici. Le condizioni del ponte non permettono, ovviamente, la verifica di possibili armature nelle aree dei triangoli semicilindrici dei due fronti di testa. Per quanto riguarda le pareti frontali del ponte, si può supporre che queste fossero rivestite di blocchi o lastre di pietra probabilmente rifiniti in opera per assicurare gli opportuni incastri, fissati con malta o forse tenuti uniti da grappe metalliche. Nella posa dei conci sono state assicurate le alternanze delle stilature verticali anche se non sempre è stata risolta la completa alternanza dei

conci[14]. La parte più bassa della muratura, fino alla quota della curvatura della volta, presenta una minore regolarità di apparecchio che, invece, si riscontra nella parte superiore almeno per quanto è possibile vedere sulla superficie di intradosso.

Si può ritenere che la parte più fragile dell'intero sistema romano fosse la volta[15], resa ancora più fragile dall'andamento trapezoidale della pianta e dall'inusuale apparecchio dei fronti dei triangoli cilindrici, unghie triangolari, che prevedevano l'adozione di cunei con spigoli acuti naturalmente molto vulnerabili, mentre i fianchi della volta erano più stabili perché di massa adeguata. La robustezza di una volta a botte deriva dal fatto che la massa della struttura e il suo carico determinano linee di forza che vengono trasferite nelle spalle e nel terreno riducendo i rischi che i conci d'apparecchio disposti parallelamente alle spalle possano slittare. Per ponti leggermente obliqui è possibile utilizzare lo stesso metodo di costruzione, disponendo i conci in corsi paralleli ai monconi realizzando un "falso arco obliquo". In ogni angolo in cui la faccia forma un angolo acuto ci sono forze risultanti che non sono perpendicolari ai piani dei corsi di pietra assegnando all'attrito e alla forza di adesione delle malte l'unica resistenza all'espulsione dei conci. Gli elementi di apparecchio della volta turca hanno inglobato i sopravvissuti elementi lapidei originari utilizzandoli come base di appoggio, integrandoli con un apparecchio di conci di piccola taglia[16], ancora più piccola di quella dei prospetti e murati con malta.

Pare interessante segnalare il fatto che i conci radiali di apparecchio di ogni filare sono sovrapposti al filare inferiore con un arretramento di 2-4 cm rispetto al bordo superiore con una scalettatura che si rende evidente nel profilo di intradosso. Negli interstizi stondati tra i conci non sopravvivono tracce di malta se non in profondità. Non è stato possibile verificare se siano stati impiegati conci con funzione di catena trasversale ma sembra lecito ipotizzare che i conci, o almeno alcuni conci, che presentano nella faccia vista la minore larghezza possano essere la testa di elementi di catena. Le superfici di estradosso risultano lavorate con minore accuratezza e presentano spigoli arrotondati o spaccati per ricavare conci cuneiformi. Dal punto di vista stratigrafico va osservato come la massa della malta del nucleo risulta appoggiata e ben costipata alla volta preventivamente apparecchiata sull'impalcato della centina. Il getto del conglomerato è posto a riempire il volume formato dall'estradosso della volta e lo scavo del banco roccioso. Sull'estradosso della volta in pietra c'era un allettamento di calcestruzzo e un parziale riempimento di terra e sassi che aveva uno spessore in chiave di circa un metro. Il confronto di questa dimensione con le quote corrispondenti alle due pavimentazioni romane può suggerire che il ponte, nella fase corrispondente a quella della pavimentazione più antica, fosse leggermente, a schiena d'asino.

Il peso delle varie componenti strutturali era sostenuto dal trasferimento progressivo della pressione sul terreno e da solidi contrafforti. Oggi sopravvivono le tracce appartenenti probabilmente ai due muri d'ala incorporati nei muraglioni recenti.

Il ponte Fonnaia a Massa Martana: un utile confronto

Alla luce dei resti superstiti si può immaginare come fosse il ponte di Beth Shean quando era integro, almeno nella parte a pianta rettangolare. Più difficile è immaginare come potessero essere, invece, i due triangoli semicilindrici oggi non più esistenti. Un interessante confronto può essere fatto con il ponte Fonnaia a Massa Martana[17] (Balance, 1951). Nelle Figure 7 e 8 sono riportate due tavole di rilievo, mentre nelle Figure da 9 a 11 sono riportate alcune foto.

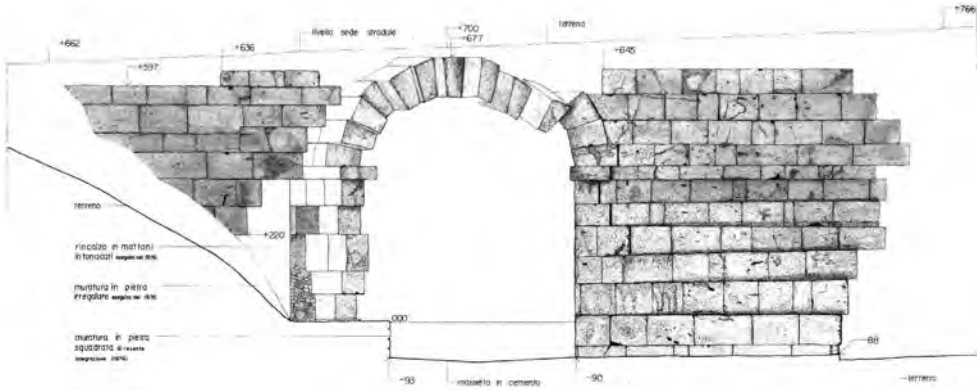


Fig. 7 – Il ponte Fonnaia a Massa Martana: sezione-prospetto che evidenzia lo stato della testata settentrionale della volta (Disegno di R. Serangeli e A.R. Catalucci).

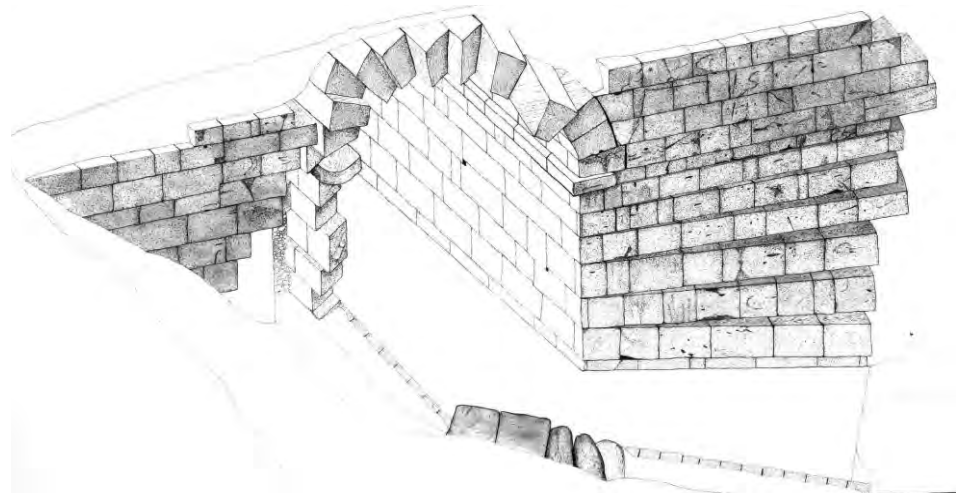


Fig. 8 – Il ponte Fonnaia: l'assonometria della testata meridionale suggerisce condizioni di apparecchio della volta sbieca facilmente associabile a quella del ponte di Beth Shean con le differenze dimensionali che esistono tra i due ponti (Disegno di R. Serangeli e A.R. Catalucci).

Fig. 9 – Il ponte Fonnaia: fronte settentrionale. Si evidenziano: la volta apparecchiata con conci radiali che partono dalla mensola di imposta, la relazione con il muro di risvolta e il conglomerato della massa interna (Foto di R. Serangeli e A.R. Catalucci).

Fig. 10 – Il ponte Fonnaia: il fronte meridionale mostra i conci sfalsati della volta e alcuni conci sagomati residuo dell'apparecchio dell'arco frontale (Foto di R. Serangeli e A.R. Catalucci).

Fig. 11 – Il ponte Fonnaia: sconnessione dell'apparecchio e rischio di ribaltamento dei conci della testata (Foto di R. Serangeli e A.R. Catalucci).

Il ponte è ancora quasi integro avendo perduto solo parte dei fronti, quella più vulnerabile; ha una sola arcata larga 3,40 m, lunga circa 15 m e alta 8 m circa. La singolarità più evidente è[18] il fatto di avere una obliquità che crea uno sbieco di circa 60°. I conci, lavorati in *opus quadratum* sufficientemente regolare, sono apparecchiati in 7 filari di elementi cuneiformi ben alternati e lavorati a leggera bugnatura, la cui altezza diminuisce man mano che si alzano da terra. I conci presentano, ogni quattro o cinque ortostati, un diatono che attraversa tutto lo spessore del muro e si ammorsa nel conglomerato di rinfianco[19].

Una buona parte dei conci presenta dei fori che possono essere riferiti probabilmente all'uso di *ferrei forfices* di sollevamento.

I conci radiali della volta a tutto sesto sono più spessi dei conci di apparecchio delle spalle e misurano in media circa un metro. Il livello di imposta della volta è segnato da una mensola che sporge di 12 cm in media e deve aver costituito anche l'appoggio dei cavalletti della centinatura in legno. Nei prospetti le testate oblique della volta sono ammorsate alle murature di spalla con un accorto impiego di conci opportunamente sagomati, rispettivamente ad angolo acuto o ottuso nei due lati contrapposti.

Contrariamente al ponte di *Beth Shean*, nel quale la volta romana è andata perduta, il ponte Fonnaia permette di osservare almeno una parte delle soluzioni costruttive adottate e basate su una accorta opera di stereotomia. Si può immaginare che la realizzazione dei conci "specializzati" non possa essere il risultato di una improvvisazione di pur abili tagliapietre ma che sia stata preceduta da una accorta progettazione e da un attento lavoro in opera[20]. Il parziale crollo delle testate, rovesciamenti ed espulsioni angolari, mette in luce i conci della volta, tagliati in diagonale per

adeguarsi alla obliquità del ponte, ma anche alcune elementi che formavano il fronte dei muri di testa[21]. Nel prospetto della testata a valle le assise non sono parallele tra loro per contribuire a contenere le spinte ed evitare fenomeni di scorrimento.

Al ponte sono collegati *muri di risvolta* a ventaglio qui allo scopo di ampliare l'area di contenimento delle spinte del rilevato di terreno e di migliorare la gestione dell'azione dell'acqua.

Bibliografia

Albenga G. 1966. *I ponti, la pratica*. Torino: UTET.
Avi-Yonah M. 1940. *The Map of Roman Palestine*. Paris: Librairie Orientaliste Paul Geuthner.
Balance M.H. 1951. *The Roman Bridges of Via Flaminia*. Papers of the British School at Rome, 19, 78-117.
Berucci M. 1958. Ragioni Statiche ed estetiche delle proporzioni degli ambienti coperti a volta. Bollettino del Centro Studi di Storia dell'Architettura, 12.
Campanella G. 1928. *Trattato generale teorico-pratico dell'arte dell'ingegnere civile, industriale ed architetto redatto da distinti professori, ingegneri ed architetti. Ponti in muratura*. Milano: Casa Editrice Dottor Francesco Vaillardi.
Choo B.S., Gong, N.G. 1995. Effect of skew on the strength of the masonry arch bridges. In: *Proceedings of the First International Conference of Arch Bridges*. 205-214. London : Thomas Telford Publishing.
Choisy A. 1873. *L'art de bâtir chez les Romains*. Paris : Ducher.
Galliazzo V. 1994. *I ponti romani*. Treviso: Edizioni Canova.
Gazzola P. 1963. *Ponti romani, contributo ad un indice sistematico con uno studio critico bibliografico*. Firenze: Olschki.
Goodchild R. 1962. Strade e Comunicazioni nella terraferma, con un paragrafo sui ponti, sulle darsene e sui fari. In: *Storia della tecnologia* (a cura di C. Singer, E.J. Holmyard, A.R., Hall, T.I. Williams). Torino: Bollati Boringhieri.
Guérin V. 1880. *Description géographique, historique et archéologique de la Palestine, Samarie I*. Paris: Imprimerie nationale.
Isaac B., Roll I. 1982. *Roman Roads in Judaea I, The Legio-Scythopolis Road*. Oxford: BAR Publishing.
Robinson E. 1856. *Later Biblical Researches in Palestine and in adjacent Regions. Journal of travel in the year 1852*. Boston: Crocker & Brewster.
Rondelet G. 1840. *Trattato delle costruzioni in pietre da taglio e della stereotomia*. Mantova: Fratelli Negretti.
Sarhosis V., Oliveira D.V., Lemos J.V., Lourenco P.B. 2014. The effect of skew angle on the mechanical behaviour of masonry arches. Mechanics Research Communications, 61, 53-59.
Stabilini L. 1950. *Ponti*. Milano: Libreria Editrice Politecnica Cesare Tamburini.
Torre C. 2003. *Ponti in muratura. Dizionario Storico-Tecnologico*. Firenze: Alinea Editrice.
Tristram H.B. 1865. *The Land of Israel*. London: Society for promoting Christian knowledge.

Sitografia

[1] Conder e Kitchener, 1882.
https://www.bibleplaces.com/blog/2009/04/survey-of-western-palestine/

Note

1. Questa soluzione era ricorrente nel caso di uno "sbieco", cioè angolo acuto tra la traccia della generatrice e quella del piano di testa. Questo poteva essere tenue, 5-10 gradi; poteva essere impiegato nel caso di uno sbieco modesto, 10-25 gradi, mentre diventava di più difficile impiego con uno sbieco forte, 25-45 gradi, quando la soluzione quasi obbligata era quella della volta ad archi gemelli, soluzione che evitava efficacemente pericolose spinte nel vuoto (Campanella, 1928: 232-252; Stabilini, 1950:75-76; Albenga, 1966: 391-95; Galliazzo, 1994: 432-33; Choo e Gong, 1995: 205-214; Torre, 2003: 200-202; Sarhosis, 2014).
2. Ponti obliqui utili per un generico confronto sono in Italia: Torre Pastore e Ponte Ritorto a Civitacastellana, quelli di Santa Marinella (Roma) sulla Via Aurelia, il ponte Picchiato ad Orte, il Ponte del Diavolo a Bieda, il Ponte Nascoso a Civitatomassa, il ponte a Pioraco quelli di Gualdo Tadino e di Loano ma soprattutto il ponte di S.Giovanni de' Butris e ponte Fonnaia a Massa Martana. In Spagna: i ponti di Siviglia, a Pebla e a Caceres; Tunisia: Valle della Siliana; Algeria: Khamisah e Gastal a Tebessa; Libia: Wadi Ziuana; Libano: Maameltein, Nahr Abul-El-Assuad; Siria: Bolan-Su a Kiatha. Si tratta di manufatti di epoche diverse che sono testimoni di una capacità di costruire utilizzando tecniche ben collaudate e di ampia adozione ma allo stesso tempo aperte a nuove sperimentazioni per risolvere i problemi che la singolarità dei territori poteva richiedere.
3. Da non confondere con il ponte-acquedotto superstite sull'altro lato della città romana.
4. Il ponte, citato in (Avi-Yonah, 1940), è indicato sulla carta topografica n. 195-210, scala 1:10.000 (1965) a 141,32 m sotto il livello del mare. Le mappe antiche non fanno alcun riferimento a questo ponte, nemmeno dove è indicata la città di Beth Shean.
5. «In the plain W. by N. we noticed a bridge with Roman arch over the Jalûd…» (Robinson, 1856: 329). «Nous franchissons l'Oued Djaloud sur un pont antique d'une seule arche, bâtie en plein cintre avec des magniphiques blocs basaltiques, et recouvert de dalles semblables, de grandes dimensions» (Guérin, 1880). «We crossed by a fine Roman bridge of a simple arch much decayed. Constructed however, of hard black basalt, it has been able to withstand in some degree the ravages of time and the carelessness of Moslems» (Tristram, 1865). Più interessanti sono le annotazioni contenute in (Palestine Exploration Fund, 1881): il ponte «Jisr el-kan [the arab name] […] is a fine arch of basaltic ashlar. It is remarkable as being a skew bridge, but built as though a straight one. The roadway, which has no parapet is skewed, having a base equal to one-third of the roadway: the voussoir joints are perpendicular to this line, but the haunches of the arch are parallel to the side of the stream. The arch is 39 feet span, 14 feet rise in clear, 3 ½ feet thickness of masonry».
6. Solo raramente si trovano archi inclinati, ma spesso questi sono costruiti in filari orizzontali (Goodchild, 1962: 518). Questa peculiarità di apparecchio è stata analizzata anche da A. Choisy per il quale la *voûte biaise* è definita come «une voûte droite coupée obliquement par des plans rayonnants menés suivant l'axe de berceau, et le joints par ces plans perpendiculaires à ce même axe...» *(*Choisy, 1873: 137).
7. La strada romana con buona probabilità non era più in funzione all'epoca della ricostruzione del ponte. Forse era utilizzata come cava di materiale da costruzione per un mulino, della stessa epoca, circa 100 m a valle, sulla riva nord del fiume.
8. Le misure sono variabili ma mediamente 25·25·20÷30 cm.
9. Si tratta di resti di due strade di cui restano tratti del basolato, scoperte in occasione di uno scavo eseguito per l'alloggiamento di una tubazione. I basoli della strada inferiore

misurano 20÷25·15÷20·8÷10 cm su un alloggiamento di malta compatibile con il conglomerato di rinfianco della volta. La pavimentazione superiore presenta basoli di taglia maggiore (40·60÷100·20÷24) ed riferibile a una strada di certa importanza.

10. Il materiale da costruzione più frequente. «Nelle vicinanze di Bisan trovasi qualche pezzo di lava, e le montagne circonvicine hanno l'apparenza di volcani spenti» (Robinson, 1856: 122).
11. Le misure sono variabili ma è possibile raggruppare i conci in una classe dimensionale più ricorrente: 50÷60·60÷100·30÷40 cm. Su alcuni conci sono ancora evidenti tracce di lavoro di spianatura con subbia e forse mazzetta tagliente. In rari casi forse è stata utilizzata una gradina o mazzetta tagliente a denti.
12. Due sono i filari che allo stato attuale è possibile vedere. Il deposito di materiali terrosi sembra possa nascondere una assise.
13. Si deve supporre che per la costruzione della volta siano stati utilizzati elementi di centina appoggiati a terra visto che non esistono tracce di mensole o buche pontaie per il sostegno dei cavalletti.
14. La corrispondenza degli interstizi tra assise sovrapposte è localmente denominata "colpo di scimitarra" a indicare efficacemente un elemento di debolezza strutturale.
15. È quasi sempre la parte centrale della volta che cede per la presenza di muri di contrasto al terreno che non possono rovesciarsi verso l'esterno. M. Berucci afferma che l'altezza di una volta romana è sempre inferiore a quella che consentirebbe l'apertura netta. Suggerisce che il rapporto tra altezza e larghezza di una struttura coperta a volta è il risultato di un "postulato estetico basato sulla proiezione" Berucci (1958).
16. La malta rifluente d'intradosso lascia ipotizzare l'uso di centinature con impalcati non proprio regolari.
17. Databile all'epoca augustea, faceva parte di un vasto programma di costruzione di ponti completato nel 27 a.C. Ha subìto forse un intervento di restauro nel III secolo.
18. «The arch, apart from being built on the skew, is of straightforward construction, with a generally semicircular extrados, though the bottom voussoirs project in some cases beyond the main curve and are bonded into the vertical wall…» (Ballance, 1951).
19. Tutti gli elementi lapidei sono murati a secco ma contrastati alle spalle da una gettata di circa un metro di calcestruzzo. Da segnalare alcuni tratti di apparecchio in *opus revinctum* con piccole calettature.
20. È forse possibile utilizzare la seguente osservazione sulla lavorazione di conci sbiechi: «Si suppone che questi conci sieno stati tagliati per archi di muri retti e che se ne sieno levate col mezzo delle sagome delle faccie, le parti eccedenti onde formare le curvature delle faccie» (Rondelet, 1840: 132) e ancora «ciò che urta o per forma o per disposizione è quasi sempre contrario alla solidità» (ivi: 141).
21. In particolare il crollo dell'angolata acuta sul fronte a valle, oggi rinforzata con una struttura in calcestruzzo armato.

Pierpaolo D'Agostino, Francesco Pugliese, Raffaele Merone

Ipotesi per il terminale flegreo dell'Aqua Augusta Campaniae. Tra indagine multidisciplinare e funzionamento idraulico

Hypotheses for the Phlegrean section of the Aqua Augusta Campaniae. Between multidisciplinary investigation and hydraulic functioning

Sommario

Con l'obiettivo di progettare un sistema di fruizione e di conoscenza digitale volto alla valorizzazione e alla tutela del sistema acquedottistico, in questo lavoro sono presentati i risultati di un'indagine finalizzata all'investigazione del funzionamento degli acquedotti romani e specificatamente delle tracce archeologiche dell'*Aqua Augusta Campaniae*, fornendo ipotesi di ricostruzione derivanti da valutazioni idrauliche, spaziali e di modellazione tridimensionale, in particolare per la *Piscina Mirabilis*, terminale di tale sistema acquedottistico e noto per essere il più grande serbatoio a destinazione d'uso prevalente militare d'epoca romana. La scelta di approfondire tale tematica è stata dettata dalla volontà di partecipare alla lettura multidisciplinare che da sempre caratterizza il sito in oggetto, che dal finire del 2019 è stato oggetto di una manifestazione di interesse istituzionale e culturale, in particolare per le tecniche costruttive utilizzate, la composizione architettonica, la complessità strutturale e il funzionamento idraulico cui l'opera era destinata.

Abstract

In this paper the authors discuss the results from the implementation of a novel operative framework for the digital use and knowledge of archaeological infrastructures. Specifically, evidence is given to the investigation performed to assess the functioning of Roman aqueducts and, in particular, of the traces of the *Aqua Augusta Campaniae*. The authors provide hypotheses on the hydraulic functioning, based on spatial and three-dimensional modelling analyses, with specific reference to the *Piscina Mirabilis*, which is the terminal section of this aqueduct and the largest reservoir for mainly military use in the Roman era. The aim to enhance this topic comes from the willpower to provide a contribution to the multi-disciplinary assessment that is characterizing this site during the last decades, confirmed by the call of institutional and cultural interest on this archaeological site at the end of 2019. Indeed, it has attracted the attention of technicians for the construction techniques employed, the architectural structure, the structural complexity, and the hydraulic functioning which the infrastructure was intended for.

Introduzione

Questo lavoro, inserendosi nell'ambito della complessa storia conoscitiva che da almeno due secoli caratterizza i sistemi acquedottistici di epoca romana, vuole contribuire al rinnovato interesse per il tratto terminale dell'*Aqua Augusta Campaniae*, con particolare riferimento al principale serbatoio romano dell'area flegrea, la *Piscina Mirabilis*, ubicato nella comune di Bacoli, l'antica *Misenum*. Lo studio, partito dalla ricerca geologica e geognostica già in essere, si è avvalso di nuove indagini speleologiche e dell'interpretazione storiografica di recenti riscontri archeologici.

Gli acquedotti romani hanno rappresentato un valore significativamente superiore a ciò che il tempo ha lasciato. Sono certamente stati strutture imponenti, visivamente impattanti in alcuni tratti e sotterranee in altri, risultando sempre grandi protagonisti per l'espansione dell'Impero Romano. La loro gestione e manutenzione rappresentavano due aspetti fondamentali, soprattutto perché le grandi opere realizzate dagli imperatori, quindi anche le infrastrutture idrauliche, celavano un messaggio politico e sociale. La costruzione di un acquedotto necessitava di ingenti risorse, comportando una progettazione accurata e richiedendo una manodopera specializzata per l'esecuzione dei lavori. La durabilità nel tempo di tali opere ha consentito lo sviluppo di molteplici ricerche che, partendo da un esame oggettivo delle strutture e dei reperti, hanno adoperato le fonti antiche solo ed esclusivamente a completamento del dato archeologico. Tuttavia, l'utilizzo delle fonti disponibili necessita, in ogni caso, di opportune indagini e validazioni, non potendo essere intese come univoche, quanto piuttosto suscettibili di non corrette interpretazioni.

Il costante perfezionamento della tecnica degli acquedotti ha portato a costellare, a partire dal VI secolo a.C., il territorio dell'impero di tratti di condotte a pelo libero, realizzabili solo in presenza di adeguate pendenze, così da contrastare la resistenza allo scorrimento, vincere le perdite di carico e rendere possibile il fluire dell'acqua a una velocità conforme con la funzionalità dell'intera struttura. Uno degli esempi preclari di queste opere è l'*Aqua Augusta Campaniae*, la cui realizzazione fu voluta da Augusto, che governò dal 27 a.C. - 14 d.C., anche se in passato è stata spesso erroneamente attribuita a Claudio, imperatore dal 41 al 54 d.C.

Il progressivo crescere delle colonie nell'*Ager Campanus*, dall'epoca di Augusto fino all'insediamento della flotta romana nel bacino di *Misenum*, rappresentò un aspetto fruttuoso per un massiccio sviluppo urbanistico dell'area flegrea. La militarizzazione dell'approdo naturale di *Misenum* e la profonda trasformazione urbanistica e residenziale dell'area flegrea iniziata già nel periodo antecedente le guerre civili, tra il 49 e il 45 a.C., posero in evidenza la necessità di dotare il territorio di un adeguato sistema di approvvigionamento e fornitura idrica, in grado di attingere l'acqua dalle falde del Serino, innervando il territorio campano con il monumentale acquedotto Aqua Augusta Campaniae. Con riferimento al tracciato dell'acquedotto, vi sono in letteratura numerose descrizioni; in particolare, Abate (1842) suddivise

il tracciato in ventisette parti, pur non contemplando e approfondendo il tratto che interessa i Campi Flegrei: «Il Rimanente tratto fino alla Piscina Mirabile in Baia, nonché i rami diversivi che partivano dal condotto principale non si sono disegnati, comecché non ancora sono stati perlustrati» (Miccio e Potenza, 1994).

Ulteriore descrizione è quella di Sgobbo (1938) che commenta e trascrive l'iscrizione rinvenuta presso la *Fontis Augustei Aquaeductus,* in località di Serino, la quale riporta le città servite dall'acquedotto secondo uno schema non geograficamente sequenziale. Nell'iscrizione infatti, sono riportate, nell'ordine, le città di Puteoli, Neapolis, Nola, Atella, Acerra, Baia e Miseno.

Tradizionalmente, l'ingresso dell'acquedotto augusteo nella città di Napoli è collocato in corrispondenza di quelli che oggi sono chiamati Ponti Rossi e che rappresentano un tratto dell'acquedotto destinato ad alimentare la Neapolis romana attraverso un sistema di condutture in piombo e cunicoli ipogei collegati a cisterne di piccole e medie dimensioni (Varriale, 2010). Il condotto principale dell'acquedotto diretto verso i Campi Flegrei ripiegava a ovest in direzione della *Crypta Neapolitana*, monumentale galleria che, traforando il costone di Posillipo, permetteva una diretta connessione stradale fra Pozzuoli e Napoli, evitando la meno funzionale Via per Colles. Dalla *Crypta Neapolitana*, il tracciato dell'acquedotto analizzato nel presente lavoro, era costituito da una serie di tratti, caratterizzati da spechi a geometria e dimensione variabile, variamente costituiti da stratificazioni e caratterizzazioni archeometriche, in funzione della tipologia e della profondità del suolo attraversato, dell'epoca di costruzione e degli interventi subiti nel corso dei decenni.

Di fatto, il tracciato tra la galleria e la *Piscina Mirabilis* si sussegue attraverso una serie di tratti che, tra spechi in galleria o parzialmente superficiali, dalla Crypta giunge all'odierna via Terracina e conduce all'area puteolana, in un territorio che oggi risulta caratterizzato da episodici reperti archeologici che, tra rinvenimenti fortuiti o recenti, lasciano ancora irrisolta la questione su come essi appartenessero all'acquedotto e di come quest'ultimo puntualmente si innervasse in quella parte di territorio. In Figura 1 è riportato il tracciato ricostruito da Ferrari e Lamagna.

Indagine digitale e ipotesi per il tracciato terminale dell'acquedotto augusteo

Per approfondire le conoscenze sul funzionamento idraulico dell'acquedotto augusteo, sono state effettuate alcune indagini di speleologia archeologica, in particolare in località Fondi di Baia e nel comune di Bacoli, in via Risorgimento. In quest'area, infatti, si concentra una serie di inediti ritrovamenti e tracce che, seppur limitate, sono risultate utili allo sviluppo delle proposte ipotesi sull'andamento plano-altimetrico dell'acquedotto e analizzate attraverso l'analisi digitale dei dati.

Tra tali ritrovamenti, seguendo l'indicazione bibliografica di de Jorio (1817) «La Chiesa di Sant'Anna, che dopo due passi s'incontra, è innalzata sopra ben grandi antiche piscine, e poggia ancora su parte del condotto della Piscina Mirabile», si annovera

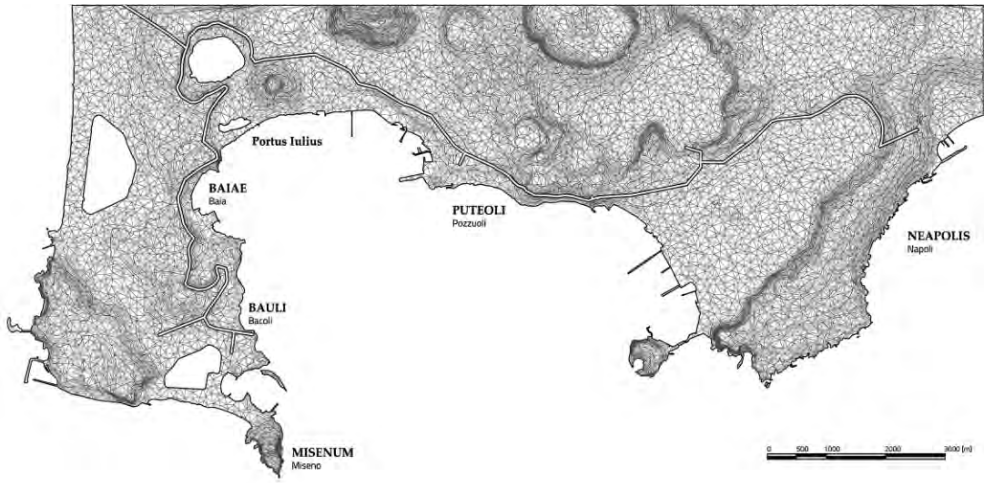


Fig. 1 - Aqua Augusta Campaniae: tracciato planimetrico (Ferrari e Lamagna, 2018).

l'individuazione di un'antica cisterna, in Figura 2, compatibile con l'indicazione storiografica ma la cui reale consistenza archeometrica e formale richiede ulteriori indagini conoscitive. Tutte queste tracce, insieme alle altre grandi infrastrutture idrauliche presenti nel territorio bacolese che consistono nelle Cento Camerelle e nella grotta della Dragonara, costituiscono con la *Piscina Mirabilis* il quadro utile per la comprensione del funzionamento complessivo del tratto terminale dell'*Aqua Augusta Campaniae*.

Quest'ultimo manifesta ancora oggi incertezze nella comprensione degli andamenti dei tronchi e dei flussi idrici in relazione alla geomorfologia dei luoghi, caratterizzati sia da un significativo processo di urbanizzazione, talvolta incontrollato, che ha variamente compromesso lo stato dei luoghi, sia da una storia bradisismica, che altera ciclicamente la morfologia dell'ambiente naturale. Relativamente a tale secondo aspetto, è da rimarcare, tuttavia, che ai fini dell'analisi, tale evento può considerarsi trascurabile dal momento che il bradisismo ha coinvolto complessivamente e, non in maniera differenziale, l'intera area della penisola di *Baiae Misenum*.

Partendo da tali presupposti, una modellazione parametrica digitale dei territori in indagine rivela l'attuale presenza di una forte depressione geodetica che collegherebbe le tracce archeologiche. Questa depressione è testimoniata anche da un'analisi delle quote di riferimento basata su un'indagine dell'elevazione territoriale, DEM-Digital Elevation Model, dei Campi Flegrei, interrogando il modello digitale generato per mesh poligonale, ottenuto da curve di livello e punti quotati che caratterizzano la cartografia aerofotogrammetrica in scala 1:5000, in Figura 3.

Dall'analisi effettuata, si può constatare dunque come l'*Aqua Augusta Campaniae* attraverserebbe prevalentemente il territorio dei Campi Flegrei, che in corrisponden-

Fig. 2 – Bacoli: doppio Speco in località Poggio, centro di Bacoli (a sinistra); chiesa di Sant'Anna, cisterna (a destra) (foto di R. Merone).

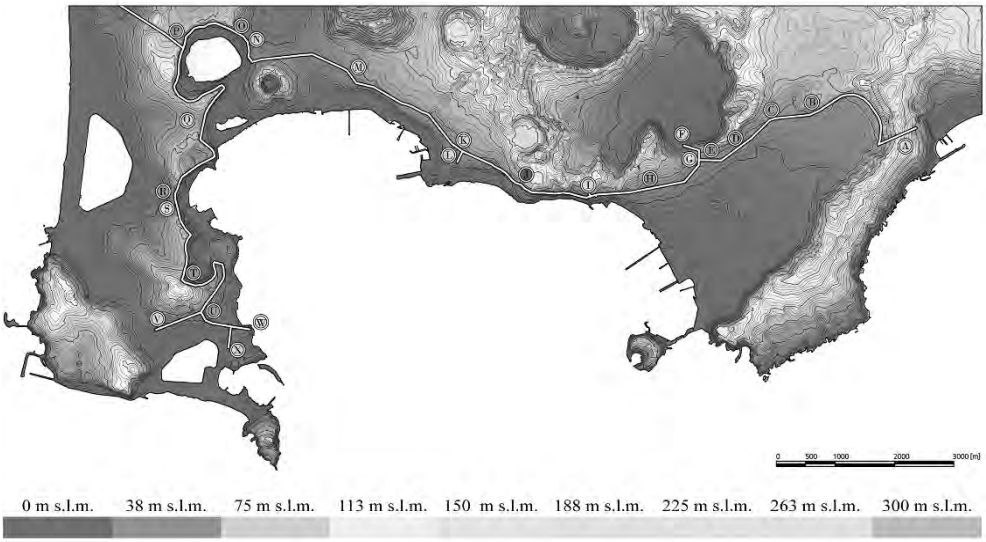


Fig. 3 – Mappa in falsi colori del DEM generato nel processo di modellazione digitale.

za del tracciato varia tra una quota massima di 150 m s.l.m. e una quota minima in corrispondenza del tratto terminale passante per la penisola di Baiae - Misenum, dove l'andamento del territorio varia tra il livello del mare e 38 m s.l.m. Gli spechi, e quindi il tracciato oggetto delle recenti ricerche speleologiche, si trovano a quote diverse ma coerenti tra loro, variando tra i 40 m s.l.m. alla Crypta Neapolitana fino a giungere ai

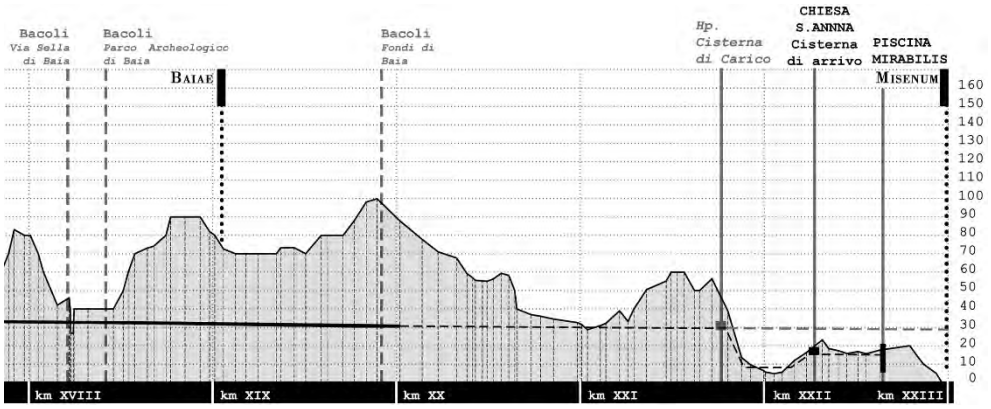


Fig. 4 – Ipotesi ricostruttiva del tracciato altimetrico per la penisola Baiae Misenum.

circa 35 m s.l.m. in corrispondenza del Parco Archeologico delle Terme di Baia (Ferrari e Lamagna, 2016; Romanello e Galgano, 2018). Ciò ha indotto a fornire un'ipotesi del tracciato altimetrico dell'acquedotto augusteo, secondo la quale, considerato che il tratto di acquedotto analizzato, dalla *Crypta Neapolitana* a Bacoli, è lungo circa 23 km, la pendenza media è compresa tra 0,4‰ e 0,5‰, compatibile con le pendenze medie degli acquedotti romani, tali da garantire il deflusso della risorsa idrica secondo i principi fisici e sanitari utili alla corretta erogazione del servizio.

Proseguendo con l'analisi delle quote delle singole tracce costituenti il tracciato dell'acquedotto e che dal Parco Archeologico di Baia giungono alla Mirabile, si nota che un'ulteriore traccia rinvenuta in località Fondi di Baia (Ferrari e Lamagna, 2016) si troverebbe a una quota di circa 30 m s.l.m. L'accesso alla cisterna sottostante la Chiesa di Sant'Anna, da cartografia aerofotogrammetrica, si trova a una quota di 23÷26 m s.l.m., mentre la quota di accesso alla *Piscina Mirabilis* è a circa 17 m s.l.m. Pertanto, da tale andamento altimetrico è possibile osservare come, proseguendo con la medesima pendenza media, l'acquedotto, dai Fondi di Baia, non potrebbe raggiungere la zona del centro antico di Bacoli, in Figura 4, interessata dalla presenza della Chiesa di Sant'Anna, della *Piscina Mirabilis* e di Cento Camerelle, che è infatti interessata dalla depressione geodetica precedentemente evidenziata.

Sarebbe inoltre da escludere un tratto su arcate che potesse superare le differenze, mentre potrebbe essere plausibile il ricorso a un sifone rovescio, diffusamente utilizzato dai romani in condizioni geodetiche similari. Poiché tale soluzione tecnologica prevedeva la presenza di due vasche, una a monte e un'altra a valle del sifone, per consentire la definizione del carico energetico iniziale e finale del fluido trasportato, si potrebbe ritenere che, per garantirne il funzionamento, le cisterne al di sotto della Chiesa di Sant'Anna avrebbero potuto assolvere alla funzione di vasca di arrivo e di diramazione dell'acquedotto verso Cento Camerelle e *Piscina Mirabilis*. Ipotesi,

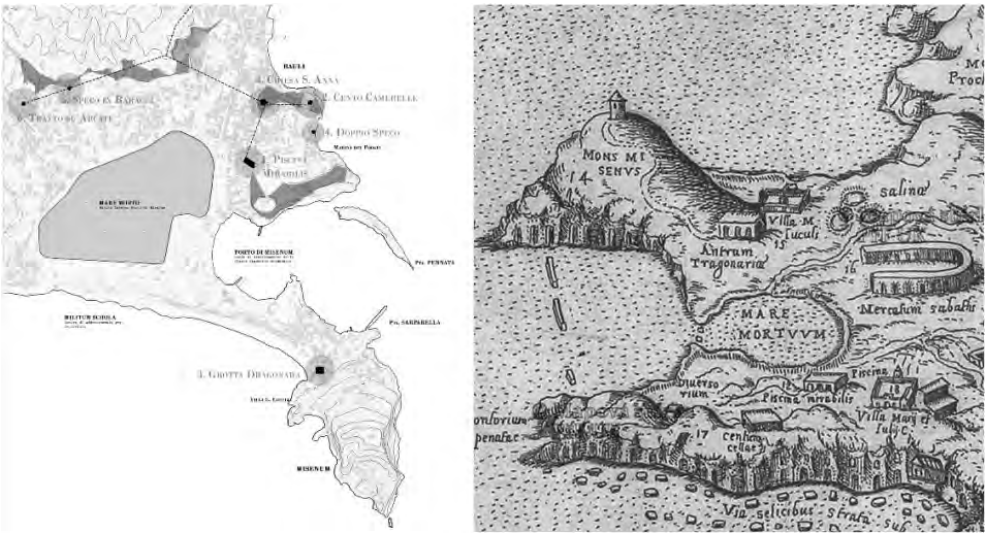


Fig. 5 – Baia e Bacoli: stralcio cartografico di sintesi (a sinistra), stralcio della carta dell'agro puteolano (a destra) (Brambilla,1586).

quest'ultima, che sarebbe ulteriormente corroborata dall'eventuale ritrovamento di una vasca di carico a monte del sifone rovescio.

Dalla lettura del tracciato emerge che la fascia di interesse per il posizionamento delle due vasche risulta essere quella compresa nell'intervallo geodetico tra 20 e 30 m, per una lunghezza di circa 530 m.

L'analisi dell'elevazione sulla mesh dei Campi Flegrei sembra avvalorare tale aspetto che, peraltro, collima con il collocamento dell'eventuale vasca di carico, coerentemente con le tracce individuate dai recenti studi archeologici (Illiano, 2019). Tali ipotesi propongono, dunque, come soluzione per il funzionamento dell'*Aqua Augusta Campaniae*, l'utilizzo del sifone rovescio, seppur esso sia un'opera molto ardita e di particolare complessità tecnica. L'ipotesi ricostruttiva del tracciato altimetrico è riportata in Figura 4. Se da un lato, per validare tale ipotesi si potrebbe attivare una campagna di rilievi topografici più approfondita e a scala di dettaglio maggiore, dall'altro vale la pena considerare anche l'ipotesi avanzata da Illiano (2019).

Secondo lo studioso, il Mercato di Sabato, grandioso circo con struttura impostata su arcate di cui non vi è traccia residua, ma che risulta nelle evidenze storiche e negli appunti di viaggio nei territori del misenate dei viaggiatori delle epoche precedenti alla prima metà del XIX secolo (Palatino, 1826), sarebbe potuto essere in realtà una struttura a funzione idraulica. Se tale ipotesi fosse valida, l'acquedotto avrebbe avuto una doppia diramazione, localizzata nell'attuale zona di Via Risorgimento, in Figura 5. Una parte del tracciato avrebbe continuato verso la *Piscina Mirabilis*, attraverso la Chiesa

di Sant'Anna, utilizzando la tecnica del sifone rovescio, l'altra avrebbe proseguito verso la *Militum Schola*, prima attraversando la collina di Bellavista e poi continuando su arcate. Un'altra ipotesi prevede, invece, la completa esclusione della soluzione tecnologica del sifone rovescio, restando viva la soluzione di esclusiva esistenza del tratto su arcate di un acquedotto verso la zona di Cappella, dove sono state rinvenute tracce, seppure di piccola entità, di un acquedotto su arcate che, attraversando la *Militum Schola* di epoca romana, avrebbe potuto infine raggiungere la *Piscina Mirabilis.*

La Piscina Mirabilis: approfondimenti tra manufatto e ipotesi di funzionamento

Serbatoio terminale dell'*Aqua Augusta Campaniae*, e databile in età contemporanea allo stesso acquedotto, tra il 33 e il 12 a.C. (De Feo et al., 2013), il sito è stato meta di artisti e studiosi nel corso dei secoli: nel XIV secolo Boccaccio lo definì "Piscina Mirabile" nel Filocolo e nel corso del XVIII fu considerato meta fissa del *Grand Tour*. Soltanto nel 1890 fu riscoperto scientificamente da Karl Julius Beloch, che lo individuò nei suoi studi sulla Campania (Beloch, 1890) e nel 1934 Maiuri gli dedicò un capitolo del suo testo sui Campi Flegrei (Maiuri, 1934). Nel 1979 fu poi oggetto dell'indagine dei siti archeologici presenti nella penisola di *Baiae Misenum* (Borriello e D'Ambrosio, 1979), per poi essere successivamente incluso negli studi di Döring (2012). Al 2016 risale l'ultimo contributo strutturato sulla *Piscina Mirabilis* (Caputo e Costagliola, 2016), in cui vengono analizzati i risultati della campagna archeologica del 1990 in prossimità del manufatto, che ha portato alla luce il condotto di adduzione al serbatoio romano.

In realtà, la magnifica struttura del serbatoio romano è stata più volte oggetto di analisi, da cui emerge, da un lato, l'assenza di una valutazione univoca sia del funzionamento che della destinazione delle singole parti e dei singoli elementi costruttivi, e, dall'altro, importanti incoerenze dal punto di vista dimensionale. Un esempio riguarda le dimensioni: lunghezza 70 m, larghezza 25,5 m e altezza 15 m (Maiuri, 1934; Borriello e D'Ambrosio, 1979), oppure lunghezza 72 m, larghezza 27 m e altezza variabile tra 10,4 m e 11,4 m (De Feo et al., 2013), o ancora lunghezza 66 m, x 25,37 m, e altezza variabile tra 10,33 m e 12,88 m (Caputo e Costagliola, 2016).

Da tali discordanze dimensionali emergono due criticità: l'assenza di un rilievo aggiornato del serbatoio effettuato con l'utilizzo di tecnologia laser e/o fotogrammetrica, che possa quindi definirne con precisione le dimensioni e una stima della capacità del serbatoio, fortemente variabile: 12.600 m^3 per Maiuri e De Feo et al. 10.700 m^3 per Caputo e Costagliola e Döring.

In questo lavoro si è fatto riferimento al rilievo più aggiornato (De Feo, 2013), rielaborato in Figura 6. La *Piscina Mirabilis* è orientata secondo gli assi nord-ovest/sud-est; si articola in 5 navate longitudinali e 13 navate trasversali per un totale di 48 colonne cruciformi e copertura con volte a botte sorrette da archi. L'accesso, presumibilmente progettato per la regolazione del livello idrico e per la pulizia del fondo, avveniva attraverso due scale sorrette da tre archi: una posta nell'angolo a sud-est,

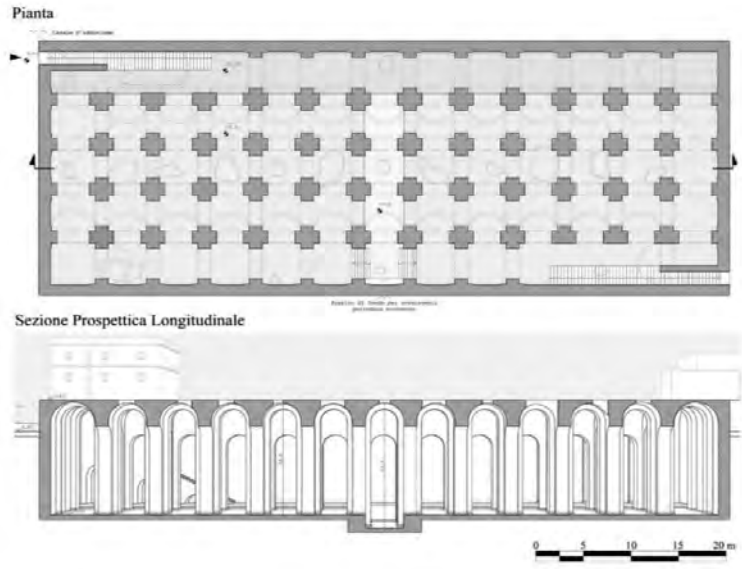


Fig. 6 – Modello della Piscina Mirabilis: impianto planimetrico e sezione prospettica.

attualmente ostruita, e l'altra posta nell'angolo a nord-ovest, dove ancora oggi avviene l'accesso alla *Piscina*.

La pavimentazione generale è articolata su tre livelli di quote; la parte della pavimentazione in corrispondenza della navata è posta alla quota più alta e in lieve pendenza, connessa al resto della pavimentazione con gradini tra le colonne. La parte della pavimentazione in corrispondenza della navata trasversale centrale è posizionata a una quota più profonda di 1,10 m rispetto alla pavimentazione generale del serbatoio; ampia 20 m · 5 m, costituisce la *piscina limaria*, anch'essa con piano pendente verso la parete di 0,5%, raggiungibile attraverso due rampe di 6 gradini.

Per quanto concerne le tecniche costruttive utilizzate, le pareti laterali sono realizzate in *opus reticolatum* con ammorsature in tufelli con il ricorso di sei filari in laterizi a 3,40 m dal piano di calpestio. La parete al di sopra della *piscina limaria*, sul fronte sud, presenta un paramento in opera laterizia visibile fino a 3,10 m e, alla base, un inspessimento di opera cementizia rivestita in cocciopesto o *opus signinum*; quest'ultimo ricopre tutte le strutture verticali e la pavimentazione. La base dei pilastri e delle pareti è dotata di un raccordo, il caratteristico pulvino, realizzato per smussare gli angoli, al fine di favorire la pulizia del fondo e prevenire le infiltrazioni al di sotto della struttura. La navata centrale presenta sulla copertura l'apertura di pozzetti, la cui funzione è ascrivibile alla movimentazione per sollevamento dall'interno all'esterno, ovvero sulla terrazza di copertura, della risorsa idrica stoccata nella *Piscina*.

All'esterno, addossati alla parete nord-est, vi sono dodici piccoli ambienti di altezza media pari a 4,39 m, il cui piano di calpestio è posto a quota - 1,80 m rispetto all'imposta di volta della cisterna.

L'effettivo funzionamento del più grande serbatoio romano a destinazione d'uso prevalentemente militare è ancora incognito. Il contributo più chiaro è certamente quello fornito da Caputo e Costagliola (2016), che modifica l'ipotesi convenzionalmente accettata di Maiuri (1934), secondo cui il canale d'adduzione si trovava in corrispondenza della scala d'accesso nell'angolo posto a nord-ovest. La nuova ipotesi, a seguito di operazioni di scavo e di analisi termografiche, induce a considerare lo sbocco dalla parete del sottarco della prima arcata di sostegno della scala nord-ovest, in corrispondenza di un'apertura non più visibile.

Ancora incerte appaiono, invero, le modalità di captazione e di distribuzione idrica dall'interno del serbatoio verso il centro abitato e verso il *Portus Miseni*. Se Caputo e Costagliola sostengono che l'acqua, a partire dalla *piscina limaria*, quindi da una quota di circa 8 m s.l.m. «doveva raggiungere la costa, forse mediante un condotto principale ricavato nello spessore di parete e, in prosecuzione, nel banco di tufo, connesso all'aperto ad altri in muratura o a condotti fittili» (Caputo e Costagliola, 2016), quindi a partire dalla quota più bassa, considerazioni di natura tecnico-ingegneristica potrebbero indurre a mantenere viva l'ipotesi di Maiuri circa l'utilizzo di macchine idrauliche. Infatti, un prelievo dell'acqua dal basso avrebbe comportato un defluire con presumibile eccessiva concentrazione di fanghi e sostanze solide sospese, bypassando la funzionalità della *piscina limaria* atta alla decantazione e, quindi alla purificazione, dell'acqua. Al contrario, un prelievo dalla parte alta del serbatoio avrebbe consentito di disporre di acqua priva di impurità e pulita. Sembra quindi più corretta l'ipotesi di Maiuri in merito al ruolo della *piscina limaria* e della luce di fondo che la caratterizza, ovvero di periodico svuotamento della *Piscina* per consentirne la pulizia. Degna di nota è un'ulteriore descrizione della *Piscina Mirabilis* fornita dal Marchese de Sade, che visitò i Campi Flegrei nel XVIII secolo e che in merito al serbatoio afferma: «tutto intorno c'è una galleria più alta, che serviva sicuramente per recarsi ad attingere acqua» (de Sade, 1996), questa potrebbe intendersi quale canale di raccolta delle acque, captate a mezzo di macchine idrauliche e poi successivamente incanalate verso il porto.

Motivazioni ancora di carattere tecnico, peraltro, inducono a ritenere plausibile il ricorso a una macchina idraulica di provenienza mediorientale, specificatamente la *Saqiya* (Losano, 2013), macchina idraulica costituita da ruote tra loro interconnesse e azionate dall'azione umana o da animali, che venivano collegate a una catena di anfore consentendone il movimento ciclico della macchina. È possibile giungere a tale conclusione considerando come le macchine idrauliche presenti nelle descrizioni di Vitruvio non avrebbero potuto efficacemente funzionare nelle condizioni operative della *Piscina Mirabilis,* essendo progettate per una captazione di tipo lineare, non

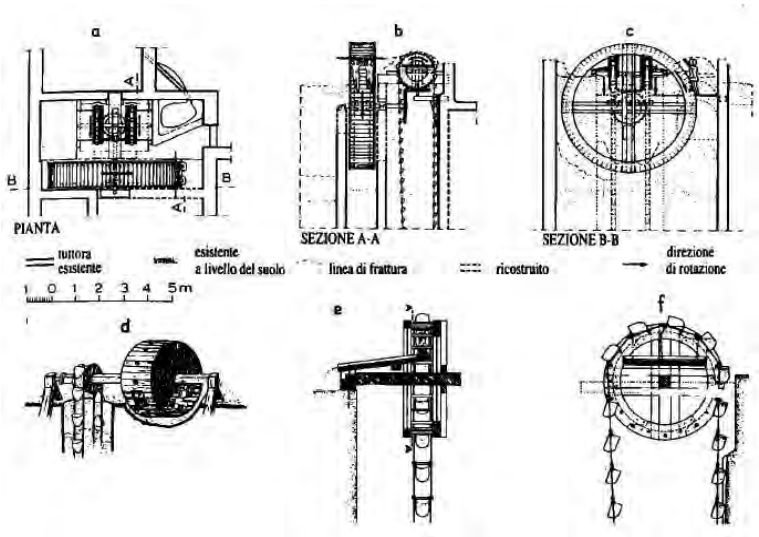


Fig. 7 – Pompei, Terme Stabiane: dispositivo per attingere acqua da un pozzo, ricostruzione di H. Eschebach (Tolle Kastebein, 1993: 41)

puntuale, e in presenza di una sostanziale costanza del pelo libero (Tölle Kastenbein, 1993). Quest'ultima caratteristica è più confacente a sistemi di canali piuttosto che a serbatoi, essendo questi soggetti a una significativa variazione del quantitativo di volume stoccato al proprio interno. Inefficace sembra anche il riscorso alla coclea archimedea a immersione, certo funzionale per il sollevamento d'acqua ma non per le condizioni caratterizzanti la *Piscina Mirabilis* in quanto «deve avere una determinata inclinazione che verrà calcolata in base al Teorema di Pitagora sulla figura del triangolo rettangolo» (Vitruvio, 1992). Gli aspetti dimensionali del manufatto avrebbero reso dunque complessa l'immersione della coclea in pozzetti analoghi a quelli che caratterizzano la copertura della Mirabile ma, soprattutto, la vite di Archimede, come le ruote idrauliche, avrebbe consentito un efficace funzionamento solo in presenza di una pressoché costanza del livello idrico.

Invero, dispositivo analogo alla *Saqiya* (D'Agostino et al. 2021) venne rinvenuto anche nell'area geografica di riferimento, infatti, Renate Tolle Kasteinbein, trattando della captazione da pozzo alle Terme Stabiane di Pompei, peraltro servite dal medesimo acquedotto descrive e riporta la ricostruzione grafica di H. Eschebach del dispositivo rinvenuto nel complesso termale, mostrato in Figura 7: «la catena del secchio veniva mossa con un tamburo a pedale e più tardi con una ruota a pedale, che permetteva di attingere da 30 a 60 litri al minuto […] a Pompei, quindi, per far funzionare gli impianti di sollevamento dell'acqua veniva utilizzata "forza lavoro umana"» (Tolle Kastebein, 1993). Tale descrizione è analoga a quella della *Saqiya*

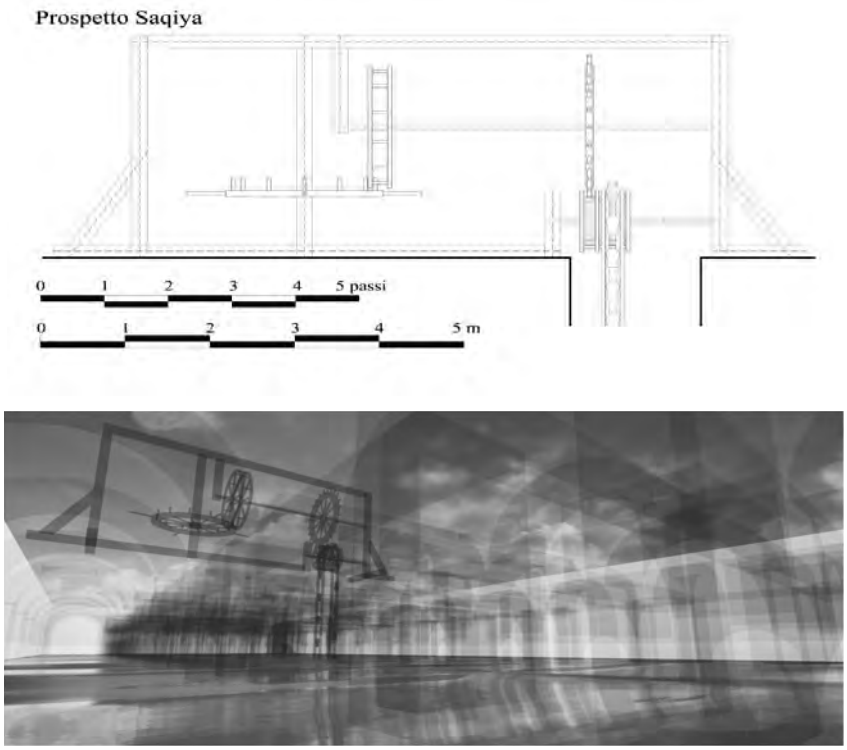


Fig. 8 – La Saqiya: progetto grafico di ricostruzione (in alto); ipotesi di funzionamento in ambiente immersivo nella Piscina Mirabilis (in basso).

che si presterebbe bene alle caratteristiche funzionali e tecnologiche di *Piscina Mirabilis* in quanto, come mostrato in Figura 8, funzionerebbe in una condizione sia di captazione puntuale che di variazione del pelo libero interno al serbatoio.

Ad avvalorare tale ipotesi vi sono anche le considerazioni emerse dalle ricerche storiografiche. *Piscina Mirabilis* sarebbe stata costruita, infatti, dopo la Battaglia di Azio, che pose fine alla guerra civile tra Ottaviano e Marco Antonio, alleato di Cleopatra. Marco Vipsanio Agrippa, che aveva comandato la flotta durante la battaglia, fu da Ottaviano nominato *curator aquarum* e inviato proprio a *Misenum* insieme alla *Classis Praetoria Misenensis*. Si potrebbe, quindi, pensare all'utilizzo di conoscenze tecniche egiziane nella penisola di *Baiae Misenum*. D'altra parte, la cultura egiziana era ben nota e nel contesto dei Campi Flegrei, come testimoniano la presenza del Tempio di Iside a Cuma e le molteplici epigrafi alessandrine rinvenute nel territorio flegreo, tra cui una proprio presso la *Piscina Mirabilis* durante uno sterro eseguito nel 1926 e trascritta come segue: «D(is) M(anibus) / L(ucius) Serenus nan (sic)/ Alexandrin(a) bixit /ann(is) […]» (Borriello e D'Ambrosio, 1979).

Conclusioni

L'indagine qui proposta è funzionale a dimostrare come il caso dell'*Aqua Augusta Campaniae* e del suo tratto terminale è ben lungi dall'aver esaurito nuove determinazioni in termini di portato conoscitivo. L'opportunità di affiancare l'utilizzo di applicazioni e framework digitali alle metodologie tradizionali di approfondimento storico ha manifestato, per il caso in discussione, un connubio significativamente valido in termini di innovazione dell'utilizzo di strumenti digitali finalizzati all'individuazione di inediti riscontri e di definizione di approcci multidisciplinari utili ad avvalorare e validare tesi e intuizioni derivanti da criteri operativi consolidati. In tal senso, il ricorso alla modellazione solida su vasta scala ha manifestato da un lato un'efficace lettura territoriale delle particolarità conformative dell'area di interesse, fornendo ulteriori dati allo sviluppo di nuove teorie che mirano a sintetizzare l'evidenza storiografica e le risultanze in situ. Dall'altro lato, la computergrafica e la modellazione digitale vanno intese come strumento di validazione di valutazioni ingegneristiche, intervenendo nella simulazione di soluzioni tecniche mirate a considerare la plausibilità del funzionamento degli strumenti idraulici e di ricerca storiografica.

L'auspicio è che, in tale direzione, l'indagine in oggetto possa rappresentare un caso studio emblematico di come simili approcci operativi possano convergere verso una sintesi informativa, declinabile tanto per fruitori tecnici quanto per un'utenza più ampia, interessata anche solo agli aspetti ludico-ricettivi derivanti dall'interazione con manufatti e monumenti di siffatta entità, per una valorizzazione dei loro aspetti sia materiali che immateriali.

Ringraziamenti

Il presente lavoro nasce da attività di tirocinio svolte presso il REMLab (Laboratorio di Rilievo e Modellazione) del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Napoli Federico II, rivolto specificamente all'analisi dei più recenti studi e rilievi effettuati negli anni 2010-2016 sulle tipologie di spechi caratterizzanti il tracciato dell'acquedotto nell'area flegrea. Per gli esiti, appare doveroso segnalare la collaborativa disponibilità dall'associazione di speleologi Cocceius, ringraziando nello specifico il dott. Graziano Ferrari e la dott.ssa Raffaella Lamagna.

Bibliografia

Beloch J. 1890. *Campanien: Geschichte und Topographie des antiken Neapel und seiner Umgebung*. Breslau: Morgenstern.

Borriello M.R., D'Ambrosio A. 1979. *Baiae Misenum, Formae Italiae, Regio I, XIV*. Firenze: Olschki.

Caputo P., Costagliola F. 2016. Il "ritrovamento" del punto di alimentazione idrico di Piscina Mirabilis: riflessioni su approvvigionamenti idrici del porto e della città di Misenum. Piscina Mirabilis: storia, scoperte studi. In: *Ricerche di storia, epigrafia e archeologia mediterranea 5, Maria Lacus et Fulmina, Studi di storia Archeologia e antropologia "in*

acqua" dedicati a Claudio Mocchegiani Carpano (a cura di M. Marazzi, G. Pecoraro, S. Tusa). 66-93. Roma: Bagatto Libri.

De Feo G., De Gisi S., Malvano C. 2013. The Greatest Water Reservoirs in the Ancient Roman World and the "Piscina Mirabilis". Misenum, Water Science & Tecnhnology Water Supply, 350-358.

D'Agostino P., Merone R., Pugliese F. 2021. Material modelling for immaterial fruition. The virtual and augmented reality of the Aqua Augusta Campaniae and the Piscina Mirabilis. Disegnarecon, 14(27), 18.1-18.11.

De Jorio A. 1817. *Guida di Pozzuoli e Contorno*. Napoli: De Bonis.

Döring M. 2012. *In der wundersamsten Gegend der Welt. Die Phlegraeischen Felder am Golf von Neapel*. Adenstedt: Parmenios.

Ferrari G., Lamagna R. 2016. Aqua Augusta della Campania: lo speco di Macrinus. In: *Puteoli. Studi di Storia ed Archeologia dei Campi Flegrei* (a cura di G. Camodeca e M. Giglio). 273-296. Napoli: Il Torcoliere. Officine Grafico-Editoriali d'Ateneo Università degli Studi Di Napoli "L'Orientale".

Ferrari G., Lamagna R., Rognoni E. 2018. Aqua Augusta, nuove evidenze dai Campi Flegrei. In: *Evidenze archeologiche e profili giuridici della rete idrica in Campania. Atti delle giornate di Studio, Augustissima Arciconfraternita ed Ospedali della SS. Trinità dei Pellegrini e Convalescenti, Ravenna Capitale d'Occidente* (a cura di P. Romanello e F. Galgano), Napoli, 17-18 maggio 2018. 37-94.

Illiano G. 2019. *Città e territorio nella penisola di Misenum*. Phd Thesis. Amsterdam: Vrije Universiteit.

Losano M. G. 2013. *Automi d'Oriente, Ingegnosi meccanismi arabi del XIII secolo*. Milano: Edizioni Medusa.

Miccio B., Potenza U. 1994. *Gli acquedotti di Napoli*. Napoli: A.M.A.N.

Palatino L. 1826. *Storia di Pozzuoli, e contorni con breve trattato istorico di Ercolano, Pompei, Stabia, e Pesto di Lorenzo Palatino*. Napoli: Tipografia di Luigi Nobile.

Maiuri A. 1934. *I Campi Flegrei*. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato

Sade (Marquis de) D.A.F., Maurice L. 1996. *Viaggio in Italia. Dissertazioni critiche, storiche e filosofiche sulle città di Firenze, Roma, Napoli e Loreto, e sulle strade adiacenti a queste quattro città*. Torino: Bollati Boringhieri.

Pollione M.V. 1992. *De Architectura*. Roma: Edizioni Studio Tesi.

Sgobbo I. 1938. L'acquedotto romano della Campania: Fontis Augustei Aquaeductus. Notizie degli Scavi di Antichità, 75-97.

Tölle Kastenbein R. 1993. *Archeologia dell'acqua, la cultura idraulica nel mondo classico*. Milano: Longanesi.

Varriale R. 2010. Esplorazione e rilievo di una galleria romana nel sottosuolo di Bacoli (Campania), Opera Ipogea. In Journal of speleology in Artificial Cavities, Atti VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità artificiali Urbino, 4-8 dicembre 2010 Ex Collegio Raffaello-Piazza della Repubblica.

Sitografia

https://www.oldmapsonline.org/map/cuni/838581, Carta dell'Agro Puteolano, 1586, Copia di Ambrogio Brambilla.

Maria Amodio, Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo

Nuovi dati per lo studio dell'area tra le catacombe di S. Gaudioso e S. Severo alla Sanità a Napoli

New data for the study of the area between the catacombs of S. Gaudioso and S. Severo in the Sanità district in Naples

Sommario
Nell'area extraurbana a nord di *Neapolis*, oggi corrispondente al quartiere Sanità, sono state individuate di recente nuove evidenze archeologiche nel tratto posto tra le catacombe di S. Gaudioso e di S. Severo. Le strutture, scavate nel tufo e affrescate, forniscono interessanti dati sulla topografia della zona, ancora poco chiara e oggetto in passato di ricostruzioni contrastanti. Partendo dall'analisi degli ambienti e degli affreschi, qui presentati per la prima volta, si è proceduto allo studio dell'area inserendola nel contesto dei monumenti archeologici già noti e integrando le notizie delle fonti letterarie antiche e moderne con i dati d'archivio relativi a rinvenimenti effettuati in passato nelle vicinanze.

Abstract
In the suburban area to the north of *Neapolis*, today corresponding to the *Sanità* district, new archaeological evidence has recently been identified in the stretch between the catacombs of *S. Gaudioso* and *S. Severo*. The structures, frescoed and carved out of tuff, provide interesting data about the topography of the area, which is still unclear and has become the subject of contrasting reconstructions in the past. After the analysis of the rooms and frescoes, presented here for the first time, the whole area has been studied in the context of the already known archaeological monuments. The information provided by ancient and modern literary sources has been integrated with archival data related to the findings carried out in this area in the past.

Introduzione
L'area a nord di *Neapolis* è un comprensorio estremamente denso di evidenze archeologiche. Per comprenderne la distribuzione e la funzionalità, è di fondamentale importanza – utilizzando i dati ad oggi disponibili – tentare una ricostruzione geo-

morfologica dei luoghi. Il territorio in esame si estende in senso sud-nord dall'antica murazione fino al crinale delle colline e in senso est-ovest dalle Fontanelle alla collina di Miradois.

La corona di rilievi tufacei delimitava un bacino idrografico che raccoglieva le acque dilavanti convogliandole a valle verso l'antica *Neapolis*. Nei fianchi delle colline, a partire dal IV sec. a.C., fu intagliata la necropoli ellenistica, un interessante sito costituito da monumenti contigui, a doppia camera o a camera singola, che senza soluzione di continuità si allineavano lungo un asse viario che s'inerpicava verso monte. Due ponti-canale dell'acquedotto augusteo, rinvenuti di recente, intersecano il fronte monumentale degli ipogei e documentano indirettamente la pianura compresa tra il limite dei contrafforti rocciosi e la città antica (Colussi e Leggieri, 2016; Colussi e Leggieri, 2018; Capriuoli et al., 2020).

La necropoli, con i monumenti a oggi noti, è individuata per alcune centinaia di metri; segue poi un vuoto di evidenze imputabile a difetto di ricerche sistematiche e, appena oltre, quando aumenta l'acclività delle colline, si estendono le catacombe di San Gaudioso e San Severo che caratterizzano questa parte del contesto. Qui, a un livello considerevolmente superiore a quello dei complessi cimiteriali, in Figura 1, è stata identificata parte di una struttura rupestre di seguito indagata.

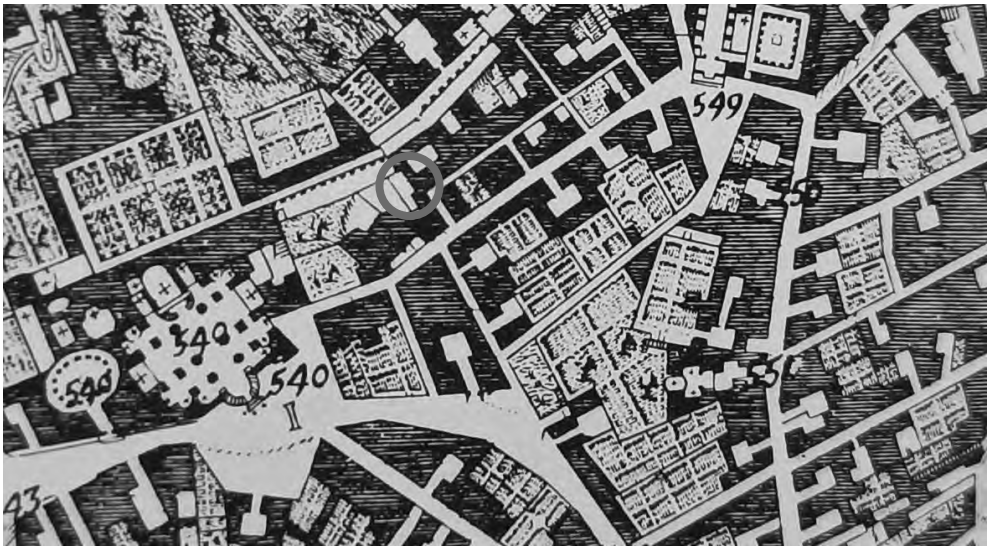


Fig. 1 – Localizzazione del sito tra la Chiesa e Convento di Santa Maria della Sanità (540) e la Chiesa e Convento di San Severo (549). Particolare del f.4 della Mappa Topografica Della Città Di Napoli e Dè Suoi Contorni. G. Carafa duca di Noja, N. Carletti, Napoli 1775. (Collezione Grimaldi, Napoli).

Le nuove evidenze archeologiche

In un'abitazione di Via S. Severo a Capodimonte n. 61 è stato riconosciuto un ambiente di cui si individuano i resti di una volta scavata nel tufo, attualmente coperta da uno strato di intonaco recente, e l'intradosso di un arco decorato da interessanti pitture realizzate in antico, che segna il limite a est del vano. La costruzione moderna interrompe la continuità delle strutture antiche, non permettendo di definirne dimensioni e profondità che però, stando ai pur scarni resti visibili, doveva essere ampio e di una certa imponenza.

Il prospetto frontale del banco tufaceo presenta riadattamenti; si presume che avesse una estensione più ampia e che si estendesse in aggetto verso il prospiciente giardino, probabilmente con strutture lignee, come evidenziano i fori e gli scassi realizzati sul fronte dell'arco e sulla parete di fondo. Al centro della luce dell'arco, infatti, nella parete nord, alcuni scalini conducono a un'area di cava posta a circa 2 m al di sopra dell'attuale livello stradale e scavata in età moderna, molto presumibilmente a partire dalla metà del XVI secolo in concomitanza con l'urbanizzazione dell'area (Buccaro, 1991). Ben leggibile è il solco perimetrale che caratterizza alcuni grossi blocchi intagliati con la smarra, in Figura 2; questi, una volta staccati, venivano ridotti in blocchetti da trasportare a piè d'opera dei numerosi cantieri dove ferveva l'attività costruttiva.

La cava, svuotata del materiale di risulta che la riempiva, ha restituito vari materiali, prevalentemente moderni quali tegole, pipe, oggetti in terracotta e frammenti marmorei, ma anche una lucerna tardo-antica, di importazione africana, di particolare interesse, mostrata in Figura 3. Secondo quanto riportato nella tavola XCIX n. 6 dell'*Atlante delle forme ceramiche* (Carandini et al., 1981), il manufatto è una forma Hayes caratterizzata dal corpo e dal disco rotondo, dal becco con canale allungato, dall'ansa piena e dal fondo con piede ad anello rilevato. Lavorata con un'argilla rossa, la lucerna reca sul disco un cavallo gradiente e sulla spalla una serie di pesciolini

Fig. 2 – Il fronte di cava (Foto di M. Palumbo).

Fig. 3 – La lucerna tardo-antica (Foto di M. Palumbo).

contrapposti (Barbera e Petriaggi, 1993: 208-209). Il motivo con pesci sulla spalla è poco comune ed è di Tipo Q6 n.2 (Bussiere e Rivel, 2015: 88). Questa produzione è attestata a partire dalla seconda metà del V secolo e riporta, quindi, alla fase di massimo sviluppo e frequentazione dell'area per la presenza delle catacombe. Confronti formali si possono istituire peraltro con un gruppo di lucerne coeve recuperate nelle vicine catacombe di San Severo (Amodio, 2014a; Ebanista, 2016).

L'ubicazione altimetrica degli ambienti affrescati (la volta si trova a una quota superiore di oltre 4 m rispetto all'attuale piano stradale), in assenza di qualsiasi elemento di raccordo con i complessi catacombali presenti nella zona, contribuisce a rendere ardua la datazione e la funzionalità della struttura. In Figura 4 sono riportati la planimetria, il prospetto e la sezione altimetrica della struttura. Il dato altimetrico, considerata la distanza dal presunto asse stradale prospiciente le catacombe contigue, suggerirebbe la presenza di strutture poste a un livello intermedio tra queste ultime e l'evidenza in oggetto, ipotesi che potrebbe essere confortata da eventuali saggi di scavo da effettuarsi nel giardino posto tra la struttura in esame e l'edificio prospiciente via San Severo a Capodimonte.

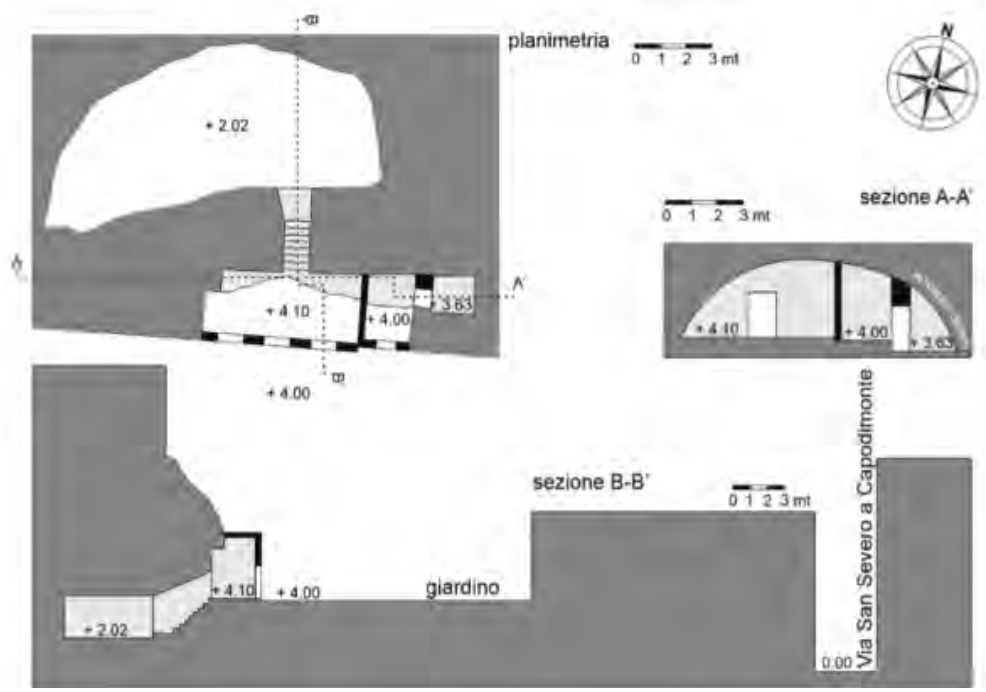


Fig. 4 – Rilievo della cavità e ubicazione degli intonaci dipinti. Planimetria, prospetto e sezione altimetrica (Rilievo a cura di C. Leggieri e G. Mollo, elaborazione grafica di G. Piccolo).

La decorazione pittorica

I resti della decorazione dipinta individuati all'intradosso della volta modellata sulla parete tufacea nell'ambiente dell'abitazione in via San Severo a Capodimonte, che risultano ricoperti da scialbe e nuove pitture a base di quarzo sono stati oggetto di un esame, che ha compreso ovviamente un rilievo. In realtà, il loro cattivo stato di conservazione non consente, in questa fase, di stabilire quale fosse il partito decorativo di questo ambiente rupestre, per cui qui di seguito è fornita la descrizione unicamente del lacerto ancora visibile, che si trova in corrispondenza del lato a destra della volta tagliata nel banco tufaceo.

La decorazione dipinta è stata realizzata a fresco su uno strato di intonaco spesso circa 15 mm, costituito da uno strato di arriccio steso direttamente sulla roccia e da almeno due strati di intonachino a base di latte di calce. Si tratta di una fascia ornamentale costituita da due nastri di colore rosso che delimitano un motivo vegetale, forse un serto o la chioma di una pianta, costituito da foglioline rossastre ai lati e macchioline irregolari di colore bruno al centro. All'esterno del nastro si sviluppa un decoro geometrico su base rettangolare, realizzato con sottili linee rosse, con terminazione a punta; all'interno dei riquadri è dipinta una sequenza di elementi a forma di cuore, simile ad un arabesco, interrotta da riquadri rettangolari campiti con un fiore composto da 4 petali bilobati tra i quali sono posti 4 stami, come mostrato in Figura 5.

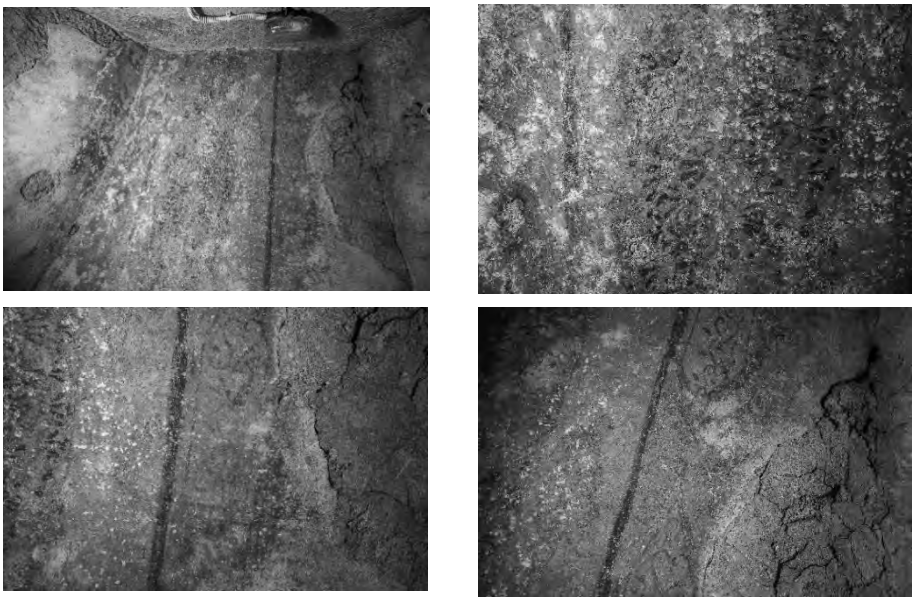


Fig. 5 – Particolari degli intonaci dipinti (Foto di M. Palumbo).

Inoltre è da segnalare una sequenza non ordinata di piccoli cerchi di diametro massimo di 6 cm incisi sulla superficie dell'intonaco, che attraversano in senso longitudinale la decorazione della fascia centrale. Non si conservano purtroppo tracce di colore, ma sono ben visibili il segno della punta del compasso e una linea che unisce i centri, secondo uno schema che è attestato in altri contesti dove può essere completato in pittura nella forma di tralci vegetali, come nel caso della volta dell'Ipogeo di Caivano, degli inizi del II sec. d.C. (Amodio e Greco, 2005: 44 e figg. 21 e 22). Esempi di incisioni di forma circolare che facevano da guida alla dipintura sono nelle catacombe di S. Gennaro, dove al piano superiore, nel soffitto del cubicolo A22, sono visibili cerchi secanti campiti dal colore, decorati all'interno con motivi floreali; anche nel piano inferiore, linee incise sul soffitto del cubicolo B 17,attestano le attente misurazioni che avevano preceduto la stesura della pittura del clipeo con il Cristo con la verga (Fasola, 1975: fig. 47).

Non sappiamo a che tipo di decorazione afferissero i cerchi incisi in vico S. Severo, che non sono in fase con le altre pitture descritte, ma piuttosto riferibili a un periodo antecedente. Allo stato delle conoscenze sembra difficile poter datare gli affreschi, di cui non si può ricostruire il disegno complessivo né istituire confronti puntuali. I singoli motivi decorativi trovano riscontro, in realtà, in alcuni mosaici napoletani d'epoca tardo-antica. La fascia cuoriforme la si ritrova, in forma più raffinata e preziosa, alla base dell'imposta della volta nel mosaico del battistero di S. Giovanni in Fonte nell'*insula episcopalis*, databile tra la seconda metà del IV e gli inizi del V secolo (Maier, 1964: tav. XII), così come il tipo di fiore quadripetalo è presente, seppur diverso nella resa, nell'intradosso del mosaico del vescovo *Quodvultdeus* nelle catacombe di S. Gennaro, della metà del V secolo (Fasola, 1975: tav. XIII,c; Amodio, 2005: 88-89). La continuità d'uso dei motivi geometrici e vegetali non consente, ovviamente, una datazione precisa; si ha però l'impressione che questo lacerto pittorico riveli una stretta dipendenza da mosaici tardoantichi, spesso raffinati e di livello elevato, come nel caso dei due esempi menzionati, di cui imita i motivi decorativi traducendoli in forme corsive.

Per quanto riguarda i confronti pittorici, emerge in realtà una certa familiarità con le decorazioni dei vicini complessi catacombali, di cui i dipinti di Vico S. Severo conservano lo spirito, la decorazione resa in pochi e veloci tratti in rosso su fondo bianco, secondo una visione rapida e sommaria della forma. Se ne trova un chiaro esempio in alcune aree delle catacombe di S. Gennaro, come la cosiddetta zona greca, dove peraltro tra i motivi decorativi che campiscono le partizioni lineari si può riconoscere, appena abbozzato, lo stesso tipo di fiore quadripetalo (Fasola, 1975, tav. III). Un confronto particolarmente calzante riporta, però, alle contigue catacombe di S. Gaudioso, dove su un frammento pittorico, seppur molto esiguo, rinvenuto negli scavi degli anni '30, si riconosce la medesima fascia cuoriforme associata a motivi vegetali (Ebanista e Donnarumma, 2021: fig. 29-3).

Allargando lo sguardo alle catacombe romane, tutti questi elementi, dai singoli motivi decorativi costituiti dalla cornice cuoriforme, il tipo di fiore quadripetalo e i serti vegetali, alla resa stilistica, data da rapide corsive pennellate in rosso su fondo bianco che sembrano imitare più costose decorazioni musive o marmoree, si ritrovano associati in alcuni monumenti come l'ipogeo di via Dino Compagni sulla via Latina, di pieno IV sec. (Ferrua, 1960: tavv. XI, XLIV, LIV, LXVII, CI, CX) o le catacombe ebraiche di Villa Torlonia (Laurenzi, 2011: 38), in particolare nel cubicolo Aa databile tra il III sec. e la prima metà del IV secolo.

Pur con tutte le cautele dovute alla esiguità dei lacerti pittorici e alla labilità dei criteri stilistici e iconografici necessari per una datazione certa, le affinità con altri monumenti napoletani e romani riportano gli affreschi a un orizzonte di IV-V secolo. Se una tale cronologia fosse corroborata da altri dati, la cavità rupestre in vico S. Severo costituirebbe un nuovo importante elemento per la ricostruzione della topografia paleocristiana di *Neapolis*.

Le strutture di Via S. Severo nel contesto topografico

Le evidenze di via S. Severo a Capodimonte 61 si collocano in un'area di grande interesse storico-archeologico per la fase tardo-antica e alto-medievale di *Neapolis*, in Figura 6. La strada infatti si pone tra Piazza S. Maria della Sanità e Piazza S. Severo a Capodimonte, dove si estendono rispettivamente le catacombe di S. Gaudioso e quelle di S. Severo, oggi accessibili dalle basiliche erette tra la fine del XVI sec. e gli inizi del XVII sec. sulle antiche strutture paleocristiane. Nei dintorni si trovava anche l'antica *ecclesia* dedicata a S. Fortunato, vescovo napoletano del IV secolo, monumento di cui non è nota (ed è discussa) l'ubicazione precisa. La sua storia è strettamente legata a quella della catacomba di S. Severo, che si sviluppò intorno alla tomba dell'omonimo vescovo di Napoli, in carica tra la seconda metà del IV e gli inizi del V secolo, sepolto in un'area già precedentemente interessata da un utilizzo funerario, come suggerisce un'iscrizione sepolcrale databile tra la fine del II secolo e la seconda metà del III secolo lì rinvenuta (Amodio 2014b: 141). Della catacomba oggi restano un cubicolo dipinto e una ridotta area funeraria attigua, inglobati nella moderna chiesa di S. Severo.

I *Gesta Episcoporum Neapolitanorum*, raccolta di biografie vescovili della metà del IX secolo, ci informano che l'*ecclesia Severi* sorgeva *iuxta S. Fortunatum*, ovvero vicino alla basilica dove erano sepolti i suoi predecessori, il vescovo Fortunato e il suo successore Massimo (*Gesta episcop. neap.*: 404), morto in esilio durante la crisi ariana che colpì la Chiesa di Napoli intorno alla metà del IV secolo. Ricomposta la crisi, il nuovo vescovo Severo, si occupò verisimilmente del ritorno in patria del corpo di Massimo e della sua deposizione presso la tomba di Fortunato, per poi stabilire nelle vicinanze il luogo della sua futura sepoltura (Mallardo 1936: 35-41, part. 39; Amodio 2014a: 145).

Fig. 6 – Localizzazione del sito in Via S. Severo a Capodimonte (G. Piccolo, rielaborata da Amodio 2014: fig. 24).

Non è nota, come si è detto, la precisa ubicazione dell'*ecclesia S. Fortunati*; dalle fonti letterarie altomedievali sappiamo però che era *ad stadia quattuor* dalla città, quindi nei pressi dell'attuale Piazza Sanità dove si trovano le catacombe di S. Gaudioso (*Gesta episcop. neap.*: 404; Mallardo, 1931: 121-123; Mallardo, 1936: 23-35), l'esteso complesso funerario e cultuale dedicato al vescovo africano Gaudioso rifugiatosi a Napoli tra il V e il VI secolo per le persecuzioni vandaliche.

Agli inizi del '600, nelle *Historiae Neapolitanae*, Giulio Cesare Capaccio afferma che la chiesa di S. Fortunato era distrutta e se ne potevano vedere i resti in un'abitazione privata (Capaccio, 1607: 435), di proprietà degli Angrisani, con i resti di pitture raffiguranti i santi Fortunato e Massimo (Capasso, 1895: 206-207). Secondo una lunga tradizione di studi, la chiesa si troverebbe in Vico Lammatari, all'imbocco con Piazza S. Maria della Sanità (Mallardo, 1936: 31-35). Secondo un'altra ipotesi, formulata da Domenico Mallardo (Mallardo, 1936: 23-25) e ripresa in anni recenti (Amodio, 2014a: 145-148) la basilica si troverebbe invece a nord-est delle catacombe di Gaudioso, più vicina alle catacombe di S. Severo che si trovano poco più avanti in quella direzione, come del resto indicato anche nelle fonti letterarie. Proprio nello stesso tratto, tra i due cimiteri, insiste la struttura rupestre di via S. Severo a Capodimonte qui presentata per la prima volta e, nelle vicinanze, sono documentati altri

rinvenimenti archeologici. Agli inizi dell'800, infatti, in una casa privata in via M. Ripa, già Vico S. Severo alla Sanità, subito a nord di via S. Severo a Capodimonte (Amodio 2014b:131), furono scoperti i resti di una catacomba consistenti in un cubicolo con loculi parietali, *formae* terragne, iscrizioni cristiane e lucerne con croci (Alisio e Buccaro 1999: 240-241) Non è nota, al momento, la collocazione precisa del cubicolo per valutare la sua pertinenza alle catacombe di S. Severo o piuttosto ad un altro insediamento funerario sviluppatosi, come potrebbe essere plausibile, presso le tombe dei SS. Fortunato e Massimo che si trovavano nella zona.

Conclusioni

L'ambiente dipinto qui presentato per la prima volta aggiunge un altro elemento alla ricostruzione storico-topografica di questo tratto. Se si confermasse la cronologia proposta al IV-V secolo, la struttura sarebbe dunque parte dell'insediamento funerario e cultuale sviluppatosi intensamente proprio tra IV e V secolo intorno alle tombe dei vescovi napoletani. Sulla funzione di questo ambiente e sul suo rapporto con le *ecclesiae* e le sepolture vicine, è difficile avanzare ipotesi anche per l'evidente dislivello tra le catacombe e il vano che era stato realizzato a una quota più alta sul pendio del costone tufaceo. La fitta stratificazione di interventi edilizi nel corso dei secoli rende ardua la ricostruzione e l'interpretazione dei resti, che plausibilmente avevano una destinazione funeraria e/o cultuale.

Nelle vicinanze sono inoltre attestate anche altre cavità ipogee, utilizzate in età moderna o contemporanea, di cui sarebbe interessante indagare eventuali tracce di utilizzo in antico, come nel caso di un'articolata cavità cui si accede da Vico II S. Severo, una traversa di Via M. Ripa, che si estende sotto l'ex Collegio dei Cinesi, complesso situato tra la chiesa di S. Maria della Sanità e quella di S. Severo. Questa cavità, utilizzata come cava di tufo e poi come ricovero anti-aereo durante la Seconda Guerra Mondiale, è attualmente inaccessibile in quanto in gran parte riempita di materiale di risulta (Amodio 2014a: 148). Solo mirate indagini di scavo nell'area potrebbero chiarire la topografia di questo settore nevralgico del suburbio napoletano.

Ringraziamenti

Gli autori sentitamente ringraziano l'avvocato Domenico Capozzi per la disponibilità e sensibilità mostrata nel segnalare il ritrovamento, Gabriella Lordi per aver, con la consueta cortesia, corretto l'*abstract* e Mauro Palumbo per la realizzazione della "non semplice" documentazione fotografica.

Fonti

Gesta episcop. neap: Gesta Episcoporum Sanctae Neapolitanae Ecclesiae, ed. Weitz G. *Monumenta Germaniae Historica. Scriptores rerum Langobardicarum et Italicarum saec. VI-IX*, Hannoverae Impensis Bibliopolii Hahniani, 1878, 397-436.

Bibliografia

Alisio G., Buccaro A. 1999. *Napoli millenovecento. Dai catasti del XIX secolo ad oggi: la città, il suburbio, le presenze architettoniche*. Napoli: Electa.

Amodio M. 2005. La componente africana nella civiltà napoletana tardo-antica. Fonti letterarie ed evidenze archeologiche. Atti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia (serie III). Memorie in 8°, VI. Roma: Quasar.

Amodio M, Greco G. 2005. L'ipogeo di Caivano. Parte I. In: *Atti del Convegno L'Ipogeo di Caivano del 7 ottobre 2004* (a cura di G. Libertini). Frattamaggiore: Istituto di Studi Atellani.

Amodio M. 2014a. Materiali per lo studio delle catacombe napoletane di S. Severo extramoenia. Oebalus, 9, 103-157.

Amodio M. 2014b. *Le sepolture a Neapolis dall'età imperiale al Tardo-Antico. Scelte insediative, tipologie sepolcrali, usi funerari tra III e VI secolo*. Napoli: Giannini Editore.

Barbera M., Petriaggi R.1993. *Le lucerne tradoantiche di produzione africana*. Roma: IPZS.

Buccaro A. 1991. *Il borgo dei Vergini. Storia e struttura di un ambito urbano*. Napoli: CUEN editrice.

Carandini A., Anselmino L., Pavolini C., Saguì L., Tortorella S., Tortorici E. 1981. *Atlante I: Atlante delle forme ceramiche. I. Ceramica fine romana nel bacino del mediterraneo (medio e tardo impero)*. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana.

Bussiere J., Rivel J.C. 2015. *Repertoire de fleurons sur bandeaux de lampes africanes*. Oxford: Archaeopress.

Capaccio G.C. 1607. *Neapolitanae Historiae*. Napoli: apud Io. Iacobum Carlinum

Capasso B.1895. *La topografia di Napoli nell'XI secolo*. ristampa anastatica, Bologna: A. Forni Editore.

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* (a cura di S. D'Agostino), Napoli 22-23 aprile, 589-598. Napoli: Cuzzolin Editore.

Colussi F., Leggieri C. 2018, L'acquedotto augusteo del Serino a Nord di Neapolis nell'area compresa tra la Sanità e Ponti Rossi. In: *Atti del VII Convegno di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 23-24 aprile, 93-104. Napoli: Cuzzolin Editore.

Capriuoli F., Colussi F., Leggieri C. 2020. Il paesaggio a nord di Neapolis: la necropoli ellenistica e l'acquedotto del Serino. Il racconto con le moderne tecnologie. In: *Atti dell'VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), 449- 462. Napoli: Cuzzolin Editore.

Ebanista C. 2016. Gli spazi funerari a Napoli nella tarda antichità. La catacomba di san Severo. In: *Territorio, insediamenti e necropoli fra tarda antichità e alto medioevo* (a cura di C. Ebanista e M. Rotili), 169-202. Napoli: Rogiosi Editore.

Ebanista C., Donnarumma I. 2021, Un vescovo nordafricano esule a Napoli: la catacomba di S. Gaudioso tra aspetti topografici e prassi funerari. In: *Romani, germani e altri popoli. Momenti di crisi fra Antichità e Medioevo* (a cura di C. Ebanista e M. Rotili), 77-164. Bari: Edipuglia.

Fasola U. 1975. *Le catacombe di S. Gennaro a Napoli*. Roma: Editalia

Ferrua A. 1960. *Le pitture della nuova catacomba di via Latina*. Roma: PIAC.

Laurenzi E. 2011. *Le catacombe ebraiche. Gli Ebrei di Roma e le loro tradizioni funerarie*. Roma: Gangemi Editore.

Maier J.L. 1964. *Le baptistère de Naples et ses mosaïques. Etude historique et iconographique*. Friburg: Editions Universitaires Fribourg Suisse.
Mallardo D. 1931. S. Severo vescovo di Napoli. Bollettino Ecclesiastico dell'Archidiocesi di Napoli, XII, 61-66, 92-96, 121-123, 140-142.
Mallardo D. 1936. *Ricerche di storia e topografia degli antichi cimiteri cristiani di Napoli*. Napoli: Tipografia Unione.
Mallardo D. 1947. La Campania e Napoli nella crisi ariana. Rivista di Storia della Chiesa in Italia, I, 185-226.

Damiano Santillo, Federico Capriuoli, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte,
Maria Diletta Colombo, Isabella Muccilli, Maria Gabriella Carpentiero

La distribuzione e il drenaggio dell'acqua nella città romana di Saepinum

Water distribution and drainage system in the Roman city of Saepinum

Abstract

Sommario
In età augustea, la città di *Saepinum* fu oggetto di una profonda trasformazione urbana che portò alla costruzione di importanti opere idrauliche. L'articolo, dopo aver illustrato il peculiare contesto idrogeologico del sito e delineato i tracciati delle principali reti idriche, descrive le recenti indagini archeologiche ed il rilievo laser scanner del condotto fognario allineato al decumano.

Abstract
In the Augustan age at *Saepinum* remarkable hydraulic works were carried out as part of an urban transformation. This paper highlights the hydrogeological context, the local springs distribution, the pipelines layout bringing water from outside sources into distribution tanks, the latest archaeological excavation outcomes on hydraulic networks and the preliminary laser scanner survey of sewer pipe aligned with the *decumanus*.

Inquadramento storico - archeologico

L'insediamento di *Saepinum*, strategicamente posizionato alla base dei monti del Matese lungo il tratturo Pescasseroli-Candela, nel punto di incrocio con l'itinerario trasmontano che dalla Campania conduceva nel Sannio, ha avuto una prima organizzazione nel II sec. a.C. e ha raggiunto la massima fioritura in età augustea, con la costruzione e il restauro degli edifici più importanti[1]. I dati forniti dalle attività di scavo lasciano ipotizzare che il sito possa aver avuto un precoce sviluppo, già a partire dal IV sec. a.C., come foro commerciale sannita (Scaroina, 2010), strettamente correlato alle esigenze di sosta e di scambio di prodotti connessi al passaggio pedemontano

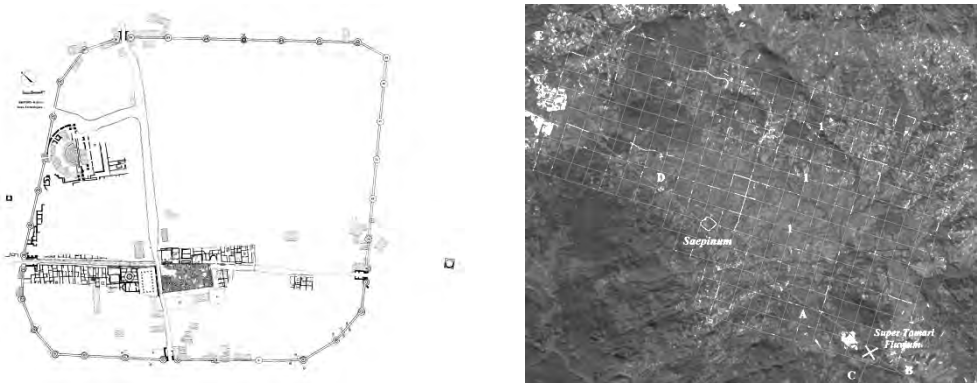


Fig. 1 – Pianta di Saepinum (a sinistra) (SABAP Molise)*; configurazione della centuriazione dell'agro di Sepino (a destra)* (Libertini, 2018).

degli armenti durante le transumanze orizzontali a carattere stagionale[2]. Al *vicus/forum* si associava almeno un'area cultuale, il santuario di San Pietro dei Cantoni, e una cinta fortificata, l'*arx* di Terravecchia, secondo un modello di occupazione diffusa del territorio, tipico delle culture italiche (La Regina, 1975), in virtù del quale nell'area sepinate l'insediamento venne inizialmente strutturato in nuclei interdipendenti, frazionato funzionalmente e distribuito a diverse quote del versante matesino (Matteini, 2015). Negli anni successivi alla Guerra Sociale, con la riorganizzazione complessiva sia del regime fondiario che del sistema insediativo, *Saepinum* divenne uno tra i municipi romani sorti lungo il tratturo in sostituzione dei precedenti *fora* e *vici* sannitici, assurgendo a polo di controllo del territorio da un punto di vista politico, economico, amministrativo e religioso (Scaroina, 2010). Con la profonda ristrutturazione urbanistica di età augustea si attuò anche il potenziamento delle opere di adduzione idrica, per garantire un afflusso regolare e continuo della risorsa, e la costruzione di una nuova rete fognaria con due collettori primari al di sotto degli assi stradali principali (Ceglia, 2015). L'impianto urbano si mantenne vitale almeno fino al IV-V sec. d.C.; dopo tale periodo si registra una crisi economica e demografica, documentata dall'abbandono degli edifici più importanti, dall'interramento del basolato del foro e dall'uso sepolcrale di alcune aree ai suoi margini. Pertanto, è lecito supporre che in questa fase di decadenza sia venuta meno la regolare manutenzione delle opere pubbliche, con la conseguente progressiva perdita di funzionalità delle infrastrutture idrauliche sia in ambito urbano che a scala territoriale, in Figura 1.

Saepinum e il contesto geomorfologico, idrogeologico e idrologico

Le forme di occupazione del territorio da parte delle diverse civiltà che si sono succedute nell'area sepinate sono inevitabilmente correlate alle peculiari caratteristiche

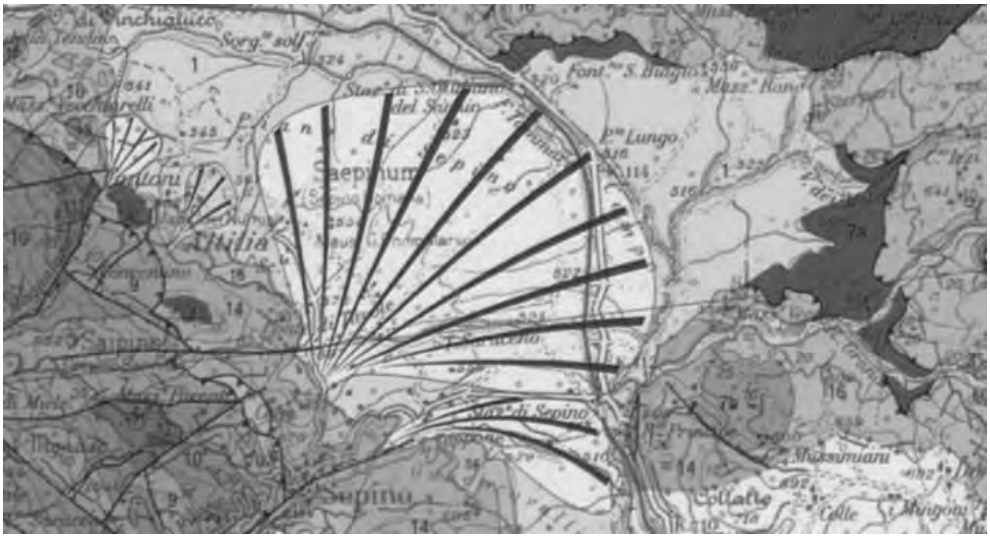


Fig. 2 – Stralcio della carta geologica della conca sepinate (Servizio Geologico Italiano, Progetto CARtografia Geologica - CARG, foglio 404 - Campobasso).

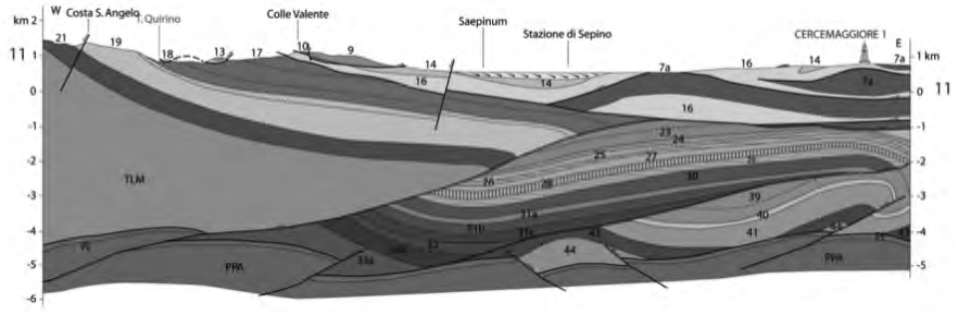


Fig. 3 – Sezione geologica della Piana di Sepino (Carta Geologica del Molise, 2006).

geomorfologiche, idrogeologiche e idrologiche del massiccio del Matese. Nello specifico, il versante molisano del sistema montuoso assume una conformazione arcuata, con un allineamento NO-SE, delimitata alle due estremità dalle valli dei fiumi Volturno e Tammaro; lungo tale asse, che ha storicamente modellato e definito sia la connessione viaria tra i centri di *Aesernia* e di *Beneventum* che l'andamento delle vie armentizie, è possibile incontrare, in termini geomorfologici, due importanti bacini intramontani: la piana di Sepino, nelle Figure 2 e 3, caratterizzata da un grosso

corpo di conoide formatosi a seguito dell'azione del Torrente Saraceno, e la conca di Boiano (Rosskopf, 2014).

Il territorio occupato da *Saepinum*, che nel medioevo ha assunto il toponimo di Altilia (Coarelli e La Regina, 1984), afferisce all'unità idrogeologica del Monte Moschiaturo, 1471 m slm., tettonicamente sovrapposta all'adiacente unità del Matese; la circolazione idrica sotterranea è caratterizzata dalla presenza di un *klippe*, ossia da un completo isolamento tra i due acquiferi carbonatici, sia per le diverse caratteristiche litologiche delle serie stratigrafiche che per l'interposizione dei sedimenti terrigeni di natura flyschioide. L'alternanza di litotipi a diversa permeabilità suddivide le acque di infiltrazione in più falde, che emergono numerosissime, circa una sessantina, a varie quote dell'unità (Celico, 1983). Tale peculiarità idrologica si manifesta in modo evidente nell'area di Sepino ove, nella parte alta del bacino del torrente Saraceno si rinvengono (AA.VV., 2002) le scaturigini perenni di Pozzo di Miele, a oltre 1050 m di quota, di Acqua Fredda, a circa 860 m slm, in prossimità dei resti della fortificazione sannita in località Terravecchia, con una portata media annua di circa 13 l/s, e, leggermente più in basso, a 750 m slm, di Fonte San Nicola, con una portata media di oltre 9 l/s, e di Fonte Atello, con una portata media superiore a 2 l/s. Le sorgenti più rilevanti del comprensorio si concentrano nella parte basale del complesso montuoso, a una quota di circa 550 m slm, in prossimità dell'area di Altilia: la fonte della Fota, con una portata media di 45 l/s, e la Fonte Emma, con una portata media di oltre 20 l/s, puntualmente riportate, a conferma della loro importanza, nella cartografia del Regno di Napoli redatta nel 1789 da Antonio Rizzi Zannoni (Mattei, 1853), in Figura 4.

L'attuale paesaggio idraulico è tuttavia profondamente diverso da quello che doveva apparire in epoca antica; le capillari derivazioni delle sorgenti del settore orientale del Matese, attuate dalla Cassa per il Mezzogiorno a metà degli anni '50 del XX secolo e, successivamente, dall'Ente Risorse Idriche del Molise-ERIM per alimentare l'acquedotto Molisano Destro, insieme a quelle realizzate dal Comune di Sepino

Fig. 4 – Stralcio dell'Atlante Geografico del Regno di Napoli (a sinistra) (Rizzi-Zannoni, 1808)*; Litografia con Sepino (a destra)* (Mattej, 1853).

per soddisfare le esigenze del centro abitato (AA.VV., 2000), hanno profondamente alterato il regime dei corsi d'acqua superficiali che, depauperati dell'apporto sorgentizio, manifestano deflussi residuali e parametri idrologici alquanto irregolari. In termini puramente qualitativi, ma alquanto rappresentativi, l'immagine del centro abitato di Sepino, sempre in Figura 4, pubblicata nel 1853 a cura di Filippo Cirelli, fornisce una chiara visione della radicale trasformazione del territorio.

L'indagine archeologica e le reti idriche di Saepinum

Dopo le prime sporadiche esplorazioni degli anni '70 del XIX secolo e le ricerche condotte da Amedeo Maiuri (Maiuri,1926), occorre attendere il 1950 per vedere l'avvio di una sistematica attività di scavo e di restauro del sito, sotto la direzione di Valerio Cianfarani. Il Soprintendente alle Antichità degli Abruzzi e del Molise rimuove lo spesso strato di sedimenti alluvionali che progressivamente si erano accumulati in oltre mille anni obliterando le vestigia della città, riportando alla luce e ricomponendo larga parte delle strutture attualmente visibili, come mostrato in Figura 5. Gli estesi

Fig. 5 – Saepinum: il foro rimesso in luce dagli scavi degli anni'50 (SABAP Molise).

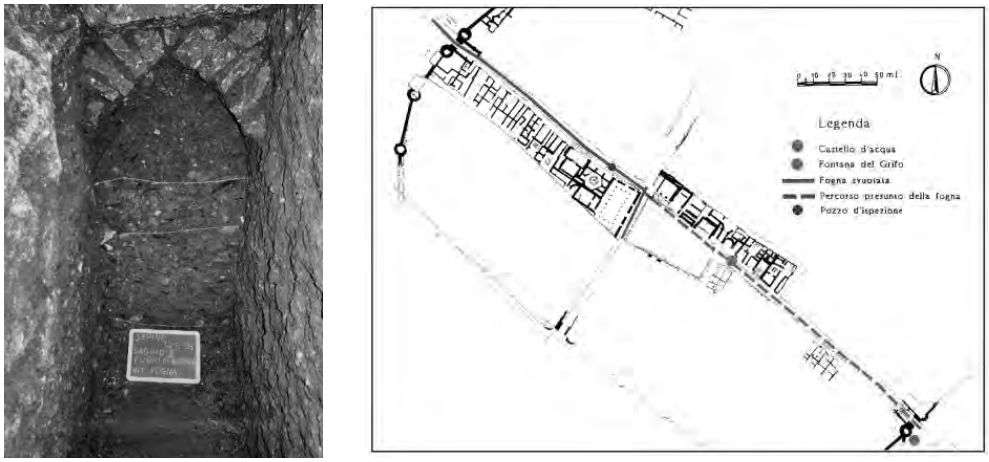


Fig. 6 – Saepinum: fognatura, indagini 1993-1995, scavo dello speco (a sinistra); planimetria della fogna (a destra).

disseppellimenti hanno tuttavia evidenziato sia la necessità di un efficace allontanamento delle acque meteoriche, per la tutela e la fruizione dell'area, che l'esigenza scientifica di una migliore comprensione della configurazione complessiva delle reti idrauliche antiche.

Durante i lavori eseguiti negli anni '70 del secolo scorso, si era ipotizzato che i rami principali della rete urbana, idrica e fognante partissero da Porta Benevento, dove era stato individuato il *castellum aquarum* all'interno della torre meridionale, come lascia ipotizzare l'innesto di un condotto idraulico (Coarelli e La Regina, 1984), per dispiegarsi lungo il decumano e il lato settentrionale del foro. Nell'ambito delle ricerche condotte dall'Università di Perugia (Matteini, 1982), era stato inoltre delineato il tracciato extraurbano dell'acquedotto connesso a Porta Benevento, lasciando supporre il *caput acque* nel bacino del torrente Saraceno, in prossimità della località Ponte delle Tavole. In tale ottica, per ovviare allo scolo delle acque che nei periodi autunnali e primaverili ristagnavano sul basolato, tra il 1993 e il 1995 è stato ripristinato il condotto fognario al di sotto del decumano, nella porzione che va dal foro a Porta Boiano per una lunghezza di 145 m, in Figura 6. Nella cloaca converge una serie di condotti secondari, di dimensioni variabili, con i quali le acque venivano convogliate dai singoli edifici al collettore principale. La datazione della ceramica rinvenuta nei depositi di riempimento ha permesso di proporre una data per l'abbandono dell'opera, tra la fine del V e il VI sec. d.C.; la costruzione dell'impianto risulta coerente con le ristrutturazioni avvenute in età augustea (Ceglia, 2015). Nel 2019, la Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio del Molise (Colombo, et al., 2019) ha progettato la ripresa dello scavo della fogna nel tratto compreso tra il foro

Fig. 7 – Saepinum: fognatura, indagini 2020-2021, apertura del saggio di scavo n.1 (a sinistra) (Muccilli, 2021)*; zona di confluenza dei condotti fognari all'incrocio tra Cardo e Decumano (a destra)* (Muccilli, 2021).

e Porta Benevento. L'indagine, avviata nel 2020, è stata realizzata con l'apertura di 9 saggi di scavo (Muccilli, 2021), in Figura 7 il saggio n.1, mediante i quali si è proceduto alla progressiva rimozione degli strati di riempimento per una lunghezza di circa 150 m. La galleria esplorata ha un'altezza di circa 1,60 m dalla chiave di volta alla pavimentazione ed è costituita da lastre calcaree di diversa grandezza poste a una profondità di circa 2,50 m dai basoli di superficie. La larghezza media del condotto si attesta a 0,75 m. La volta a botte risulta formata da una serie di conci cuneiformi dallo spessore variabile (Muccilli, 2021).

Durante l'ultima campagna di scavo si è ispezionato anche il tratto fognario extraurbano, oltre Porta Boiano, appurando lo sbocco del condotto in prossimità del mulino Peluso (Muccilli, 2021), noto nella cartografia storica come mulino Valente, in Figura 8; il Fosso della Fota, quindi, rappresenta il corpo idrico recettore dello scarico del collettore fognario principale della città.

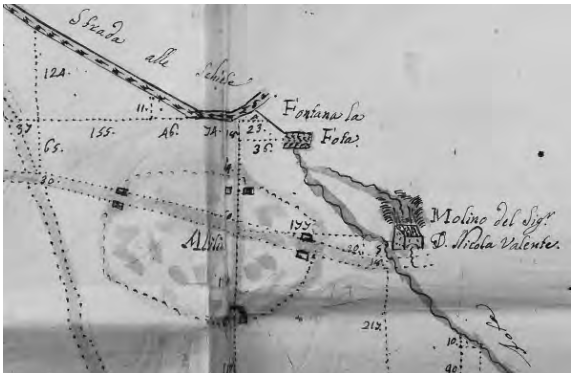


Fig. 8 – Sepino: pianta di una parte della montagna, 1812 (Archivio di Stato di Campobasso).

Parallelamente alle attività di scavo, le ricerche di archivio hanno contribuito ad ampliare il quadro delle conoscenze settoriali. È il caso (Scocca, 2015) della pubblicazione della Pianta della diruta città dell'Altilia, in Figura 9, in cui il rilievo delle residue strutture dell'antica *Saepinum* si completa con il disegno di una fontana posta all'esterno del circuito murario, segnalata in carta attraverso una prima didascalia «Fontana sorgiva che conduce alla diruta città» *e descritta in dettaglio attraverso una seconda annotazione* «…Vi è nel luoco D una sorgiva fontana d'una gran copia d'acqua, che porta l'acquedotto dentro detta diruta Città circa 60 passi geometrici, di palmi 8.…» (Rescigno, 2002). La sorgente raffigurata è senz'altro identificabile con la fonte della Fota, ubicata a poco più di 100 m da Porta Terravecchia.

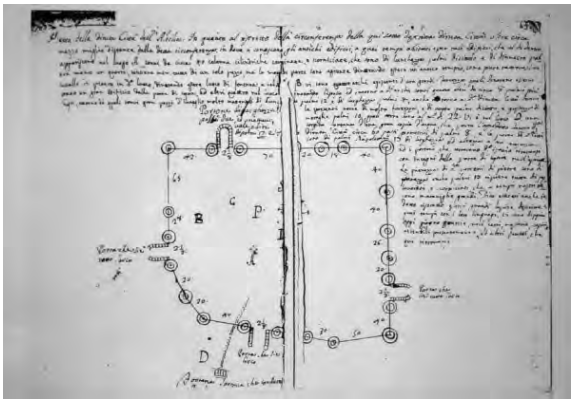


Fig. 9 – Pianta della diruta città dell'Altilia, 1771 (Rescigno, 2002).

Ulteriori informazioni provengono dalle indagini archeologiche condotte su strutture, pubbliche e private, "idroesigenti"; è il caso degli ambienti termali in prossimità di Porta Boiano, qui collocati per servire i viaggiatori al momento del loro ingresso in città, alimentate da un serbatoio posto a ridosso del cortile interno della porta (Coarelli e La Regina, 1984), verosimilmente connesso al condotto di distribuzione proveniente da Porta Terravecchia individuato all'esterno della cinta durante gli scavi condotti nel biennio 2001-2002. Una serie di edifici industriali si affianca invece alla *domus* denominata da Cianfarani "Casa dell'*impluvium* sannitico"; tra essi è documentata la presenza di una *fullonica* e di un mulino azionato da una ruota idraulica, in Figura 10. Lungo le due strade principali erano disseminate diverse fontane monumentali costruite a spese dei magistrati (Coarelli e La Regina, 1984); la più nota tra esse è la cosiddetta Fontana del Grifo, ubicata lungo il decumano al confine tra l'area pubblica e quella privata. La fontana si compone di un bacino quadrangolare in blocchi calcarei, impermeabilizzato in cocciopesto, con un alto parapetto ricomposto con alcune integrazioni negli anni '70 (Gaggiotti, 1973); ai margini della vasca, un chiusino lapideo forato, ancora in Figura 10, copre il punto di raccolta per lo scarico delle acque nella sottostante cloaca. Presso la basilica, sul ramo del cardo verso Porta Terravecchia, sono visibili i resti di un'altra fontana con ampia vasca per l'abbeveraggio dei cavalli, plausibilmente alimentata a gravità con le acque della fonte della Fota. Tutti gli spazi pubblici pavimentati rinvenuti manife-

Fig. 10 – Saepinum: testimonianze della distribuzione idrica, opificio (a sinistra) (foto CJB)*; Fontana del Grifo con chiusino lapideo forato (al centro); canaline perimetrali del foro (a destra).*

Fig. 11 – Frammento di fistula di Saepinum (Baranello, museo civico "G. Barone").

stano una adeguata pendenza per lo scolo delle acque nella rete di raccolta; è il caso del foro, con la canalizzazione perimetrale del lato meridionale, sempre in Figura 10, che ancora oggi raccoglie le acque meteoriche scaricandole al di sotto del cardo, o del teatro, in cui l'orchestra denota una lieve pendenza in direzione del proscenio ove è presente un euripo (Scocca, 2015).

Altre utili testimonianze relative alla distribuzione pubblica dell'acqua sono emerse dal saltuario rinvenimento di frammenti di *fistulae aquariae*, in Figura 11. In particolare, una fistula plumbea con iscrizione, connessa alla fontana posta nello spazio identificato come *porticus pone scaenam*, menziona un *fistulator*, *Abascantus*, artigiano già noto a *Saepinum* con il ritrovamento di altre tubature nell'area del foro (Matteini Chiari, 1982), che per conto della municipalità aveva assunto l'appalto per la realizzazione e la posa in opera delle tubazioni dell'acquedotto.

Il rilievo laser del condotto fognario

Negli ultimi anni il rilievo tramite laser scanner terrestre è diventato una prassi comune in tutti i siti archeologici in fase di scavo o oggetto di studi; le scansioni laser vengono infatti con sempre maggiore frequenza associate alle misurazioni da stazione totale e all'utilizzo di tecniche fotogrammetriche, terrestri e da drone (Capriuoli, 2015; Bevilacqua, 2015). Per il rilievo del tratto di fogna oggetto di indagine, in Figura 12, è stato utilizzato come strumento un Faro Focus S150 a differenza di fase e con portata operativa pari a 150 m. La scelta di uno strumento piccolo e leggero è stata indotta sia dagli spazi interni del manufatto, caratterizzati da dimensioni ridotte, che dalla presenza, al momento del rilievo, di fango, che rendeva gli spostamenti difficoltosi e molto complessi da gestire con uno strumento più pesante. Il rilievo è stato eseguito anche nella parte di superficie che sovrasta il tratto di fogna indagato, in cui sono state effettuate 22 scansioni, ponendo particolare attenzione all'acquisizione degli elementi architettonici visibili ai lati del basolato del decumano, colonne, fontane e resti di edifici, e al piano stradale, con stazioni dedicate nelle immediate vicinanze dei fori di scolo; al momento del rilievo una recinzione di sicurezza perimetrava purtroppo l'area, rendendola di fatto isolata dallo spazio circostante e

Fig. 12 – Rilievo laser del saggio di scavo: messa in stazione attraverso il saggio (a sinistra); condizioni operative del rilievo all'interno dello speco (a destra).

Fig. 13 – Rilievo laser del condotto fognario: vista ortografica della nuvola di punti dell'ambiente ipogeo in relazione con il piano campagna (saggio n. 1) in prossimità della Fontana del Grifo posta lungo il decumano.

ostacolando notevolmente la misura degli elementi al suo esterno. In prossimità di ogni saggio di scavo, da dove era dunque possibile calare lo strumento, sono state eseguite più scansioni anche con lo scanner ribaltato di 90 gradi sull'asse z, tramite l'utilizzo di un apposito tripode basculante mostrato in Figura 12. L'acquisizione dell'area interna, resa molto complessa dal limitato spazio disponibile, visibile sempre in Figura 12, è stata invece caratterizzata da numerose stazioni poste a distanza massima di 1,5 m l'una dall'altra[3]. L'elevato numero delle stazioni di rilievo è stato imposto da un ambiente ipogeo stretto e lungo, dove anche vedere i target posizionati non era sempre facile e la cui forma avrebbe potuto causare errori durante la fase di registrazione delle scansioni nell'applicazione degli algoritmi *Cloud to Cloud*-C2C, e dalla necessità di evidenziare le singole canaline di scolo che si innestano nell'ambiente fognario in maniera non regolare, con un'interdistanza variabile tra 1 e 3 m, caratterizzate da differenti dimensioni e sezioni; in Figura 13 è mostrata la vista ortografica superiore dell'intero tratto rilevato con in sovrapposizione il piano di campagna e la cloaca che scorre al livello inferiore. La registrazione delle scansioni è stata dunque realizzata con l'impiego di target materializzati sulle strutture di contenimento e di algoritmi C2C; il rilievo ha consentito l'estrazione di sezioni longitudinali e trasversali, sempre in Figura 13, e la connessione delle strutture sotterranee e fuori terra in un modello continuo, riportato in Figura 14.

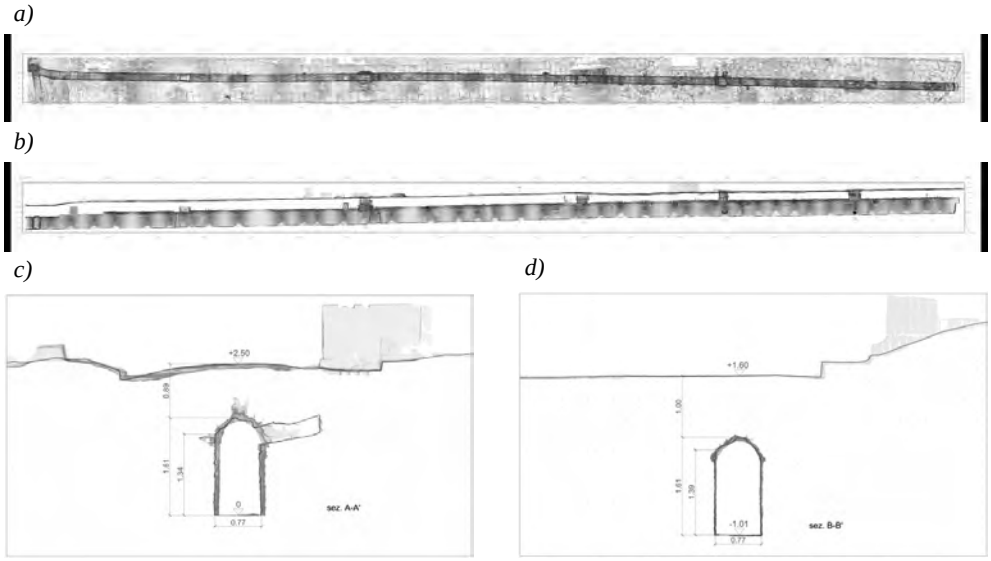


Fig. 14 – Rilievo laser del condotto fognario: a) vista ortografica superiore dell'intero tratto rilevato. In sovrapposizione il piano di campagna (decumano) e la cloaca che scorre al livello inferiore. A metà del tratto si apprezza una leggera variazione d'angolo; b) vista ortografica in sezione longitudinale del tratto oggetto di indagine tramite laser scanner; c) sezione trasversale (AA') in prossimità del saggio n.1 e della fontana del grifo. d) sezione trasversale (BB') nei pressi del foro.

Conclusioni

Gli insediamenti sorti nell'antichità in località Altilia, nella parte medio-distale del conoide del torrente Saraceno, potevano contare su un'ampia e variegata disponibilità di risorse idriche, sia superficiali che sotterranee, garantita dai corsi d'acqua perenni defluenti nei valloni montani, dalle copiose sorgenti poste alla base del pendio e dal possibile emungimento diretto, tramite pozzo, dalla falda acquifera confinata nella matrice ghiaiosa e sabbiosa del conoide. I risultati delle varie ricerche archeologiche condotte a partire dalla seconda metà del XX secolo, conducono a ipotizzare che presso i due accessi posti alle quote più elevate (Porta Terravecchia e Porta Benevento) sia stato attuato in epoca augustea il riparto della risorsa idrica, il *castellum aquarum*, in cui confluiva l'acqua prelevata a gravità da due punti del territorio, località Ponte delle Tavole e Fonte La Fota, che veniva poi distribuita ai settori urbani. Le recenti esplorazioni al di sotto del decumano, documentate con un rilievo laser ad alta frequenza di stazioni in un contesto operativo alquanto complesso, hanno confermato la presenza di un condotto fognario principale che, dopo aver attraver-

sato la città per oltre 350 m, raccogliendo sia gli scarichi dell'edificato che le acque meteoriche convogliate dalle ampie superfici basolate, recapita i reflui nella località Mulino Peluso. Le ricerche archeologiche, associate all'impiego di tecniche di rilievo sempre più raffinate e contestualizzate agli ambienti ipogei, potranno fornire ulteriori elementi di conoscenza in merito alle infrastrutture idrauliche di *Saepinum*, quale tassello per la ricostruzione complessiva dell'impianto urbano.

Bibliografia

AA. VV. 2002. *Studio per l'aggiornamento del piano di utilizzazione delle risorse idriche per lo sviluppo della regione*. Campobasso: Regione Molise.

Bevilacqua M.G., Caroti G., Piemonte A., Terranova A.A. 2018. Digital Technology and Mechatronic Systems for the Architectural 3D Metric Survey. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering, 92, 161-180.

Bevilacqua M.G, Piemonte A., Caroti G., Martinez-Espejo Zaragoza I. 2015. An analysis of the evolution of architectural survey by comparison of two surveys of Porta ali' Arco (Volterra, Italy): from 1996 to 2014. In: *Proceedings of 7th intemational conference on contemporary problems of architecture and construction, Fabbrica della Conoscenza*, 58, 573-578.

Capriuoli F., Colangelo D., Curto L., Fileri D., Guariglia A., Sansanelli VM., Santarsiero P. 2015. La ricostruzione 3D in realtà virtuale del Piano Nobile del Palazzo del Quirinale. Geomedia, 2, 26-28.

Caroti G., Martfnez-Espejo Zaragoza I., Piemonte A. 2015. Range and image-based modelling: a way for frescoed vault texturing optimization. ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W4, 285-290.

Ceglia V. 2015. Sepino-Altilia (CB) – *Il Sistema idrico e fognante*. In: Considerazioni di Storia ed Archeologia. Campobasso: Samnitium.

Celico P. 1983. *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale*. Roma: CASMEZ.

Chiabrando F., Donadio E., Rinaudo F. 2015. SfM for orthophoto generation: a winning approach for cultural heritage knowledge. ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W7:9, 1-98.

Coarelli F., La Regina A. 1984. *Abruzzo Molise*. Bari: Laterza.

Colombo M. D., Mignogna T. e Carpentiero M. G. 2019. *Progetto di scavi, restauro e miglioramento della fruizione dell'area archeologia di saepinum/altilia*. Campobasso: SABAP.

Gaggiotti M. 1973. *La fontana del grifo a Saepinum*. Campobasso: Soprintendenza ai Monumenti alle Antichità e alle Belle Arti del Molise

Gonizzi Barsanti S., Caruso G., Micoli LL., Covarrubias Rodriguez M., Guidi G. 2015. 3D visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices. ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W7:9, 165-172.

Guidi G, Remondino F. 2012. 3D modelling from real data. Modeling and simulation in engineering, 69-102.

La Regina A. 1970. Note sulla formazione dei centri urbani in area sabellica. In: *Atti del Convegno sulla Città etrusca e italica preromana (Bologna 1966)*, 191-207. Bologna: istituto per la Storia di Bologna.

La Regina A. 1975. Centri fortificati preromani nei territori sabellici dell'Italia centrale adriatica. In: *Atti del Colloque international «Agglomerations fortifiées illyriennes"* (A. Benac, B, Covic, E. Alirejsov Eds.), Mostar, 24-26 Octobre, 271-288. Sarajevo: Académie des sciences et des arts de Bosnie-Herzegovina.

La Regina A. 1990. Safinim. Dal conflitto con Roma alla tota Italia. In: *Il Molise. Arte, cultura, paesaggi* (a cura di N. Paone), 31-53. Roma: Fratelli Palombi Editori.

Libertini G. (a cura di). 2018. *Gromatici Veteres* Con presentazione di G. Soricelli. Frattamaggiore: Istituto di Studi Atellani.

Maiuri A. 1926. Sepino. Iscrizioni e scoperte varie. NSA, 250-251.

Matteini Chiari M. 1982. *Saepinum: museo documentario dell'Altilia*. Campobasso: La Rapida Grafedit.

Matteini Chiari M., Scocca V. 2015. Saepinum (Altilia). In: *Fana, templa, delubra. Corpus dei luoghi di culto dell'Italia antica* (FTD) - 3 (a cura di S. Capini, P. Curci P., M.R. Picuti M. R.), 65-77. Roma: Collège de France.

Muccilli I. 2021. *Sepino (CB)-Altilia 2020-2021 Scavo della Cloaca (Foro, Decumano e tratto est)*. Relazione Archeologica. Campobasso.

Mattej P. 1853. *Il Regno delle Due Sicilie descritto ed illustrato: Sepino* (a cura di F. Cirelli). Napoli: G. Nobile.

Muller F. 1926. *Altitalisches Wórterbuch.* Gòttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Rescigno P. 2002. *Diario Sepino 1800-1900. Fatti, personaggi, frammenti di vita, tra cronaca e storia, nella Sepino del XIX secolo*. Parte Seconda. Morcone: Edigrafica.

Rizzi-Zannoni A. 1808. *Atlante geografico del Regno di Napoli delineato per ordine di Ferdinando IV re delle Due Sicilie*. David Rumsey Map Collection, Stanford Libraries.

Rosskopf C. 2014. *Caratterizzazione geologico-ambientale del territorio molisano e delle unità territoriali individuate*. Campobasso: APQ Regione Molise-Università del Molise.

Scaroina L. 2010. Caratteri dell'insediamento antico sul versante settentrionale del Matese. Quaderni di Archeologia d'Abruzzo, 2, 71-90.

Scocca V. 2015. *Saepinum, San Pietro di Cantoni, Terravecchia, un esperimento di archeologia digitale*. Tesi di dottorato, Università Ca' Foscari di Venezia.

Note

1. L'insediamento, delimitato da un circuito murario caratterizzato da un sistema cadenzato di torri, occupa un'area di circa 12 ha. Le porte monumentali si aprono in asse con le due arterie stradali principali: Porta Benevento e Porta Boiano agli estremi del Decumano, sovrapposto al tratturo, Porta Tammaro e Porta Terravecchia agli estremi del Cardo, sovrapposto a un antico tracciato di collegamento tra la Valle del Tammaro e il Matese.
2. L'etimo del toponimo dell'insediamento, interpretabile da *saepio* come "luogo recintato" (Muller, 1926), sembra ricondurre a uno spazio delimitato per ospitare le greggi che, nel tempo, si è progressivamente accresciuto e affermato come luogo di sosta e di commercio.
3. Dettaglio del rilievo laser scanner terrestre condotto dal Laboratorio ASTRO del Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università degli Studi di Pisa: 104 scansioni, risoluzione 3 mm/10 m esterno, risoluzione 6,1 mm/10 m interno e RGB esterno.

Stefano Miccoli, Luisa María Gil-Martín, Enrique Hernández-Montes

L'importanza del Palazzo di Ctesifonte nella storia dell'ingegneria strutturale

The importance of the Palace of Ctesiphon in the history of structural engineering

Sommario

Il palazzo di Ctesifonte, costruito nel VI secolo d.C., è il monumento esistente più significativo dell'Impero Sasanide ed è riconosciuto come uno dei più importanti reperti archeologici a livello mondiale. Tuttavia il ruolo fondamentale che ricopre nella storia dell'ingegneria strutturale non è mai stato oggetto di studio. Nel presente contributo viene presentata una ricerca che ha avuto lo scopo di colmare questa lacuna. La forma della volta che costituisce il volume principale dell'edificio è quella di una catenaria invertita, leggermente asimmetrica. Una descrizione dettagliata della costruzione dell'edificio trovata in un antico libro sulla storia dell'impero Sasanide, lo Shahnameh di Firdusi, pubblicato intorno al 1000 d.C., ha permesso di scoprire che il progettista dell'edificio, un architetto bizantino di nome Farghán, fosse consapevole che la forma ideale dell'arco sia quella della catenaria e che questa dipenda sia dai carichi applicati, sia dalla posizione degli appoggi. Questa scoperta anticipa il primo utilizzo della catenaria per scopi progettuali di circa un millennio rispetto a Robert Hooke. La costruzione di un modello a catene della volta ha permesso di verificare che la sua forma asimmetrica deriva, come descritto nello Shahnameh, da un cedimento differenziale del terreno, che Farghán ha assunto come punto di partenza per il progetto della forma della volta utilizzando un approccio progettuale sorprendentemente moderno.

Abstract

The palace of Ctesiphon, built in the 6th century AD, is the most significant existing monument of the Sasanian Empire and is recognized as one of the most important archaeological finds in the world. However, the fundamental role it plays in the history of structural engineering has never been investigated. This paper presents a piece of research that aimed to fill this gap. The shape of the vault of the building is that of an inverted, slightly asymmetrical catenary. A detailed description of the construction of the building found in an ancient book on the history of the Sasanian empire, the Shahnameh by Ferdowsi, published around 1000 AD, revealed that the designer of

the building, a Byzantine architect named Farghán, was aware that the ideal shape of the arch is that of the catenary and that this depends both on the applied loads and on the position of the supports. This discovery anticipates the first use of the catenary for design purposes by Robert Hooke by about a thousand years. The construction of a hanging chain model of the vault made it possible to verify that its asymmetrical shape derives, as described in the Shahnameh, from a differential settlement of the foundations, which Farghán took as the starting point for the design of the shape of the vault using a surprisingly modern design approach.

Introduzione

Il palazzo di Ctesifonte, o Taq-i Kisra, in Figura 1, è l'unico monumento ancora visibile dell'antica città di Ctesifonte, la capitale dell'impero sasanide (Sarre, 1999). Ci sono diversi motivi per cui il palazzo è sopravvissuto agli eventi storici che hanno portato alla quasi totale distruzione dei simboli dell'impero persiano, sia nei primi secoli dopo la conquista araba del VII secolo d.C. che in periodi più recenti, con le guerre degli ultimi decenni del XX secolo e primi del XXI secolo, e a causa della presenza dell'ISIS in Iraq tra il 2014 e il 2016. Ci sono anche diverse ragioni per spiegare le condizioni di manutenzione in cui versa attualmente e perché solo negli ultimi dieci anni la comunità internazionale ha iniziato a interessarsi al suo recupero e restauro. La sua posizione geografica vicino a un'ansa del fiume Tigri, circa 35 km a sud di Baghdad e a 200 km dai confini dell'Iran, ha avuto inoltre sicuramente un ruolo fondamentale nello scrivere il destino dell'edificio.

La storia del palazzo e la sua valenza politica

Non si conosce con esattezza quando il palazzo è stato costruito. Alcuni studiosi, come ad esempio Emil Herzfeld, sostengono che sia stato costruito durante il regno di Shapur I, basandosi su un confronto con la facciata del palazzo di Assur (Bruno, 1966). Altri attribuiscono la sua costruzione a Cosroe I (Bruno, 1966). Tuttavia, nella descrizione della costruzione dell'edificio fornita dal poeta Firdusi nel libro "Shahnameh", Il libro dei re, si dice che la costruzione è stata voluta da Cosroe II, re di Persia, tra la fine del VI e l'inizio del VII secolo (Firdusi, 1888). Poco dopo la sua costruzione, gli Arabi sconfissero i Persiani nella battaglia di al-Qāsidiyya e presero possesso del palazzo. Colpiti dalla sua magnificenza, decisero di non distruggerlo, ma di trasformarlo in moschea.

Il valore artistico e architettonico del palazzo ha quindi permesso che venisse risparmiato dalla distruzione. Le movimentate vicende politiche avvenute in seguito alla battaglia di al-Qāsidiyya, che hanno portato alla definitiva conquista dell'impero persiano da parte degli Arabi, all'avvento della dinastia Omayyade alla guida di quello che era diventato lo stato più esteso mai visto fino ad allora e, soprattutto, allo

Fig. 1 - Il palazzo di Ctesifonte oggi [1].

spostamento della capitale nella lontana Damasco, fecero sì che l’area di Ctesifonte perdesse via via importanza e che Taq-i Kisra venisse dimenticato.

Questo fino al 750 d.C., quando gli Omayyadi vennero sostituiti dagli Abbasidi, che fondarono la città di Baghdad vicino alle rovine di Ctesifonte e ne fecero la loro capitale. Questo fu il secondo momento in cui il palazzo fu a rischio di demolizione. Il califfo Mansur voleva infatti usare il materiale del palazzo per la costruzione della nuova città, ma fu convinto dal suo conigliere, Khalid della famiglia dei Bermecidi, a desistere dal suo intento in quanto il palazzo era diventato il simbolo della supremazia degli Arabi sui Persiani. Lo stesso pericolo si ripresentò nel X secolo, quando il califfo Alì Muktafi demolì parte dell’edificio per costruire il palazzo Taj a Baghdad (Le Stange, 1922: 37-39, 253-254).

In seguito l’impero vide susseguirsi numerose dinastie regnanti, la Persia venne conquistata prima dai Turchi e poi dai Mongoli, la capitale venne più volte spostata, e il palazzo di Ctesifonte venne abbandonato fino alle prime spedizioni europee del XVIII secolo, durante le quali tuttavia l’edificio non venne riconosciuto, ma si pensò che fosse un tempio del Sole o l’opera di un imperatore romano (Reuther, 1929). I primi a riconoscere Taq-i Kisra come il palazzo di Cosroe II furono l’artista francese Eugène Flandin e l’architetto Pascal Coste durante la loro spedizione archeologica nell’antica Persia, avvenuta intorno alla metà del XIX secolo (Flandin e Coste, 1851: 501-509). Le prime fotografie dell’edificio furono scattate da Marcel August Dieulafoy e da sua moglie Jane Magre durante il loro viaggio in Persia negli anni ottanta del XIX secolo (Dieulafoy, 1885: tavole 3-6), prima dell’alluvione che causò il crollo dell’ala nord dell’edificio nel 1888 (Keall, 1987).

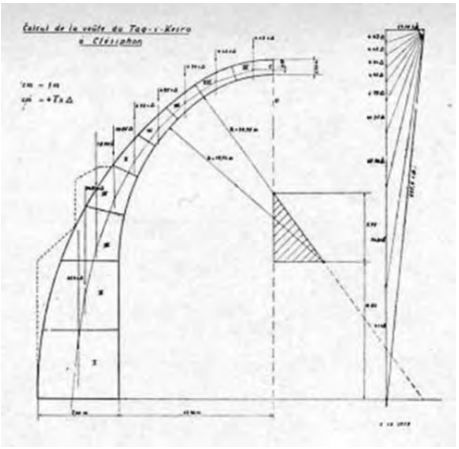


Fig. 2 – Analisi dell'arco di Ctesifonte con i metodi della statica grafica (Lacoste, 1954).

Nel corso del XX secolo furono organizzate diverse spedizioni archeologiche che interessarono il palazzo di Ctesifonte. Le tre spedizioni tedesche del 1908-09, del 1928-29 e del 1931-32, quest'ultima in collaborazione con il Metropolitan Museum di New York, ebbero come obiettivo principale lo scavo e la raccolta di reperti da esporre al museo di Berlino. Tuttavia, già nella prima spedizione gli archeologi Ernst Emil Herzfeld e Friedrich Sarre fecero un rilievo dell'edificio e produssero le piante, che vennero confermate durante la seconda spedizione (Reuthers, 1929). Lo scopo delle missioni cambiò nella seconda metà del XX secolo, quando l'interesse degli archeologi si spostò verso il palazzo, la sua valorizzazione e, quindi il suo restauro. Nei primi anni cinquanta J. F. Van der Haeghen, professore di stabilità delle strutture all'università di Lovanio, fece la prima analisi della stabilità dell'edificio con i metodi della statica grafica, basandosi sui disegni e le fotografie delle spedizioni descritte precedentemente (Lacoste, 1954). Van der Haeghen dimostrò che il poligono funicolare risulta interamente contenuto all'interno dello spessore dell'arco, che risulta quindi stabile, si veda Figura 2.

Concluse infine che le ragioni dei crolli e dei danneggiamenti erano da ricercare nella dilatazione termica della volta e delle pareti di sostegno, che ha generato degli sforzi interni che hanno portato al collasso.

Basandosi sui risultati dell'analisi del prof. Van der Haeghen, il prof. M. H. Lacoste, presidente dell'Accademia Reale di Architettura di Bruxelles, suggerì quali indagini fossero necessarie per intervenire in maniera opportuna sull'edificio: un rilievo per conoscere la caratteristiche meccaniche dei mattoni e della malta, un drenaggio del terreno per studiare le fondazioni e individuare i danni causati dalle infiltrazioni di acqua, un rilievo in-situ delle fessure per confermare l'ipotesi sulla loro natura, e lo studio di possibili interventi di protezione idrica e termica della volta (Lacoste, 1954).

Lo scopo della spedizione italiana, che ebbe luogo tra il 1964 e il 1966, fu appunto quello di raccogliere tutte le informazioni necessarie per procedere al restauro dell'edificio (Bruno, 1966). Tuttavia, il progetto di restauro presentato dall'architetto Andrea Bruno alla Direzione Generale delle Antichità irachena non riguardava la volta, e in ogni caso non venne mai realizzato [2].

Le delicate situazioni politiche che hanno caratterizzato la storia dell'Iraq e dell'Iran a partire dagli anni Settanta del Novecento hanno avuto conseguenze sia sulla

Fig. 3 – Teheran: museo nazionale (a sinistra) (foto di O. Zvacek) *e Torre Azadi (a destra)* (foto di B. Fröberg).

manutenzione dell’edificio che sulla sua percezione. In Iraq, il colpo di stato del 1958 che pose fine alla monarchia di re Faysal, aveva già dato inizio a una situazione altamente instabile che ha visto succedersi diversi governi, alcuni nazionalisti, altri filosovietici, altri ancora di ispirazione panaraba, fino alla presa del poter da parte di Saddam Hussein. La costante di tutti questi governi fu l’avversità verso il controllo britannico, motivo per cui le spedizioni europee dovettero essere interrotte. Allo stesso tempo però in Iran, sia durante il governo degli scià della dinastia Pahlavi, che dopo la rivoluzione islamica del 1978, il palazzo di Ctesifonte cominciò a essere percepito come simbolo del popolo persiano e del suo antico splendore. Secondo Qais Hussain Rasheed, direttore del Consiglio di Stato iracheno delle antichità, intervistato da Pejaman Akbarzadeh per il documentario “*Taq Kasra. Wonder of architecture*” (Akbarzadeh, 2017), *Taq-i Kisra* sopravvisse alla guerra tra Iran e Iraq solo perché Saddam Hussein lo trasformò in un luogo di commemorazione della battaglia di al-Qādisiyya.

Un simbolo che, tuttavia, si trovava all’interno di una nazione, l’Iraq, con la quale la rivalità si stava sempre più accentuando. L’importanza del palazzo di Ctesifonte come simbolo persiano caro agli iraniani si può notare in maniera evidente nell’edificio del museo nazionale di Teheran, in Figura 3 a sinistra, progettato dall’architetto francese André Godard e inaugurato nel 1932, che ne riprende sia la forma, con la grande volta centrale, sia il materiale, sia i mattoni. *Taq-i Kisra* era dunque un simbolo molto sentito dal popolo persiano, ma si trovava geograficamente all’interno dei confini di una nazione nemica. Un altro edificio in cui è evidente il richiamo all’arco di Taq-i Kisra è la torre Azadi a Teheran, dell’architetto iraniano Hossein Amanat, in Figura 3 a destra.

La guerra tra Iran e Iraq e le due guerre del Golfo resero di fatto inaccessibile l’area archeologica del palazzo di Ctesifonte per oltre un trentennio. A seguito del ritiro delle truppe straniere dall’Iraq nel 2011, fu di nuovo possibile occuparsi del-

la manutenzione dell'edificio. Il Ministero della Cultura iracheno incaricò quindi la compagnia Ceca Projecty Zeman di condurre delle indagini investigative sullo stato dell'edificio e di proporre delle strategie per il suo restauro. Le indagini conclusero che la principale causa dei danni della volta erano le infiltrazioni di pioggia che determinavano la propagazione delle fessure, quindi venne proposto di intervenire attraverso la messa in opera di uno strato protettivo in calcestruzzo, che venne completato nel 2017 (Makoond, 2015). Sfortunatamente l'intervento non ebbe gli effetti sperati e ci furono nuovi danneggiamenti a marzo del 2019 [3]. A gennaio del 2021 la compagnia Aliph, l'alleanza internazionale per la tutela del patrimonio nelle zone di guerra, ha stanziato un fondo da 700'000 dollari per mettere in atto degli interventi di stabilizzazione dell'edificio. Un team composto dall'Università della Pennsylvania e dal Consiglio di Stato delle Antichità iracheno è attualmente al lavoro (Gronlund, 2021).

Il valore simbolico dell'edificio ha fatto sì che, nel corso dei secoli, l'importanza dell'edificio dal punto di vista storico, artistico, archeologico e architettonico, venisse ampiamente approfondita. Esiste tuttavia un'altra caratteristica che rende unico questo manufatto e che non è stata riconosciuta, o per lo meno valorizzata, se non in tempi estremamente recenti: la sua struttura e il modo in cui è stata progettata. La forma della volta è infatti quella di una catenaria invertita, che oggi sappiamo essere la forma ideale di un arco compresso soggetto al proprio peso. Tuttavia, nella storia dell'ingegneria strutturale, la scoperta del legame tra la forma di una catena appesa e quella di un arco compresso è attribuita a Robert Hooke, che l'ha pubblicata solo nel 1676 (Hooke, 1676). L'arco di Taq-i Kisra anticipa quindi di oltre mille anni la scoperta di Hooke.

L'arco a catenaria

Nell'intervista rilasciata a Pejman Akbarzadeh (Akbarzadeh, 2017), l'architetto della torre Azadi, Hossein Amanat, mostra come la forma della volta di Taq-i Kisra sia quella di una catena appesa, affermando che i Sasanidi fossero a conoscenza del fatto che la catenaria sia la forma migliore per un arco. Non esiste tuttavia nessuna evidenza storica di questa conoscenza. Nel periodo in cui fu costruito il palazzo di Ctesifonte, la geometria della parabola era nota, grazie soprattutto agli studi di Archimede riportati nel suo trattato "La quadratura della parabola". La descrizione matematica della catenaria risale invece al 1691, con le opere di Johan Bernoulli (Bernoulli 1691) e Christian Huygens (Huygens, 1691). E il legame tra la forma di un cavo sospeso in due punti e quella di un arco compresso fu resa esplicita solo da Robert Hooke e pubblicata nel 1676 (Hooke, 1676), quindi più di mille anni dopo la costruzione del palazzo di Ctesifonte. E ancora più recente è il primo utilizzo di modelli a catena per scopi progettuali. La forma catenaria della volta del palazzo di Ctesifonte è tuttavia evidente, e il miglior modo di analizzarla a posteriori è attraverso i metodi della statica grafica, che permettono di verificare la stabilità dell'arco confrontando la sua for-

ma con quella del poligono funicolare dei carichi. L'analisi dell'ing. Van der Haeghen presentata nel paragrafo precedente è appunto un'analisi grafica. In tempi più recenti lo stesso tipo di analisi è stata effettuata anche dagli studiosi del MIT J.F.D. Dahmen e J.A. Ochsendorf, per valutare l'entità delle sollecitazioni di compressione e la stabilità della volta (Dahmen e Ochsendorf, 2012: 427-460).

Tuttavia, i primi studiosi che si sono chiesti se la forma dell'arco fosse stata progettata coscientemente, anticipando in questo modo di oltre un millennio la conoscenza della catenaria, sono stati due degli autori di questo articolo, Enrique Hernández Montes e Luisa María Gil Martín, i quali hanno dimostrato che la forma della volta è quella di una multi-catenaria, che hanno descritto matematicamente (Hernandez Montes et al., 2017) e che, dato che la forma della volta non è simmetrica rispetto all'asse verticale passante per il punto medio tra i supporti, hanno ipotizzato che la forma derivasse da un cedimento differenziale delle fondazioni. Quest'ipotesi è stata recentemente verificata (Miccoli et al., 2021) grazie alla descrizione della costruzione dell'edificio trovata nel poema del poeta persiano Firdusi "Shahnameh" (Il libro dei re), pubblicato intorno al 1000 d.C. (Firdusi, 1888: 296-303). Nella descrizione è specificato che il progettista dell'edificio, un architetto bizantino di nome Farghán, aspettò quattro anni dopo la costruzione dei muri di sostegno prima di costruire la volta, perché sapeva che un loro cedimento avrebbe causato il crollo di quest'ultima, dimostrando di essere consapevole del legame tra forma, carichi e posizione degli appoggi.

Nel prossimo paragrafo si riportano i passaggi salienti della descrizione della costruzione dell'edificio nello Shahnameh di Firdusi.

Descrizione della costruzione dell'edificio

Lo Shahnameh, letteralmente "Il libro dei re", racconta 2000 anni di storia della Persia, fino alla conquista degli Arabi nel 651 d.C. Il libro può essere diviso in due parti, una leggendaria e una storica. Quella storica inizia con le imprese di Alessandro Magno e termina con la sconfitta dell'impero sasanide. Nel capitolo dedicato a Cosroe II (570-628 dC) è presente una descrizione della costruzione della volta del palazzo di Ctesifonte. Di seguito si riportano i passaggi salienti.

Il re Cosroe II mandò i suoi uomini in tutto il mondo per cercare il miglior progettista per costruire un palazzo per se stesso, i suoi figli, e tutte le generazioni future. Il re scelse un greco bizantino che "aveva pochi eguali nel mondo".

… Principe Khusrèv sue genti in Grecia
Mandava in India e in Cina ancora e in ogni
Terra abitata, onde veniano a lui
Di là tremila artefici, chiunque
Inclito fosse nella terra sua
Per arte industre.
… fu scelto un greco (in terra

Pochi gli erano eguali)
… Di pregi ricco, geometra illustre
Era quel Greco e in eloquenza assai
Ogn'uom di Persia superava. A lui
L'iranio prenci così disse allora:
Togli da me cotesta impresa e in mente
Ciò che ti dirò ti serba. Un loco eletto
Vogl'io da te dove i miei figli e tutta
La casa mia, fino a trent'anni ancora
Stiano abitando, né in rovina mai
Caggia quel loco per alterne piogge
O per neve o per sole che d'alto splenda.
Dell'ostello del re l'inclito incarco
Il geometra allor si tolse e, questa
Disse, mi prendo gloriosa impresa.

Dopo aver terminato la costruzione delle pareti, l'architetto chiese al re di misurarle con una corda di seta e di conservarla nella tesoreria reale.

Dell'inclito palagio allor che ritte
Furon le mura, innanzi al re del mondo
L'artefice ne venne …
… L'uom ch'ei richiese, il nobile sovrano
Ratto assegnògli, e venner essi l'alto
E ritto muro a osservar. Ma intanto
Un fil di seta il geometra innazi
Recava onde la gente ivi raccolta
Sì l'attorcesse come pur si attorce
Uno spago sottil, poscia da l'alto
Dell'ostello regal l'inclite mura
Fino al suol misurava, alla sua base.
Poi che il filo sì attorto ebbe l'altezza
Misurata alle mura, innanzi a tutta
L'accolta gente, egli il recò al tesoro
Di quel re d'ogni prence e col suggello
Che il tesorier v'appose, a lui fidollo.

Sapendo che era necessario attendere l'assestamento delle pareti prima della costruzione della volta, e dato che il re insisteva affinché lui portasse a termine l'opera, Farghán decise di fuggire.

… E allora
Che principe Khusrèv cenno mi fesse
L'opra mia di affrettar, nell'opra mia
Già non andrei sollecito.

… Oh! Ma non vuolsi
Che impazïenza tu dimostri in questa
Opera tua regal, crescermi ancora
L’aspra fatica mia non ti si addice.
… Ma sapea colui,
Artefice veridico ed esperto,
Che biasmo gli farìa l’uom sapïente
Ratto che in elevar l’alto edificio
Affrettato ei si fosse, onde perduto
Di lui sarìa l’onor col pane ancora.
Venne la notte e l’artefice sparve,
E fu allor che nessun d’allora in poi
Il rivedea.

Per tre anni il re cercò, senza successo, qualcuno che portasse a termine il palazzo. Ma al quarto anno Farghán tornò e mostrò al re il motivo per cui era fuggito. Misurò nuovamente i muri con la corda di seta, rilevando un cedimento pari a 7 cubiti, circa 3,1 m, e spiegò al re che se avesse portato a termine l’opera, la volta sarebbe crollata e lui stesso sarebbe stato giustiziato.

… Ancora
Per anni tre cercavasi un maestro
Ma niun scoverse artefice che pari,
Come quei, non s’avesse. Oh, molte volte
Di quell’industre fecesi ricordo
Fin che al quart’anno ei si mostrò!
… E il Greco
Rispose allor: se il prence mio mi manda
Con un suo fido, per quell’opra mia
Le scuse gli farò, per quelle scuse
Si parrà manifesto il mio perdono.
… Ecco! Recava
La sua corda sottil di Grecia il savio,
Gente pur anco si adducea con seco,
Indi, poi che dell’opra ebbe con cura
Larghezza e ampiezza misurate, in meno
Sette cubito egli ebbe, alla sua corda
Ben computati.
… Le cose tutte al re dicea. Se mai
Il Greco disse, a continuar l’ardita
Opera posto qui mi fossi, o prence,
Non muro in piè, non arcuata volta
Saria rimasta, non indizio alcuno
D’essa più mai, ned io rimasto ancora
Su le porte sarei del prence iranio.

Farghán completò l'edificio nei sette anni seguenti, adattando la forma della volta alla nuova posizione dei muri. La descrizione della costruzione dell'edificio trovata nel libro di Firdusi ha permesso di verificare l'ipotesi che la forma asimmetrica della volta derivi da un cedimento differenziale dei muri. Ma soprattutto ha mostrato che Farghán ha affrontato la progettazione con un approccio sorprendentemente moderno. Le forme funicolari sono strutturalmente molto più efficienti rispetto, ad esempio, a quelle semi-circolari con cui erano costruiti molti archi nel periodo di Cosroe II. Tuttavia, a differenza delle forme semi-circolari, è necessario determinarle prima della costruzione in quanto dipendono dai carichi e dalla posizione degli appoggi. Senza le conoscenze e gli strumenti offerti dalla statica grafica, l'unico modo per Farghán di ottenere la forma della volta era quello di ricorrere a un modello a catene. I primi esempi documentati di modelli a catene per l'analisi e la progettazione strutturale sono la ristrutturazione della cattedrale di San Paolo a Londra da parte di Cristoph Wren e Robert Hooke nel 1690 (Heyman, 1998) e l'analisi della cupola di San Pietro a Roma da parte del matematico Giovanni Poleni nel 1748 (Poleni, 1748). Taq-i Kisra merita dunque un posto nella storia dell'ingegneria strutturale in quanto anticipa di oltre un millennio l'utilizzo dei modelli a catena per la progettazione.

Nel prossimo paragrafo vengono ripercorsi i passi usati da Farghán per progettare la forma della volta del palazzo di Ctesifonte, attraverso la realizzazione di un modello a catene, per dimostrare che la forma della volta corrisponde al poligono funicolare dei carichi agenti, considerando un cedimento differenziale di 3.1 m come descritto nello Shahnameh.

Analisi della forma dell'arco

La Figura 4 mostra la geometria dell'arco di Taq-i Kisra risultante dal rilievo effettuato dalla compagnia ceca Projecty Zeman nel 2013. La densità media della muratura rilevata dalla stessa compagnia è pari a 1298 kg m^{-3} (Makoond, 2015). Come si può osservare nell'immagine e come anticipato più sopra, l'arco non è simmetrico rispetto all'asse verticale passante per il punto medio tra gli appoggi.

La sezione trasversale può essere divisa in due parti: la zona delle pareti, fino a un'altezza pari a 19,3 m, nella quale gli strati di mattoni sono disposti orizzontalmente, e la zona ad arco, dove sono disposti perpendicolarmente al flusso del carico. Lo spessore medio nella zona ad arco è pari a 1,78 m.

Per ripercorrere le fasi progettuali che hanno presumibilmente portato Farghán alla determinazione della forma della volta, si è costruito un modello a catene e carichi concentrati. Nella prima fase, in Figura 5a, il modello è costituito da un'unica catena soggetta solo al peso proprio, passante per i punti medi delle basi dei muri, A e B, e per il punto di colmo dell'asse dell'arco, O. La densità della catena utilizzata è pari a 0,6571 g cm^{-1}. Come si può vedere nell'immagine la forma assunta dalla catena è molto lontana da quella dell'arco reale.

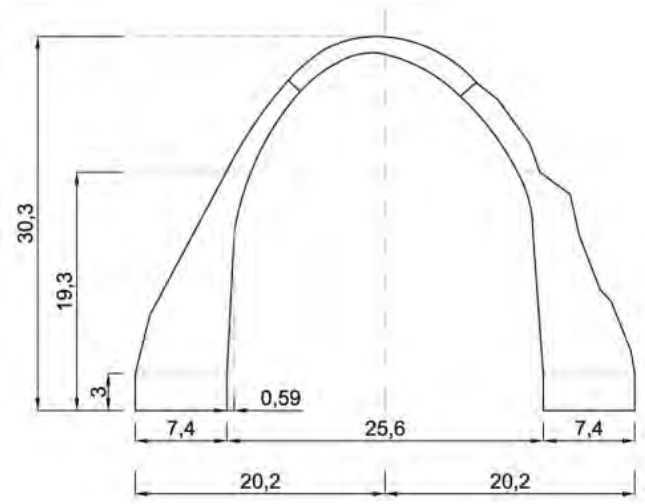


Fig. 4 – Sezione trasversale dell’arco di Taq-i Kisra (adattata da Makoond, 2015).

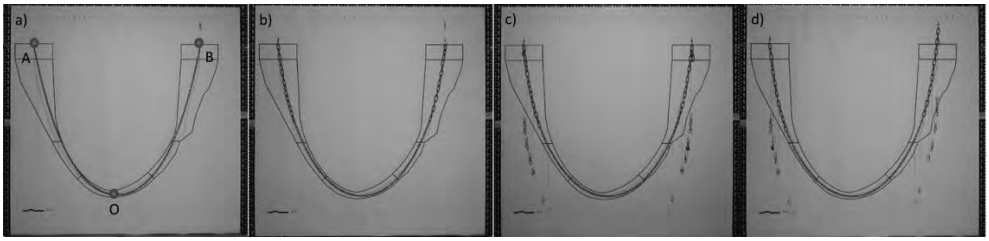


Fig. 5 – Modello a catene e carichi concentrati (Foto di Stefano Miccoli).

Nella seconda fase, in Figura 5b, vengono utilizzate due catene con pesi specifici diversi: la stessa della prima fase per la zona dell’arco e una più pesante per la zona dei muri. La densità della seconda catena è pari a 1,5798 g cm^{-1}. Dato che il fattore di scala è pari a:

$$\frac{1298 \cdot 1{,}78 \cdot 1}{0{,}06571} = 35161{,}16$$

la seconda catena corrisponde a uno spessore pari a:

$$\frac{0{,}15798 \cdot 35161{,}16}{1298} = 4{,}28 \text{ m}$$

e può quindi essere usata per modellare i muri fino a un’altezza di 16 m.

Nella Figura 5b si può vedere che la forma del modello con due catene approssima molto meglio la forma dell'arco rispetto al modello con una catena. Per aumentare ulteriormente l'ampiezza dell'arco sono stati aggiunti dei carichi concentrati sotto forma di pesi appesi alle catene, Figura 5c.

Per valutare l'intensità dei carichi concentrati, la sezione trasversale dell'arco è stata divisa in 11 strisce, che definiscono 11 conci di arco, come mostrato in Figura 6. È stata quindi calcolata l'area di ogni concio, dalla quale è stata sottratta la quota già coperta dalle catene, ottenendo in questo modo i sei carichi concentrati riportati in Tabella 1.

Nell'ultimo passaggio l'appoggio di destra viene sollevato di 3,1 m per modellare il cedimento differenziale menzionato nello Shahnameh. Come si può vedere in Figura 5d, in questa situazione il modello a catene è quasi sovrapposto all'asse dell'arco reale. È quindi possibile concludere che è credibile che Farghán abbia usato dei modelli a catene per ottenere la forma della volta e che quindi fosse a conoscenza del legame tra la forma naturale di un arco, i carichi applicati e la posizione degli appoggi. E non solo ne era a conoscenza, ma era in grado di sfruttare questa conoscenza per modificare la forma dell'arco agendo sul valore dei carichi e la posizione degli appoggi.

In uno studio recente pubblicato dagli Autori, gli stessi passaggi di progettazione sono stati ripetuti con i metodi della statica grafica e attraverso un programma di ottimizzazione sviluppato in Matlab, basato sulla formulazione matriciale del metodo di Cremona-Maxwell, ottenendo gli stessi risultati dell'analisi con il modello a catene (Miccoli et al., 2021).

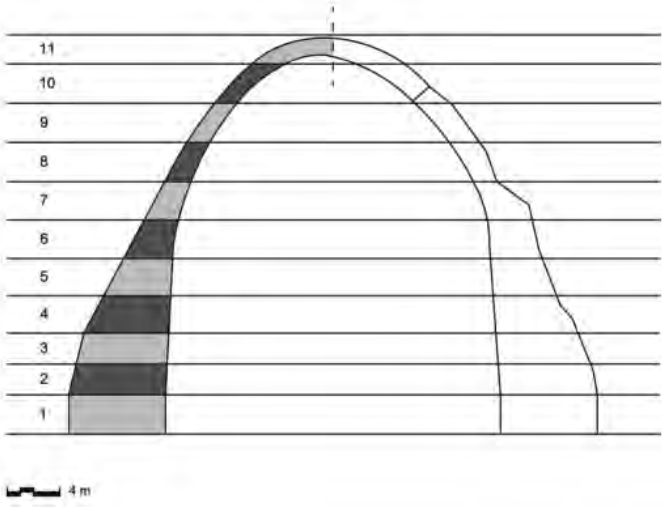


Fig. 6 – Suddivisione della sezione trasversale dell'arco in 11 strisce (disegno di S. Miccoli).

Tab. 1 – Carichi aggiuntivi per il modello a catene.

Striscia	*A tot* (m^2)	*A catene* (m^2)	*Δ aree* (m^2)	*Massa agg.* (*kg*)	*Carico agg.* (*kN*)
1	22,200	13,125	9,075	11779	115,5
2	16,901	10,346	6,555	8508	83,4
3	15,821	10,384	5,437	7057	69,2
4	16,847	12,650	4,197	5448	53,4
5	12,621	12,758	0	0	0
6	9,099	5,517	3,582	4649	45,6
7	6,656	5,636	1,022	1327	13,0

Conclusioni

L’importanza del palazzo di Ctesifonte dal punto di vista storico, artistico, archeologico e architettonico è evidente e sono molte le ragioni per cui merita di essere preservato e valorizzato. In questa memoria sono stati presentati i risultati di una ricerca che ha dimostrato che questo palazzo merita di essere ricordato anche nell’ambito della storia dell’ingegneria strutturale, in quanto è stato progettato in modo sorprendentemente moderno. La forma della volta che costituisce il volume principale dell’edificio è una multi-catenaria leggermente asimmetrica. La descrizione della costruzione dell’edificio trovata nello Shahnameh di Firdusi ha permesso di verificare l’ipotesi che la forma asimmetrica derivi da un cedimento differenziale delle fondazioni. Il progettista, l’architetto bizantino Farghán, era a conoscenza del legame tra forma, forze e posizione degli appoggi, e ha probabilmente usato dei modelli a catene per determinare la forma della volta, anticipando di oltre un millennio sia la conoscenza della catenaria che i primi utilizzi documentati di questi tipi di modelli.

Bibliografia

Akbarzadeh P. 2017. *Taq Kasra. Wonder of Architecture*. Persian Dutch Network (DVD)

Bernoulli J. 1691. Solutio problematis funicularii. Acta eruditorum, 10, 274-276

Bruno A. 1966. The preservation and restoration of Taq-I Kisra. Mesopotamia, 1, 89-108

Dahmen J.F.D., Ochsendorf J.A. 2012. Earth masonry structures: arches vaults and domes. In: *Modern earth buildings. Materials, engineering, constructions and applications* (M.R. Hall, R. Lindsay e M. Krayenhoff Eds.). Amsterdam: Elsevier.

Dieulafoy M. 1885. *L’art antique de la Perse, cinquiéme partie, Monuments Parthes at Sassanides*, Parigi: Librairie des Imprimeries Réunies.

Firdusi A. Q. 1888. *Il libro dei re (Shahnameh)* (trad. I. Pizzi), VIII .Torino: Vincenzo Bona.

Flandin E., Coste P. 1851. *Voyage en Perse*. II. Parigi: Gide at J. Baudry, Libraires Éditeurs.

Gronlund M. 2021. Arch of Ctesiphon: clock is ticking to preserve 1,700-year-old ancient arch in Iraq. National News, 14 febbraio 2021.

Hernández-Montes E., Fernández-Ruiz M. A., Ascheim M., Gil-Martín L.M. 2017. Structural knowledge within the 6th century AD arch of Taq-iKisra. International Journal of Architectural Heritage, 11, 891-900.
Heyman J. 1998. Hooke's cubo-parabolical conoid. Notes and Records, 52, 39-50.
Hooke R. 1676. *A description of helioscopes and some other instruments*. Londra: John Martin.
Huygens C 1691. Christianii Hugenii, dynastae in Zülechem, solutio ejusdem problematis. Acta Eruditorum, 10, 281-282.
Keall E. J. 1987. Ayvan-e-Kesra. Encyclopedia Iranica. 3, 155-159.
Lacoste M. H. 1954. L'arc de Ctesiphon ou Taq-I-Kesra. Sumer. 10, 1, 3-22.
Le Stange G. 1922. *Baghdad during the Abbasid Caliphate: from contemporary Arabic and Persian sources*. 2° edizione. Oxford: Clarendon Press.
Makoond C.N. 2015. *Advanced computational modelling of Taq-Kisra*, Tesi di Master, Università Tecnica Ceca di Praga.
Miccoli S., Gil-Martín L.M., Hernández-Montes 2021. New historical records about the construction of the arch of Ctesiphon and their impact on the history of structural engineering. Notes and Records. doi:10.1098/rsnr.2021.0025
Poleni G. 1748. *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano*. Padova: Stamperia del Seminario.
Reuther O 1929. The German excavations at Ctesiphon. Antiquity, 3, 434-451.
Sarre C. 1999. *The seventy wonders of the ancient world: the great monuments and how they were built*. Londra, New York: Thames & Hudson.

Sitografia

[1] Madain Project
https://madainproject.com/taq_kasra
[2] Istituti italo-iracheni a Baghdad
https://www.centroscavitorino.it/tutela-e-valorizzazione/istituti-italo-iraqeni-a-baghdad/
[3] Persian Dutch Network, Taq Kasra partially collapses (video online)
https://www.youtube.com/watch?v=looWYwkoYoE

Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari

Il "podio" e gli elefanti nel simbolismo quattrocentesco della corte Riminese di Sigismundus Imperator

The "podium" and the elephants in the fifteenth-century symbolism of the Rimini court of Sigismundus Imperator

Sommario

L'importanza del basamento o zoccolo nella Storia dell'Ingegneria viene fissata con le parole dell'Alberti che lo chiama "podio", cioè il palco dal quale parlano gli oratori. In questa memoria si tenta per la prima volta un parallelo fra il podio del tempio Malatestiano di Rimini e quello del tempio dedicato a Zeus Anxur di Monte Sant'Angelo a Terracina, mettendo in evidenza come questo elemento di continuità fra le varie parti dell'edificio ne garantisca l'integrità strutturale e la maestosità. Ricercando poi elementi comuni fra il podio esterno e quello interno nel tempio di Rimini, ci si imbatte nell'esasperato, quasi ossessionante, simbolismo rinascimentale. Gli stemmi di famiglia, la figura dell'elefante, la viola a quattro petali e le lettere SI indicano le aspirazioni politiche di Sigismondo Malatesti (1417-1468), aspirazioni che si cerca di comprendere ripercorrendo quel periodo storico. Si conclude argomentando come spesso, nel tempo, si perda il senso del simbolismo originale rendendo a volte non più leggibile l'opera d'arte.

Abstract

The importance of the base or plinth in the history of engineering is fixed in the words of Alberti who calls it "podium", that is, the stage from which the speakers speak. In this memory a parallel is attempted for the first time between the podium of the Malatesti temple in Rimini and that of the temple dedicated to Zeus Anxur of Monte Sant'Angelo in Terracina, highlighting how this element of continuity between the various parts of the building guarantees its structural integrity and majesty. Then looking for common elements between the external and internal podiums in the Rimini temple, we come across the exasperated, almost haunting, Renaissance symbolism. The family crests, the figure of the elephant, the four-petal viola and the letters SI indicate the political aspirations of Sigismondo Malatesti (1417-1468), aspirations that we try to understand by retracing that historical period. It concludes by arguing how often, over time, the sense of the original symbolism is lost, making the work of art no longer legible.

Il basamento e la sua costruzione

Il basamento o zoccolo, è un elemento di vitale importanza per gli edifici e in particolare per i templi. Su esso si appoggiano tutti i muri, quindi non deve avere cedimenti, deve resistere ai carichi nel tempo, deve evitare la risalita dell'umidità dal suolo al muro, deve evitare che lo stillicidio dell'acqua piovana ne alteri le caratteristiche di resistenza ai carichi e deve garantire una buona resistenza alla base del muro in caso di terremoti per le maggiori azioni verticali e orizzontali. Per tutti questi motivi lo si costruisce in pietra dura.

Nel terzo libro del *De Re Aedificatoria*, al cap. VI, Alberti innalza lo zoccolo alla dignità di essere "podio", cioè palco dal quale parlano gli oratori e siedono le autorità, quindi elemento fondante di tutto l'edificio e della fortuna del proprietario. Si legge: «In pariete primariae insunt partes: ima, quae ilico supra fundamenti infacturam surgit (hanc, si ita licet, appellabimus podium suggestumve); media, quae parietem circumdabit atque amplectitur (hanc procinctum dicunt); suprema, hoc est pars ea, quae ultimum parietis illaquementum habeat (hanc demum coronam nuncupant). … Ipsum idem licet videre ex murorum partibus his, quae imae propter solum extent; nam alteris humorum et pulveris contaminationibus commacerantur atque abroduntur. Qua de re ipse sic statuo, totius aedificii podium duro et firmissimo et praegrandi lapidem astruendum, quo crebis contrariorum offensionibus tutissimum perseveret. Et durissimi quales sint lapides, sat libro secondo recensuimus» (Alberti, 1966). Nel secondo libro, Alberti, auspicando che l'edificio possa raggiungere l'eternità, in accordo con il committente dell'opera, elenca le pietre adatte per il podio. Dopo averne scartate alcune per varie debolezze, come l'essere frantumate dal gelo, dalla brina o dalla pioggia, oppure il venire deteriorate dall'aria marina, evidenzia le caratteristiche della pietra d'Istria, che poi sceglierà per il tempio Malatestiano di Rimini malgrado sappia che resiste poco al fuoco, ma aggiunge che questo tipo di fragilità è comune a tutte le pietre dure: «Habet Hístria lapidem marmori non dissimilem. Sed is vapore et flammis pertactus illico finditur et dissilit; quam ipsam rem evenire asseverant cuique lapidí, qui fortis sit, praesertim albo silici et item nigro, ut ignes nequicquam perferat».

Il basamento-podio e la statica dell'edificio

Alberti dà una grande importanza al podio nell'architettura Malatestiana. Un parallelo, mai finora tentato, mette in evidenza le corrispondenze fra il podio del tempio Malatestiano e il tempio dedicato a Zeus Anxur a Monte Sant'Angelo a Terracina[1], in Figura 1. Il significato di questo legame garantisce maestosità al podio, che costituisce la base e l'elemento di continuità fra le varie parti dell'edificio.

A Terracina, nella straordinaria magnificenza del tempio, la sequenza delle arcate viene fissata da una cornice sulla imposta dell'arco. A Rimini, come mostrato in Figura 2, Alberti, oltre a questa cornice, inserisce a delimitare lo zoccolo una fascia a bassorilievo che fa risaltare lo sviluppo verticale, quasi immergendo le tombe delle persone

Fig. 1 – Terracina: il complesso del tempio dedicato a Zeus Anxur a Monte Sant’Angelo (Humar 2018).

Fig. 2 – Il lato ad Est del Tempio Malatestiano di Rimini (a sinistra) e la fascia sul podio con l’hesperis matronalis (a destra) (foto degli Autori).

illustri della corte e non solo di essa, che proprio qui sono poste, in un prato fiorito di hesperis matronalis per accompagnare, anche nell’aldilà, il loro signore, Figura 2.

Va notato come Alberti riprenda dal tempio di Giove Anxur anche la soluzione del problema dello scarico delle forze laterali nell’angolo: infatti, il pilastro di sostegno dell’arco non è posizionato sull’angolo, ma viene arretrato. Sulla facciata la cosa è ancora più evidente perché la semi-colonna viene spostata lasciando l’angolo libero, come le Figure 3 e 4 mostrano.

Fig. 3 – Particolare dell'angolo nel tempio di Rimini (a sinistra) (foto degli Autori) *e in quello di Terracina (a destra)* (Humar 2018).

Fig. 4 – Tempio Malatestiano di Rimini: il podio che lo circonda e la cornice all'imposta degli archi [1].

Il podio per la celebrazione politica del principe e il contesto storico

Oltre al podio sui fianchi del tempio, ripreso dal tempio di Giove, nella facciata, Alberti, come già notato, si ispira alla forma dell’Arco di Augusto presente a Rimini. I dettagli di questo arco trionfale vengono fusi con lo schema a tre fornici dell’arco di Costantino a Roma, del quale riprende anche il piano attico, come si può vedere in Figura 5 e come riportato nei disegni di corredo al manoscritto del poema *Hesperis* di Basinio da Parma commissionato da Sigismondo Malatesti per celebrare le sue imprese di guerra, le sue conquiste, la sua arditezza.

Anche se il progetto originario non sarà completamente realizzato per le alterne vicende politiche che videro Sigismondo soccombere al potere della Curia romana, l’immagine del tempio in costruzione fornita da Basinio è molto eloquente: le tre porte come tre fornici sono sormontate da elementi di trabeazione sporgenti simili al piano attico dell’arco trionfale, che rigira anche sul fianco nella facciata, il quale nell’edificio realizzato viene schiacciato e quindi l’iscrizione risulta meno leggibile, perché ridimensionata nella costruzione. Anche la medaglia celebrativa coniata da Matteo de Pasti, in Figura 6, riporta ben evidente il piano attico, tipico degli archi citati, come nel disegno dell’*Hesperis* che riporta il progetto originale e non quanto sembra già edificato in cantiere, come si può provare dalla data di stesura del poema, confrontata con quella di inizio del cantiere stesso. Nella medaglia la struttura è sormontata inoltre da una grande cupola semisferica, che richiama, come Alberti scrive al Pasti nel 1454, quella del Pantheon, monumento pagano sopravvissuto alla distruzione seguita alla caduta dell’Impero Romano d’Occidente.

Queste idee così manifestamente visibili nella architettura del tempio vanno strettamente legate all’obiettivo di Sigismondo che era quello di diventare imperatore romano togliendo al papa il potere temporale.

In questo contesto, si possono considerare tre fasi distinte nell’idea del Malatesti: dapprima, con papa Niccolò V e Costantinopoli non ancora caduta, pensa di ottenere

Fig. 5 – L’arco romano di Rimini (a sinistra) (foto degli Autori) *e quello di Costantino a Roma (a destra)* [2].

Fig. 6 – Il progetto di Alberti nel disegno dell'Hesperis di Basinio da Parma (a sinistra) [3]*; la Medaglia di Pasti con la cupola semisferica, risalente al 1450 circa (a destra)* (Farina, 2015).

il potere temporale che la Curia romana si era accaparrata negli anni. Constatato poi quanto quest'ultima volesse mantenerlo, per garantirsi le tante ricchezze ad esso legate, pensa di conquistarlo per vie "legali", le stesse che la Curia romana aveva falsamente costruito con la cosiddetta donazione di Costantino. Infine, tenta di ottenere il titolo di imperatore romano imparentandosi con i Paleologi e poi cercando di intessere trattative anche con Maometto II, considerato imperatore romano anche se usurpatore, al quale tenta di inviare le conoscenze del tempo sulle armi, condensate da Valturio nel suo trattato *De Re Militari* (Valturio, 1472). Quel tempo è teatro di grandi cambiamenti, soprattutto per la Chiesa di Roma, essendosi succeduti in pochi anni ben tre papi, Niccolò V, Callisto III e Pio II[2] con indirizzi completamente diversi per quanto riguarda i rapporti fra potere temporale e potere spirituale.

Il particolare rapporto che papa Nicolò V ha con Sigismondo supera la sua investitura a difensore del potere temporale papale, come è evidente dopo che Sigismondo nel mese di agosto del 1450 si reca a Fabriano, dove dal 18 giugno si era stabilito il Papa, che aveva lasciato Roma per un'epidemia di peste. In quell'occasione il Papa ricopre Sigismondo *«non che d'onori, ma di larghissime beneficenze» e ancora «Rimunerato e distinto in tal guisa, Sigismondo a' 2 di settembre partissi da Fabriano»* (Massera, 1921).

Il rapporto fra Nicolò V e Sigismondo viene bene raffigurato in un quadro presente nella Cattedrale di Cervia nel quale Violante, la moglie del fratello di Sigismondo, sembra offrire alla Chiesa di Roma, nelle figure di Gesù Bambino e di Pietro, il progetto e la costruzione della basilica di San Pietro, allora in grave stato di degrado statico, ma a una condizione, indicata dalla posizione del mignolo della mano: che il Pontefice lasci la tia-

ra, simbolo del potere terreno, sul tappeto avente il colore verde dei Malatesti e accetti la vera missione della Chiesa di Pietro. Il papa, sovra coperto di oro, è in atteggiamento di accettazione dell’offerta della basilica per imposizione di Pietro che sostanzialmente sembra dire «lascia stare il dominio temporale e dedicati a pura latria» (Molari, 2013).

La situazione per Sigismondo muta drasticamente con il mutare delle alleanze politico-militari (Donati, 2010), seguite all’avvento del papa Callisto III Borgia e soprattutto del papa Pio II Piccolomini. Entrambi combattono pesantemente l’idea di Sigismondo di assumere il potere temporale gestito dalla Curia di Roma. Pio II nei suoi Commentarii (Piccolomini, 1582) non nasconde la sua ostilità verso i progetti del Signore di Rimini: «Aedificavit tamen nobile templum Arimini in honorem divi Francisci; verum ita gentilibus operibus implevit ut non tam Christianorum quam Infidelium daemones templum esse videretur» (Piccolomini, 1582: 92). E si comprendono le ben altre iniziative prese da papa Pio II per organizzare una crociata per liberare Costantinopoli dall’occupazione ottomana, crociata però fallita a seguito della sua morte, avvenuta alla vigilia della partenza dal porto di Ancona nel 1461. Ma Sigismondo non abbandona la sua idea e persegue ancora inutilmente il suo progetto nel 1464, quando, nominato capitano generale dai Veneziani, cerca di invadere la Morea.

I simboli nel podio

Oltre alle grandi idee dell’architettura del tempio non terminato, rimangono nel tempio Malatestiano tre importanti simboli**:** l’elefante, l’hesperis e i due caratteri SI, tutti riportati in modo quasi esasperato sia nella fascia esterna del podio, sia all’interno, come mostrato in Figura 7. Finora, questi simboli e la loro collocazione non stati collegati fra loro.

Sulla fascia esterna è già stato in parte detto. Di più difficile lettura è lo zoccolo interno, dato che l’Alberti ingloba nella costruzione la chiesa di San Francesco e quindi il basamento interno non insiste sulla stessa fondazione di quello esterno. Questa parte “interna” del tempio non viene attribuita ad Alberti; è sicuramente meno imponente ma più scenografica, con la tavolozza dei colori che si associa subito a Piero della Francesca. Questo podio viene all’interno schermato da una cortina che nelle cappelle lo cela in gran parte, privilegiando o quasi imponendo una visione verso l’alto dove sono posizionate le tombe dei principi ma anche, nella cappella di destra, dove un’avvolgente immagine del sole richiama la pentecoste laica della conoscenza, nella sequenza Dio-sole-imperatore, in Figura 7 in alto a destra.

Particolari sono le prime due cappelle, dove il basamento assume il ruolo di guardia e di protezione dell’interno. Sono infatti inserite, sporgenti alla base dei pilastri di sostegno dell’arco, due coppie di elefanti. Questo elemento nello zoccolo interno viene considerato la “seconda” prima pietra del tempio, tanto che le Cronache del tempo riportano: «Del ditto millesimo (1450), adì XIIII de ottobre, a ore do de notte. Aparve la cometa sopra Arimino. Adì XV del ditto. Fonno posti dui alifanti in la capella del

Fig. 7 – Le coppie di elefanti che sorreggono i pilastri delle prime due cappelle del tempio Malatestiano di Rimini (in basso) per le tombe di Isotta (in alto a desta) e di Sigismondo (in alto a sinistra) (foto degli Autori).

signore a Santo Francesco. L'abade de San Gaudenzo glie benedisse. Adì XXII de ottobre. Venne una grande neve in Arimino, e per gli antise de Arimini non s'arecorda mai la magiore. Adì del ditto. Fonno missi dui altri alifanti in la ditta capella. E fonno benedidi per lo dicto abate. Adì XXIII del dicto. Venne un'altra gran neve cum grande buffa» (Trascrizione del cod. 72 Anonimo della Biblioteca Gambalunga di Rimini) (Massera, 1921). È il 1450. Sia la cometa, sia la neve sono eventi "miracolosi" che vengono associati alla posa della prima pietra del tempio e quindi a una volontà divina. In particolare, la nevicata riporta alla memoria il leggendario miracolo che avrebbe ispirato papa Liberio per la fondazione della prima basilica Mariana a Roma, quella di *Santa Maria ad nives* sul colle Esquilino; per quanto riguarda poi l'apparizione della cometa, la straordinarietà è ovvia da come viene associata alla nascita di Cristo.

Sul significato del podio con gli elefanti, va rimarcato che durante i lavori di ripristino del tempio a seguito dei bombardamenti della seconda guerra mondiale, fra questo e il pilastro di sostegno il 5 giugno 1948 furono rinvenute varie medaglie raffiguranti Sigismondo e recanti sul verso alcune la Fortezza, altre la Fortezza "seduta", che qui piace pensare "nascente", dai due elefanti (Pasini, 2009), come visibile in Figura 8. Altre medaglie vennero rinvenute sulla sommità dello stesso pilastro.

Fig. 8 – Le due medaglie di Sigismondo attribuite a Matteo de’ Pasti (1446) con uguale recto (al centro), sul verso viene affermata la Regalità, che siede e che sembra nascere da una coppia di elefanti (a destra) e che regge una Colonna spezzata, da sempre simbolo di Fortezza e di Prudenza (a sinistra) (Farina, 2015).

L’elefante e il suo valore simbolico

L’elefante era stato caro già al padre di Sigismondo tanto da inserirne la testa con le zanne nel cimiero del principe-soldato, con l’intento di seminare terrore al nemico[3]. Sigismondo, nella celebre incitazione ai suoi soldati, ricorda di essere discendente da Scipione l’Africano, il generale che aveva sconfitto Annibale e i suoi elefanti: «Fatto d’armi di Sigismondo contro gli Ecclesiastici della Marca fra San Piero e Nido Astorre. 2 luglio 1461. Or considerate se la victoria è nostra, che ieri sera un’aquila gentile se posò sulla cima del nostro padiglione. Grandemente li antichi e valenti romani davano fede a questi annuntii chiamati augurii: per la qual parte ne pigliamo gran conforto, perché essendo noi discesi dalla progenie e sanguinità dell’Ill° Publio Scipione Affricano nobile rómano, ’erò l’onnipotente’ Dio n’ha facto tale dimostrazione, considerato che avemo ragione. Da poi disse O nobili valenti homini, al nome del beato San Giorgio ognuno ritorni alle sue squatre, segnando li ordini dati» (Tonini, 1882: 283-284).

Un simbolo romano così importante non poteva passare inosservato nella colta corte riminese di Sigismondo, che voleva riprendere la tradizione imperiale romana e dimostrare come l’investitura divina del suo principe fosse superiore a quella usata dalla curia papale romana. Troviamo quindi l’elefante, come elemento fondante, alla base delle colonne del tempio Malatestiano di Rimini e nei fregi che lo contornano insieme all’hesperis, tipico fiore dell’imperatore romano d’Oriente.

L’elefante da guerra lega i grandi strateghi della storia militare, da Alessandro Magno, che lo impiegò nelle sue battaglie e lo conobbe in combattimento durante la conquista della Persia, ad Annibale, il celebre condottiero che sconfisse l’esercito romano, per arrivare a Giulio Cesare. Con Sesto Giulio, il combattimento con gli elefanti è inserito fra le tattiche belliche all’interno del trattato sugli stratagemmi militari, di cui parla, fra la fine del IV sec. e l’inizio del V sec. d.C., anche Renato Vegezio nel suo

Epitoma rei militaris. L'elefante come mezzo da guerra venne utilizzato persino durante le crociate e anche da Federico II, per celebrare la vittoriosa campagna militare in Lombardia, a Cortenuova. L'elefante, che compare nelle Figure da 7 a 9, assume qui diverse interpretazioni giocando vari ruoli: di custodia, di celebrazione di Roma e della sua storia, ma anche di celebrazione di Scipione l'Africano e soprattutto di Cesare, e di sprone per Sigismondo a imitare questi due grandi condottieri in battaglia, e ad assumerne l'eredità come imperatore romano identificandosi in Cesare stesso.

Come già più volte ripetuto, essere imperatore romano vuole significare la incarnazione di dio in terra nella già ricordata scala: Dio-sole-imperatore romano e quindi godere del suo potere.

Gli elefanti nell'antichità sono stati impiegati come gigantesche macchine belliche che incutevano terrore data la loro mole e la loro potenza distruttrice. I Romani li conobbero in battaglia con Pirro e ne subirono una pesante sconfitta. Cesare li usò in Bretagna per incutere terrore come descritto da Polieno negli Stratagemmata (Polieno, 1821): «Ingegnavasi Cesare di traghettare un fiume grandissimo in Britannia, quando il re de' Britanni Cassolauno, che cosi era il nome suo, gli vietava il passo con di molti cavalli, e carrette. Allora Cesare tolto un elefante, il qual animale non era mai più stato veduto da' Brittanni, l'armò con le barde di ferro, e contestavi di sopra un'altissima torre, nella quale erano que' dagli archi, e dalle scaglie, comandò che entrasse nel fiume. I Britanni veggendo quella bestia grande fuor di misura, e di nuova specie per loro, si spaventarono forte. Cosa dovrebbesi poi dire de' cavalli? conciossiacosaché appresso de' Greci ancora i cavalli visto 1'elefante ignudo non che armato fuggano: e perciò pur essi non potetono sofferire la presenza eli quello, su cui era la torre da onde si scagliavano dardi, e sassi; i Britanni pertanto in breve ora tutti si misero in fuga co' cavalli e con le carrette. Allora i Romani per opera di una bestia che aveva spaventato i nemici, valicarono il fiume senza alcun pericolo».

I Romani impararono poi a contrastarli in battaglia, arrivando fino a esibirli nei circhi, come insegna Vegezio al cap. XXIV del libro III del De re Militari (Vegezio 1583): «Quomodo quadrigis falcatis, vel elephantis in acie possit obsisti. Elephanti in praeliis magnitude corporum, barovitiorrore, forme iovitiatevitate, homines equosque conturbant. Latius tamen & firmius contra eas praefigitur ferrum, cum in magnis corporibus maiora sint vulnera. Adversum elephamtos plura exempla & machinamenta retulimus, ut si quando necessitas postulaverit, sciatur quae sint tam immanibus beluis opponenda».

Meno conosciuta è la storia che lega il termine elefante allo stesso nome di Cesare. Viene infatti riportato (Purpura 2015) che il nome Cesare derivi dal nome arabo degli elefanti e che fu assegnato a Caio Giulio sia per ricordare la vittoria in battaglia di un suo antenato su un esercito dotato di elefanti, sia per associare la potenza devastante di questo pachiderma a quella del suo esercito. L'*Historia Augusta* riferisce quattro interpretazioni diverse del nome Cesare associato a Caio Giulio (Purpura, 2015):

Fig. 9 – L’elefante laurato. L’elefante incoronato come Cesare: secondo la consuetudine romana rinnovata dal Manetti nel 1444, in occasione del funerale di Bruni (Donati, 2010), *di incoronare d’alloro i defunti che in vita si erano coperti di gloria* (foto degli Autori).

«Hist. Aug. Ael. 2-3: Et quoniam de Caesarum nomine in huius praecipua vita est aliquid disputandum, qui hoc solum nome indeptus est, Caesarem vel ab elephanto, qui lingua Maurorum caesai dicitur, in proelio caeso eum, qui primus sic appellatus est, doctissimi viri et eruditissimi putant dictum, vel quia mortua matre, sed ventre caeso, sit natus, vel quod cum magnis crinibus sit utero parentis effusus, vel quod oculis caesiis et ultra humanum morem viguerit. Certe quaecumque illa, felix necessitas fuit, unde tam clarum et duraturum cum aeternitate». In ogni caso, il nome Cesare Augusto venne legato all’imperatore romano e divenne quindi un simbolo della potenza divina scesa in terra da dio attraverso il sole. Su alcune monete imperiali si può trovare una quadriga di elefanti come immagine da sovrapporre alla quadriga condotta dalla vittoria alata baciata dal sole, tanto impiegata nella monetazione repubblicana, come mostrato in Figura 10, e quindi è scontato che il simbolo sia scolpito nel podio di Rimini.

Il nomogramma SI

Il fregio del podio esterno riporta vari stemmi della famiglia Malatesti quasi tutti recanti il nomogramma SI. Se si confronta questo nomogramma con quello dei Montefeltro, FD (Federicus Dux) e si fa riferimento alla *dedica* del libro *De Re Militari* di Valturio (1472): «Ad magnanimum et illustrem hero a Sigismundum Pandulfum Malatestam splendidissimum ariminiensium Regem ac Imperatorem Semper Invictum Roberti Valturi Rei Mil. librorum» e anche alle tante monete che riportano sempre *Sigismundus Imperator*, guardando anche gli stemmi portati in battaglia che compaiono nelle illustrazioni del manoscritto dell’*Hesperis*, in Figura 11, non si può, non pensare all’ossessione di Sigismondo a potersi fregiare di questo titolo, con tutte le conseguenze che ciò comportava. Passa così in secondo piano la meno probabile interpretazione del nomogramma SI come *Semper Invictus* che vorrebbe attribuirgli Giannozzo Manetti nel suo celebre discorso pronunciato il 30 settembre 1453 in occasione dell’investitura di Sigismondo a comandante dell’esercito fiorentino. Infatti, dopo aver indicato le quattro virtù che deve avere chi comanda un grande esercito, Manetti definisce il termine: “et chiamavasi nel sermone latino imperator, che niente

Fig. 10 – Una moneta del periodo repubblicano (a sinistra) e una moneta di Augusto (a destra). La quadriga condotta dalla Vittoria alata baciata dal sole-dio viene mutata in un carro trainato da quattro elefanti e guidato dall'imperatore-divinizzato [4].

altro nel nostro vulgare significa che comandator". Ben altro significato dava a questo vocabolo Sigismondo, come chiaramente espresso da Valturio (Valturio, 1472), mentre è del tutto da scartare l'interpretazione riportata anche nelle guide turistiche, di SI come derivante dai capilettere di Sigismondo e Isotta (Purpura, 2015)[4].

L'Hesperis Matronalis

L'Hesperis Matronalis o viola quadripetala, scolpita nel bassorilievo in pietra del podio del Tempio Malatestiano, è il fiore tipico dell'imperatore romano d'oriente e della Turchia. Lo stesso Basinio da Parma intitola il suo libro con il nome di questo fiore. Lo si ritrova nascente sulla moneta di Pisanello in Figura 11 e su alcune piastrelle in una fascia sulla Rocca Malatestiana di Rimini, in Figura 12.

Anche con questo simbolo Sigismondo fa riferimento all'imperatore romano e al suo desiderio di continuarne la funzione.

Fig. 11a – La medaglia di Pisanello: alle spalle di Sigismondo la testa dell'elefante sull'elmo dell'antenato, in terra una hesperis nascente e una seconda hesperis sullo scudo che riporta il simbolo SI oltre alla scacchiera Malatestiana (Farina 2015).

Fig. 11b – Immagine dell'esercito di Sigismondo con il simbolo SI sulle gualdrappe dei cavalli tratta dall'Hesperis di Basinio da Parma [3].

Fig. 12 – La viola quadripetala sulla sommità del pilastro all’interno del Tempio (a sinistra) (foto degli Autori) *e in una fascia di piastrelle sulla Rocca di Rimini (a destra)* [5].

Conclusioni

Partendo dalla interpretazione di alcuni simboli presenti nel Tempio Malatestiano di Rimini si scopre l’importanza assegnata da Alberti al basamento/podio come elemento di fondamentale importanza per il Tempio e si comprende così come possa aver influito su questo progetto il confronto con il tempio di Giove Anxur di Terracina insieme agli archi di trionfo romani e alla cupola del Pantheon. La simbologia dell’elefante, quello della *hesperis matronalis* e la coppia di lettere SI ci fanno ritornare all’ossessivo pensiero di Sigismondo di poter essere incoronato Imperatore romano per assumere in terra la rappresentanza di Dio stesso e così scavalcare il Papa e la politica di gestione del potere temporale, acquisito con il falso documento medioevale della donazione di Costantino. Il lavoro argomenta questi legami e, analizzando l’architettura Malatestiana, vuole riportare l’immagine dell’elefante alla colta tradizione rinascimentale. La lettura dell’architettura del Tempio Malatestiano, inquadrata nel turbinio del contesto storico diventa così più semplice, motivata e avvolta da un grande significato simbolico.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano i Revisori per le puntuali segnalazioni che hanno permesso di migliorare il testo.

Bibliografia

Alberti B. 1966. *L’Architettura* (traduzione a cura di G. Orlandi). Milano: Edizioni Il Polifilo.

Basinio da Parma, 1450. Hesperis, Oxford, Bodleian Library MS. Canon. Class. Lat. 81:

Donati A. 2010. L’immagine vittoriosa di Sigismondo Pandolfo Malatesta e l’orazione di Giannozzo Manetti per la consegna del bastone di comando dell’esercito fiorentino (Vada, 30 settembre 1453). Studi Romagnoli, LXI, 773-840.

Farina F. 2015. Il volto e la fama. Le medaglie di Pisanello e di Matteo de’ Pasti per Sigismondo Pandolfo Malatesta nei repertori iconografici tra XVI e XVII secolo. Romagna arte e storia, XXX, 15-46.

Humar M. 2018. Santuario Romano di Giove Anxur sul monte Sant'Angelo a Terracina. Vespertilla, XV(4), 54-77.
Manfredi L.I. 2001. Gli elefanti di Annibale nelle monete puniche e neopuniche. In: *Proceedings of International Congress The World of Elephants*, Rome, 394-396.
Massera A.F. (a cura di). 1921. Cronache Malatestiane dei secoli XIV e XV. In *Rerum Italicarum Scriptores- Tomo XV(II)* (a cura di L.A. Muratori), 134. Bologna: Zanichelli
Molari P.G. 2013. Violante, Niccolò V, (Leon) Battista e la basilica di San Pietro in Roma. AMSacta Università di Bologna, 32.
Pasini P.G. 1983. *I Malatesti e l'arte*. Bologna: Cassa di Risparmio in Bologna.
Pasini P.G. 2009, *Il tesoro di Sigismondo e le medaglie di Matteo de' Pasti*. Bologna: Minerva Ed.
Piccolomini E.S. (Papa Pio II). 1582. *Commentarii* Roma.
Polieno. 1821. Gli Stratagemmi (traduzione di L. Carani). Milano: Sonzogno.
Purpura G. 2015. Cesare Il trionfo e l'elefante. Bullettino dell'istituto di Diritto Romano «Vittorio Scialoja» quarta Serie, V, 225-246. Milano: Dott. A. Giuffrè Editore.
Tonini L. 1882. *Storia civile e sacra riminese*. V. Rimini: Tipografia Albertini e C.
Tosi Brandi E. 2020. *Sigismondo Pandolfo Malatesta oggetti, relazioni e consumi alla corte di un signore del tardo medioevo*. Milano: Editoriale Jouvence.
Valturio R. 1472. *De Re Militari*. Verona: Giovanni da Verona.
Vegezio P.F.R. 1583. *De re Militari*. Parigi: Wechellu.
Vegezio P.F.R. 1878. *Compendio di arte militare* (trad. di T. Mariotti). Treviso: G. Nardi.

Sitologia

[1] Category:Images from Wiki Loves Monuments 2012 - Wikimedia Commons
[2] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arch_of_Constantine_at_Night_(Rome).jpg
[3] https://digital.bodleian.ox.ac.uk/objects/e38211bd-5854-4514-818d-ee9fba5ea15a/
[4] https://www.lamoneta.it/
[5] http://www.museicomunalirimini.it/it/musei-rimini/museo-della-citta/arte/malatesti

Note

1. Alberti conosceva Terracina, infatti in *De re aedificatoria* (L. II Cap. II) si legge: «Portum Claudii sub Hostia et apud Terracinam portum Adriani, opera omni ex parte alioquin aeterna, tamen videmus iam tum pridem obstrusis harena faucibuss et repleto sinu penitus defecisse, mare nunquam intermissa illuctatione assidua lacescente et ίπ dies pervincente.».
2. La successione dei Papi è la seguente:
   - Niccolò V dal 6 marzo 1447 al 24 marzo 1455 (Parentucelli);
   - Callisto III dall' 8 aprile 1455 al 6 agosto 1458 (Borgia);
   - Pio II dal 19 agosto 1458 al 15 agosto 1464 (Piccolomini).
3. La testa dell'elefante sul cimiero del padre di Sigismondo richiama la macchina da guerra disegnata da Valturio nel De Re Militari (Valturio, 1472).
4. Anche l'elefante riprodotto sul rovescio della medaglia di Isotta degli Atti ha un preciso parallelo fra Isotta e Sigismondo con Cecilia Metella e Cesare. Questo elefante ricorda il disegno di Ciriaco d'Ancona che disputò con Poggio Bracciolini su chi fosse il più grande fra Scipione l'Africano o Giulio Cesare.

Arianna Carannante

L'impatto dei terremoti nella genesi di un modello costruttivo: il caso dell'architettura ecclesiastica di committenza angioina (fine XIII – inizio XIV secolo)

The impact of earthquakes in the genesis of an architectural model: the case of ecclesiastical architecture under Angevin patronage (late 13th - early 14th century)

Sommario

In questa sede si intende analizzare l'ipotetico impatto dei terremoti nella definizione di un modello architettonico in uno specifico lasso temporale. Lo studio riguarda l'architettura ecclesiastica di committenza angioina costruita nel Regno di Napoli tra la fine del XIII e l'inizio del XIV secolo. La creazione di un nuovo modello costruttivo si sviluppa nel cantiere della chiesa di San Domenico Maggiore a Napoli, iniziata nel 1284, per poi trovare la sua maturazione nella cattedrale della medesima città, costruita a partire dal 1294. Si tratta di costruzioni finanziate o patrocinate dai re angioini e costruite da maestranze autoctone e d'Oltralpe. Edifici a croce latina, costituiti da tre navate, con un transetto svettante che si conclude con tre absidi poligonali voltate ad ombrello, dotate di contrafforti radiali sugli spigoli. È nota la volontà dei sovrani di "riprodurre" a Napoli la struttura e il gusto della corte francese, nella quale Carlo I d'Angiò (1226-1285), fratello del re di Francia, Luigi IX (1214-1270), si era formato. Tuttavia, rispetto alle architetture d'Oltralpe, in Italia meridionale gli edifici sono caratterizzati da una semplificazione formale e strutturale. La storiografia trova la ragione di tale scelta in motivazioni economiche ed estetiche sottovalutando, sovente, il problema strutturale e la questione legata ai terremoti. Si potrebbe, pertanto, provare a comprendere, alla luce delle nuove conoscenze sui terremoti nel Meridione italiano, se vi furono alcuni eventi particolari che portarono un cambiamento di rotta nelle scelte tecniche degli architetti attivi a corte e formatisi in area transalpina. Si tenterà un primo approccio partendo dalla notizia, nota alla storiografia, del terremoto che distrusse la prima chiesa di Santa Maria Donnaregina nel 1293.

Abstract

The paper's aim is to analyze the hypothetical impact of earthquakes on the definition of an architectural model in a specific period. The study concerns Angevin

ecclesiastical architecture built in the Kingdom of Naples between the end of the 13th and the beginning of the 14th century. The creation of a new model was developed in the construction site of the Church of San Domenico Maggiore in Naples beginning of construction (1284) and had reached its maturity in the Cathedral of the same city (beginning of construction 1294). These buildings have a latin cross plan, consisting in one nave and two aisles, with a soaring transept ending in three polygonal apses with rib vaults and radial buttresses at the corners. These buildings have been built under the patronage of Angevin kings by local and transalpine site-workers. It is well known in literature that the monarchs wanted to "reproduce" in Naples the structure and taste of the French court, where Charles I of Anjou (1226-1285) – brother of the King of France, Louis IX (1214-1270) – had trained. However, compared to the transalpine architecture, the buildings of southern Italy are characterized by a formal and structural simplification. An economic and aesthetic reasons was finds for this choice from historiography, often underestimating the structural problem and the issue of earthquakes. I could try to understand – considering the new knowledge about earthquakes in southern Italy – whether there were some particular events that led to a change in the technical choices of the architects working at Angevin court. An initial approach will be attempted, starting from the notice – known to historiography – of the earthquake that destroyed the first church of Santa Maria Donnaregina in April 1293.

Introduzione

La storia del Meridione italiano, in particolare di quello appenninico e subappenninico, è connessa in maniera indissolubile al susseguirsi dei terremoti. Si può citare il caso più noto della città dell'Aquila (Terenzi, 2018)[1], in parte distrutta dal terremoto del 2009, che dalla sua fondazione alla metà del XIII secolo vede lo sviluppo fortemente connesso ai terremoti (Guidoboni e Comastri, 2005: 325-332)[2].

In questa sede si intende analizzare l'impatto di questi ultimi nella definizione di un modello architettonico sviluppatosi a partire dalla Basilica di San Domenico Maggiore a Napoli, la cui costruzione iniziò nel 1284, per trovare la sua evoluzione in un certo numero di edifici ecclesiastici costruiti nel Regno di Napoli tra la fine del XIII e l'inizio del XIV secolo grazie alla committenza/patrocinio di re Carlo II d'Angiò (1285-1309). Si tratta di organismi ecclesiastici che presentano un impianto basilicale, a tre navate e transetto sporgente, e tre absidi poligonali voltate ad ombrello, dotate di contrafforti radiali sugli spigoli, come nell'esempio di Figura 1. Napoli, con l'ascesa a capitale del Regno, era diventata il fulcro delle attività edilizie della corte angioina; ragione per cui, a cavallo tra i due secoli, in città si concentrarono una serie di cantieri di edilizia militare, civile e religiosa che permisero uno scambio di sapere e competenze tra i diversi edifici in costruzione (Carannante, 2021).

Fig. 1 – Lucera: cattedrale di Santa Maria Assunta, interno (a sinistra) e retro-abside (a destra) (Foto Gugliemo Villa, 2020).

L'architettura ecclesiastica di committenza angioina

Gli organismi ecclesiastici edificati dopo il 1294 aprono un differente capitolo della storia dell'architettura in Italia meridionale. Si possono citare la basilica di San Domenico Maggiore, risalente alla fine XIII secolo e la cattedrale di Santa Maria Assunta a Napoli (1294-1317), la cattedrale di Lucera (1304-1317 ca.) e la chiesa partenopea di San Pietro a Majella, di inizio XIV secolo, rispondenti in maniera maggiore o minore al nuovo modello costruttivo.

La conquista dell'Italia meridionale da parte del fratello minore del re di Francia Luigi IX (1214-1270), Carlo I d'Angiò, re dal 1266 al 1285, comportò lo spostamento di una parte di nobiltà francese al seguito della corte e l'arrivo di un buon numero di maestranze di origine transalpina. Dai Registri Angioini si evince la certa presenza di *protomagistri* e *magistri* d'Oltralpe, in particolare dell'Île-de-France, formatisi nei cantieri del secondo quarto del Duecento (Pistilli, 2006; Fiengo e Guerriero, 1996; Bertaux, 1905: I, 97-99; II, 89-114, 313-325). I documenti citano i nomi di Pierre d'Angicourt, Pierre de Chaules, Henry d'Asson, Thibaud de Saumur, Jean de Toul, Paumier d'Arras, Baucelin de Linas; maestranze che avevano acquisito, probabilmente, una serie di competenze nella costruzione di organismi ecclesiastici in cui la funzione statica era relegata ai pilastri. Si tratta di edifici dominati da un'ar-

chitettura puntuale con grandi superfici vetrate e volte archiacute. La conseguenza diretta della presenza di *magistri* e direttori di cantiere di provenienza transalpina fu la diffusione nella cultura architettonica, dapprima a Napoli e successivamente in tutto il Regno, di elementi d'Oltralpe, non solo nella scultura plastica ma anche nella concezione formale degli edifici.

Le due distrutte fabbriche cistercensi di Santa Maria di Realvalle in Campania (Forgione, 2005: 25-67; Bruzelius 1991/4: 402-420)[3] e Santa Maria della Vittoria in Abruzzo (Cigni, 2003; Egidi, 1909: XXXIV (1909), 252-291, 732-767; XXXV (1910), 125-175), costruite nell'ultimo quarto del XIII secolo, adottarono in parte la spazialità e la struttura degli edifici transalpini. La realizzazione di volte a crociera ogivali[4], a copertura di tutta la chiesa, dovette richiedere l'impiego di numerose maestranze allogene, pertanto si crearono dei veri e propri "cantieri scuola" per i *magistri* autoctoni. I due monasteri cistercensi furono fortemente danneggiati e in parte distrutti dai terremoti[5] per questo oggi risulta arduo ricostruirne la forma, tuttavia la documentazione relativa alla costruzione fornisce con certezza il dato relativo alla copertura voltata delle chiese.

A Napoli, la prima architettura promossa dal nuovo regnante fu, con molta probabilità, la chiesa Sant'Eligio Maggiore, edificata tra la fine XIII secolo e inizio XIV secolo[6] e rimaneggiata in almeno tre fasi. Secondo il progetto iniziale, come dimostrano i resti visibili, doveva presentare volte archiacute su pianta rettangolare a copertura della navata centrale; queste ultime non vennero mai costruite o crollarono, come mostrato in Figura 2; allo stato degli studi non è chiaro.

La grande produzione edilizia di architettura ecclesiastica si sviluppò tuttavia sotto il regno di Carlo II d'Angiò, a partire dal già citato cantiere di San Domenico Maggiore, in Figura 3. Vi fu però un discostamento notevole dal modello transalpino, in particolare in merito all'adozione di strutture voltate a copertura della navata centrale, sostituite da carpenterie lignee, in similitudine con le chiese paleocristiane insistenti sul territorio partenopeo. In generale, si scelsero delle soluzioni più semplici non solo in relazione alla copertura ma anche al numero e all'ampiezza dei vani finestrati, ridotti in maniera consistente rispetto ai modelli di riferimento.

Il ruolo dei terremoti

Alcune riflessioni di storici dell'arte e architettura francesi, che tra la fine del XIX secolo e l'inizio XX secolo si accingevano a visitare i monumenti dell'Italia meridionale, aprono la strada a una possibile connessione tra i terremoti e la scelta di una semplificazione strutturale. Queste ricerche si muovono dalle stesse questioni qui poste per fornire una risposta alla mancata affinità strutturale tra gli edifici transalpini e quelli costruiti in Italia meridionale.

Félix-Joseph de Verneilh-Puyraseau (1820-1864), storico dell'architettura e archeologo francese studioso dell'origine e sviluppi dell'architettura gotica, fu il pri-

Fig. 2 – Napoli: Sant’Eligio al mercato, interno (Foto Carannante, 2019).

Fig. 3 – Napoli: San Domenico Maggiore, interno (Foto Carannante, 2021).

mo a ipotizzare una relazione tra le scelte costruttive e il problema sismico del suolo campano. Sottolinea la differenza tra territorio italiano «trop sujet aux tremblements de terre» e quello francese (de Verneilh, 1861: 67-79). Lo studioso imputa al tipo di suolo la scelta, degli archietti operanti a Napoli alla fine del Duecento, di non utilizzare coperture voltate sulla nave centrale in chiese quali la cattedrale di Santa Maria Assunta e la chiesa di San Domenico Maggiore. La sua affermazione può risultare, agli occhi di uno studioso moderno, approssimativa e poco scientifica. Tuttavia, a latere delle semplificazioni proposte, è necessario considerare che alla fine del XIX secolo gli studiosi avevano la possibilità di leggere alcuni fenomeni con uno sguardo più ampio, che oggi si potrebbe definire "multidisciplinare" e "transnazionale". Il sapere iper-specialistico odierno, sovente troppo legato a realtà locali, può indurre infatti in errore nella valutazione di alcuni aspetti. Inoltre, gli eruditi di fine Ottocento avevano a disposizione un patrimonio, non ancora soggetto alle ricostruzioni in stile e restauri di cui loro stessi saranno artefici, che permetteva una lettura meno filtrata di determinati fenomeni.

Altri eruditi francesi si interrogheranno sullo stesso problema: è il caso di Charles-François Lenormant (1837-1883), archeologo e assirologo, che compì numerosi viaggi alla scoperta delle antichità dell'Italia meridionale (Lenormant, 1883: 17-18). In relazione alla descrizione della cattedrale di Santa Maria Assunta a Lucera, in Figura 1, afferma che l'architetto della fabbrica «a été Français» e doveva essere nativo dell'Île-de-France poichè aveva portato in Puglia lo stile «sans modification» rispetto alla sua terra d'origine. L'unica differrenza consisteva nel mancato utilizzo delle «voûtes sur croisées d'ogives». Secondo Lenormant l'architetto aveva compreso la vulnerabilità sismica dell'utilizzo di quella «merveille d'équilibre obtenue par un savant calcul de la poussée des matériaux» poichè aveva scelto «une simple charpente» a due falde per la nave centrale e a una per le laterali. Infatti, la cattedrale pugliese non presenta volte a copertura del corpo longitudinale, al contrario dei casi napoletani sopra citati in cui le navi laterli sono coperte da volte a crociera. Lo scopo della scelta, a parere dello stusioso, era quello di garantire la resistenza ai terremoti così frequenti sul suolo italiano[7].

In ultimo, Camile Enlart (1862-1927), storico dell'arte e grande conoscitore dell'architettura gotica e delle sue declinazioni (Enlart, 1894: 210), riprenderà la questione dell'assenza di volte, anche in questo caso in relazione alla cattedrale di Lucera, imputandola a due ragioni: la pericolosità sisimica del territorio e l'incapacità delle maestranze locali di realizzare le strutture voltate, seppur sotto la supervisione di maestranze d'Oltralpe[8]. Quest'ultimo riferimento è da contestualizzare, invero non è possibile imputare solamente alla pericolosità del suolo italiano la nascita di un nuovo modello architettonico, frutto della fusione di elementi transalpini e locali. Piuttosto si potrebbe trattare del risultato di una serie di scelte estetiche, costruttive ed economiche, in cui la presenza dei terremoti può in parte aver influito.

Alla luce di quanto riportato si potrebbe provare a comprendere, grazie alle recenti acquisizioni relative ai terremoti nel medioevo, se vi furono alcuni eventi particolari che portarono un cambiamento di rotta nelle scelte tecniche degli "architetti" attivi a corte. Si è visto infatti che per la navata della chiesa di Sant'Eligio era prevista una copertura voltata, oppure che le volte costruite furono danneggiate e crollarono. La chiesa di Sant'Eligio fu, con le abbazie cistercensi di Realvalle e Vittoria, uno dei primi organismi ecclesiastici realizzati sotto il regno angioino. In effetti, come si è visto, la creazione del nuovo modello ebbe la sua origine nel cantiere della chiesa di San Domenico Maggiore[9], a partire dal 1284, per poi trovare la sua maturazione nella cattedrale della città partenopea, il cui inizio è collocabile nel 1294.

L'unico dato riportato dalla storiografia è quello di un terremoto che distrusse la prima chiesa di Santa Maria Donnaregina vecchia (Speciale, 2005: 4), nel 1293, che «danneggiò non poco i nuovi edifici innalzati da Carlo I e Carlo II nella città, scelta ormai a capitale del regno, rovinò le vecchie fabbriche della loro chiesa e il chiostro» (Bertaux, 1899: 10, 12, 161, 167)[10] In Figura 4 sono riportate due foto dell'attuale chiesa di Santa Maria Donnaregina.

Fig. 4 – Napoli: Santa Maria Donnaregina, abside. Veduta esterna (a sinistra) e interno (a destra) (Foto Carannante, 2021).

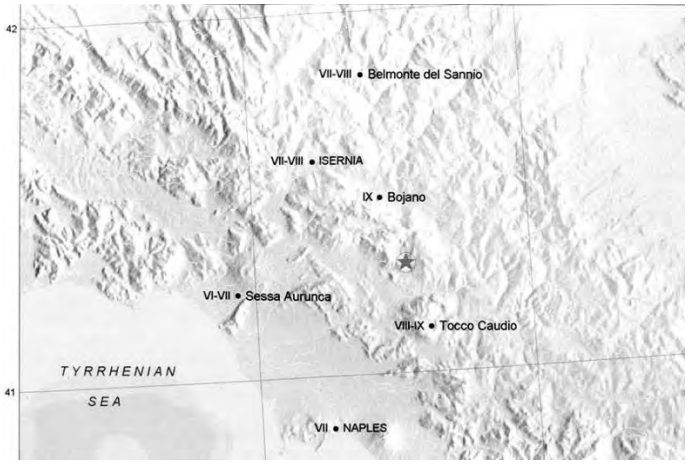


Fig. 5 – Mappa dell'intensità nelle singole località colpite dal terremoto del 4 settembre 1293 (Guidoboni e Comastri, 2005: 317).

Tuttavia, gli eventi sismici che furono avertiti a Napoli nell'ultimo quarto del XIII secolo furono due: il terremoto del 1280 (Perrey, 1846-47), con epicentro nella capitale, di cui vi sono poche informazioni e il terremoto del 4 settembre 1293 (Bertaux, 1899: 10, 12, 161, 167; Guidoboni e Comastri, 2005: 316-319; Castelli, 1993), da cui è tratta la mappa degli effetti in Figura 5.

Il secondo ebbe epicentro nell'Appennino Sannita e potrebbe corrispondere con quello che arrecò danni alla prima chiesa di Santa Maria Donnaregina. Dalle notizie riportate nei Registri Angioini, provocò una serie di crolli che riguardarono numerosi edifici di alcune città nel Matese[11]. Citazioni relative al terremoto riguardano la città di Boiano, nel 1293[12] e 1294[13] e di Tocco Claudio, piccolo centro nei pressi di Benevento[14]. Vi sono altresì notizie relative a danni nella città di Isernia[15]. Inoltre, dai Registri si apprende che la corte finanziò un gran numero di riparazioni, come testimoniato dall'ordine di pagamento dal Giustiziario di Capitanata di 120 once del 15 aprile 1294 al cavaliere Bertrando de Bellomonte, «in compensationem damnorum passorum ex terremotu»[16].

L'entità dei disastri causati dai terremoti è sempre connessa al numero di abitanti e alla tipologia delle costruzioni di un determinato territorio. In questa sede si escluderà l'esame della presenza antropica e ci si concentrerà sulle tipologie costruttive.

Nell'area appenninica i terremoti hanno condizionato in più occasioni la rinascita (Guidoboni, 2000) e la ricostruzione di interi centri abitati (Gaudiosi et al., 2020). È stato dedotto che nella maggior parte di casi lo spostamento di un determinato centro abitato o la ricostruzione *in situ* sia da imputare a ragioni economiche (Terenzi, 2018). L'impiego di un determinato materiale da costruzione e il suo comportamento

sono stati analizzati in base all'area geografica e all'incidenza dei terremoti, si veda il caso dell'area calabrese (Sergi, 2009: 87-112).

Per quanto riguarda l'area campana, considerando la carenza di fonti dirette relative ai terremoti, risulta complesso appurare il reale impatto di questi sull'ideazione degli edifici. I Registri Angioini pubblicati non riportano informazioni relative a eventuali danni a edifici napoletani del terremoto del 1293. La notizia della chiesa di Santa Maria Donnaregina riportata da Émile Bertaux (1869-1917), non presenta alcun riferimento archivistico (Bertaux, 1899: 10, 12,161, 162). Tuttavia, è probabile che il terremoto del 1293 abbia arrecato danni agli edifici in costruzione in città: il coro della chiesa di San Lorenzo Maggiore, la cui costruzione ebbe inizio nell'ultimo quarto del XIII secolo, la navata della chiesa di Sant'Eligio, in Figura 2, e la fabbrica domenicana di Napoli.

La data di inizio della costruzione della cattedrale di Santa Maria Assunta a Napoli, 1294, è di un anno successiva al suddetto terremoto ed è probabile vi sia stata una relazione tra gli eventuali danni, provocati in città dal terremoto del 1293, e le scelte progettuali del duomo. Si preferì, infatti, una copertura con carpenterie lignee sulla nave centrale in luogo a una voltata. Una scelta non priva di conseguenze, poiché l'adozione di una copertura lignea sulla nave centrale diminuisce le spinte sui contrafforti, utilizzati per irrigidire le pareti e contrastare le spinte delle volte delle navi laterali, e elimina la necessità di realizzare archi rampanti per contenere le spinte della struttura voltata principale.

Non può essere casuale che l'unico edificio che tutt'oggi presenta archi rampanti sia il coro della basilica di San Lorenzo Maggiore, risalente al periodo a cavallo tra Due e Trecento. Il coro presenta un'abside poligonale con pilastri compositi illuminata da semplici monofore, circondata da un deambulatorio voltato a crociera, su base quadrata e trapezoidale, dal quale si accede a sette cappelle radiali con volte a ombrello. La volta dell'abside è sostenuta da archi rampanti che furono necessari a fini statici imposti dalla concezione formale della struttura, in Figura 6, ma la loro realizzazione, salvo problematiche connesse ai restauri (cominciati nel 1926) (Chierici, 1929: 24-39), sembrerebbe alquanto disomogenea. Gli archi si àncorano in punti diversi, due

Fig. 6 – Napoli: San Lorenzo Maggiore, coro, esterno (Chierici, 1929:33).

al colmo del tetto e gli altri alle reni della volta, probabilmente a causa di rimaneggiamenti successivi; questi ultimi scaricano il peso della volta sui contrafforti posti tra le cappelle. L'edificio fu cominciato sotto il regno di Carlo I, come attestano due documenti, il primo dei quali, di gennaio 1284, riguarda una donazione di 40 once (Bruzelius, 1994: 268) «pro complenda Ecclesia» ed il secondo un lascito di 400 once «in subsidium reparationis Ecclesie»[17]. La costruzione partì dal rimodernamento del coro della basilica paleocristiana preesistente e si concluse con la ricostruzione della parte longitudinale. La concezione formale della parte absidale sarebbe quindi da attribuire al regno di Carlo I d'Angiò, quando si pensava di poter costruire anche in Italia meridionale organismi architettonici simili a quelli d'Oltralpe.

Al contrario, se si esamina il caso della cattedrale di Lucera, in Figura 1, versione semplificata e raffinata del modello del duomo partenopeo (Carannante, 2022), i contrafforti della zona absidale potrebbero considerarsi sovradimensionati rispetto alle volte realizzate. L'ignoto architetto nel primo quarto del Trecento non svuotò le pareti predisponendo ampie finestrature, ma le forò con alcune piccole aperture poste in posizioni strategiche. È possibile imputare tale scelta a una ragione non solo estetica ma anche strutturale, da ricercare nei due primi cantieri promossi dai sovrani angioini a Napoli. Infatti, nel coro della basilica laurenziana, la forma geometrica complessa e l'apertura di numerosi vani finestrati ha comportato un indebolimento della struttura che è stata sottoposta nel corso dei secoli a numerosi rimaneggiamenti. Al contrario, la chiesa lucerina è sopravvissuta incolume a molti terremoti, tra cui il più grave nel 1627. La difficoltà nel prevedere grandi aperture finestrate in questi edifici potrebbe pertanto aver contribuito alla nascita di un nuovo linguaggio con differenti soluzioni formali.

Conclusioni

In conclusione, l'adozione di una carpenteria lignea a due falde per la copertura della nave centrale non fu solo in linea con la tradizione locale ma comportò anche la riduzione di problemi tecnici nella realizzazione degli edifici, prodotti dalla compresenza di maestranze locali e allogene, contribuendo a renderli meno fragili a livello statico. L'assenza di strutture voltate sulla navata centrale permetteva la riduzione del rischio di crolli in assenza di adeguati presidi statici o di materiali con caratteristiche idonee a supportare il carico spingente delle volte sulle pareti laterali, e infine, in presenza di terremoti, riduceva il rischio di dissesti o indebolimenti della struttura.

L'ipotesi proposta in questo breve contributo non può che restare tale in assenza di nuova documentazione relativa al terremoto del 1293. Si auspica che il proseguo della ricostruzione dei Registri Angioini, attualmente fermo all'anno 1294[18], e nuove collaborazioni interdisciplinari possano fornire ulteriori soluzioni ad alcune problematiche, tra cui quella dell'incidenza dei terremoti nello sviluppo di modelli costruttivi e nella definizione di un determinato sistema strutturale.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Prof. Alessandro Viscogliosi che in una prima fase ha incoraggiato una mia riflessione su questo tema.

Fonti edite

RCA: *I Registri della Cancelleria Angioina* ricostruiti da R. Filangeri con la collaborazione degli archivisti napoletani, 50 volumi, 1950- 2010. Napoli: Arte tipografica Editrice.

Bibliografia

Bertaux É. 1899. *Santa Maria di Donnaregina e l'arte senese a Napoli nel secolo XIV*. Napoli: F. Giannini.

Bertaux E. 1905. Les artistes français au service des rois de Naples. Gazette des Beaux-Arts, 32, 265-281; 34, 89-115 ; 34, 313-325.

Bruzelius C.A. 1991. Ad Modum Franciae: Charles of Anjou and Gothic Architecture in the Kingdom of Sicily. Journal of the Society of Architectural Historians, 50, 402-442.

Bruzelius C.A. 1994. Il coro di San Lorenzo Maggiore e la ricezione dell'arte gotica nella Napoli angioina. In: *Il Gotico europeo in Italia* (a cura di V. Pace e M. Bagnoli). 265-277. Napoli: Electa.

Bruzelius C.A. 2005. San Lorenzo Maggiore e lo studio francescano di Napoli: qualche osservazione sul carattere e la cronologia della chiesa medievale. In: *Le chiese di San Lorenzo e San Domenico: gli ordini mendicanti a Napoli* (a cura di S. Romano, N. Bock). 27-50. Napoli: Electa.

Carannante A. 2022. L'architettura ecclesiastica all'epoca di Carlo II d'Angiò: riflessioni sulla definizione di un modello costruttivo. In: *Architettura medievale: il Trecento, modelli, tecniche, materiali* (a cura di S. Beltramo, C. Tosco). (in corso di stampa).

Carannante A. 2021. *La fabbrica regia della cattedrale di Santa Maria Assunta a Lucera, nel contesto dell'architettura di derivazione francese in Italia meridionale*. Tesi di dottorato in co-tutela in Storia dell'Architettura. Sapienza Università di Roma, Université Sorbonne de Paris.

Castelli V. 1992. A 'cluster' of earthquakes in the Apennines at the end of XIII century. Terra Nova, 5, 496-502.

Chierici G. 1929. Il restauro della chiesa di San Lorenzo a Napoli. Bollettino Arte, 9, 24-39.

Cigni F. 2003. Le abbazie cistercensi di Santa Maria di Realvalle e Santa Maria della Vittoria. Rivista cistercense, 20(2), 191-212.

Coden F. 2010. "Terremotus maximus fuit": il sisma del 1117 e l'architettura medioevale dell'area veronese. Arte veneta, 67, 7-25.

D'Auria S., De Feo E. 2017. *La chiesa di Sant'Eligio al mercato a Napoli. Storia, indagini documentarie, rilievi, analisi storica*. Napoli: CUA - Coop. Univ. Athena.

De Sanctis M. L. 1993. L'abbazia di Santa Maria di Realvalle: una fondazione cistercense di Carlo I d'Angiò. Arte medievale, VII, 153-196.

De Verneilh F. 1861. Le Style ogival en Italie. Annales archéologiques, 21, 67-79.

Di Marco G. 2014. Conflitti sociali e ceti emergenti: giudici e notai a Sessa nel 15. Secolo. Rivista storica del Sannio, Serie 3, 14, 231-264.

Egidi P. 1909-1910. Carlo I d'Angiò e l'Abbazia di S. Maria della Vittoria presso Scurcola. Archivio storico per le province napoletane 34, 252-291, 732-767; 35, 1910, 15-175.

Enlart C. 1894. *Origines françaises de l'architecture gothique en Italie*. Paris: Thorin & fils Editeur.

Fiengo G., Guerriero L. 1996. Maestri di muro nella Campania angioina e aragonese, In: *Magistri d'Europa* (a cura di S. Della Torre, T. Mannoni, V. Pracchi). 177-192. Milano: NodoLibri.

Forgione R. 2005. L'abbazia di Santa Maria di Realvalle. Lettura storico-critica delle fonti per un'ipotesi di configurazione dell'impianto angioino. Apollo, 20, 25-67.

Gaudiosi G., Alessio G., Nappi R., Noviello V., Spiga E., Porfido S. 2020. Evaluation of Damages to the Architectural Heritage of Naples as a Result of the Strongest Earthquakes of the Southern Apennines. Applied Sciences, 10-19.

Guidoboni E., Comastri A., Traina G. 1994. *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century*. Roma- Bologna: INGSGA.

Guidoboni E., Ferrari G. 2000. The effects of earthquakes in historical cities: the peculiarity of the Italian case. Annali di Geofisica, 43(4), 667-686.

Guidoboni E. 2003, Les tremblements de terre méditerranéens de l'antiquité au XVe siècle: lignes méthodologiques et problèmes d'une recherche multidisciplinaire. In : *Variazioni climatico-ambientali e impatto sull'uomo nell'area circum-mediterranea durante l'Olocene* (a cura di C. Albore Livadie, F. Ortolani), 141-154. Bari: Edipuglia.

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

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. 2018. CFTI 5Med, *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.- 1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.- 1500)*. Roma: INGV.

Krüger J. 1985. *S. Lorenzo Maggiore in Neapel. Eine Franziskanerkirche zwischen Ordensideal und Herrschaftsarchitektur*. Kevelaer: ⁊Butzon & Bercker.

Lenormant F. 1883. Premier rapport à M. le Ministre de l'instruction publique sur une mission archéologique dans le midi de l'Italie. Gazette archéologique, 8, 12-20, 183-184.

Pistilli P. 2006. Architetti oltremontani al servizio di Carlo I d'Angiò nel regno di Sicilia, In: *Arnolfo di Cambio e la sua epoca: Costruire, scolpire, dipingere, decorare, Atti del convegno internazionale di studî* (a cura di V. Franchetti Pardo), Firenze-Colle di Val d'Elsa, 7-10 marzo, 263-276. Roma: Viella,

Perrey A. 1846-47. Mémoire sur les tremblements de terre de la péninsule italique. Mémoires Couronnés et Mémoires des Savants Étrangers de l'Académie Royale de Belgique, 22.

Sergi C. 2009. *Architetture e terremoti: esegesi delle strutture medievali asismiche in Calabria: nozioni per il restauro di edifici storici.* Reggio di Calabria: Laruffa.

Speciale L. 2005. Il discorso di Demetrio Salazaro, "Sulla coltura artistica dell'Italia Meridionale dal IV al XIII secolo", e una nota a margine In: *Interventi sulla "questione meridionale" Centro studi sulla civiltà artistica dell'Italia meridionale "Giovanni Previtali"* (a cura di F. Abbate). 411-420. Roma: ESI.

Terenzi P. 2018. Earthquakes, society and politics in L'Aquila in the fourteenth and fifteenth centuries. In: *Disaster narratives in early modern Naples* (a cura di D. Cecere, C. De Caprio, L. Gianfrancesco, P. Palmieri), 93-108. Roma: Viella.

Note

1. Si citano i terremoti del 1315, 1349 e 1461-62.
2. Si veda la bibliografia citata all'interno del volume.
3. Si veda la bibliografia citata.

4. Il primo riferimento è del 30 giugno 1279, il re ordina nell'abbazia di Realvalle la realizzazione di alcune pietre poste sopra ai capitelli «alios lapides, qui erunt supra capitella» che vengono chiamate in francese «charche». È presumibile si tratti di quelle che oggi in francese vengono definite «tas-de-charge», cioè la zona, posta ai vertici della volta a crociera, dove gli archi convergono e si riuniscono intersecandosi sopra i peducci. Più genericamente si intende la porzione inferiore di un arco o di una volta dove la pietra è posta su letti orizzontali e non radiali. È probabile pertanto che si tratti di elementi che servivano non solo per gli archi ma anche per le volte con cui, con molta probabilità era coperta la chiesa. Sulle pareti si possono individuare tutt'oggi elementi come l''imposta delle volte a crociera che coprivano le navate laterali. Sulla copertura della navata centrale si possono solo predisporre ipotesi (Forgione, 2005: 40).
5. Come quello del 1456 per l'abbazia di Santa Maria di Realvalle.
6. È noto che nel caso di Sant'Eligio venne ceduto il terreno per la costruzione nel 1270 a tre mercanti di origine francese ma non si hanno altre date per ricostruire la storia dell'edificio (D'Auria e De Feo, 2017: 29-39; Bruzelius, 2005: 14-23).
7. «L'architecte de cette église a été Français, et même, suivant toutes les probabilités, natif de l'Île-de- France, dont il a transporté le style et l'art sans modification dans la Pouille. Sur un seul point, il s'est écarté de ce que l'on faisant dans la France, en se rendant bien compte des conditions particulières qu'imposait un phénomène naturel très fréquent dans le pays où il avait à construire. Il a compris que, dans une contrée sujette aux tremblements de terre, les voûtes sur croisées d'ogives, telles qu'on les faisait sur notre sol, cette merveille d'équilibre obtenue par un savant calcul de la poussée des matériaux, se disloqueraient à la première secousse et par leur dislocation, si elles ne s'écroulaient pas immédiatement, compromettraient toute la solidité de l'édifice. Il y a donc renoncé et les a remplacées par une simple charpente apparente que son élasticité devait mettre en mesure de résister victorieusement aux effets de l'ébranlement du sol » (Lenormant, 1883: 17-18). *Idem*.
8. «L'absence de voûtes a pour cause à la fois l'économie, la crainte des tremblements de terre et l'inhabilité des maçons italiens que les architectes français durent employer» (Enlart, 1894: 210).
9. Questo edificio trova a sua volta i modelli nell'architettura domenicana di Roma e in particolare nella Basilica di Santa Maria sopra Minerva, del XIII secolo (Carannante, 2021).
10. Il terremoto con epicentro nella zona del Sannio- Matese avvenne il 04.09.1293.
11. «Anno Domino 1293. Regnante Carolo Secundo die 4 Settembris, qui fuit dies Veneris, nocte ante Solis ortum terraemotus magnus factus est per terram laboris et maxime Suessae». Di Marco 2014, 59.
12. RCA, n.46, 1276-94, n. 431, 103.
13. RCA, n.46, 1276-94, n. 181, 46.
14. RCA, n.48, 1293-94, n. 43, 141.
15. RCA, n.46, 1276-94, n. 259, 61.
16. «Notatur Bertrando de Bellomonte militi provisio pro solutione unciarum 120 in compensatione damnorum passorum ex terremotu qui hoc anno presenti in partibus illis imminuit et dirigitur iusticiario Capitinate, sub die XV aprelis VIIe indictionis» (RCA, 46: 1276-94; 430, 103).
17. Krüger 1985, 129; RCA 1979 it. XXVII/1, n.292, 298.
18. RCA (*Registri della Cancelleria Angioina)*.

Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino

L'evoluzione storica della sicurezza sui luoghi di lavoro: da Filippo Brunelleschi al D. Lgs. 81/2008

Historical evolution of safety in the workplace: from Filippo Brunelleschi till today

Sommario

La Cupola della Cattedrale di Santa Maria del Fiore, con un'altezza di oltre 116 metri, un diametro interno di 45,5 metri ed esterno di 54,8 metri, è la più grande volta in muratura del mondo. Progettata e realizzata tra il 1420 e il 1436 dall'architetto, ingegnere, scultore, matematico Filippo di ser Brunellesco Lapi vanta, inoltre, un altro primato legato alle grandi doti gestionali del Brunelleschi: dagli annali storici dell'Opera del Duomo risulta che, dei 265 lavoratori impiegati in sedici anni di costruzione, soltanto otto si infortunarono, peraltro in modo lieve, mentre un solo operaio, Nencio di Chello, nel 1422 cadendo da un'impalcatura perse la vita. Questi numeri erano in forte controtendenza con l'alta mortalità tipica delle costruzioni del tempo. Il merito di questo primato è da attribuire al Brunelleschi, il quale diede vita a un cantiere che consentiva da un lato di procedere speditamente nell'edificazione e dall'altro ai lavoratori di operare in sicurezza. Per la realizzazione della Cupola, Brunelleschi scrisse nel 1420 il "Dispositivo", un documento che conteneva il cronogramma dei lavori e chiariva l'idea progettuale attraverso le disposizioni costruttive e le modalità di realizzazione con metodica attenzione ai particolari. II "Dispositivo" è paragonabile agli attuali Piani di Sicurezza e Coordinamento e sempre Brunelleschi, assolvendo idealmente al compito di Coordinatore in fase di esecuzione, nel 1426, provvede a revisionarlo precisando le variazioni costruttive e metodologiche riscontrate in corso d'opera. Partendo dal "Dispositivo" del Brunelleschi e dagli accorgimenti da lui adottati per tutelare la vita dei lavoratori impiegati nella costruzione della Cupola della Cattedrale di Santa Maria del Fiore, il presente lavoro esamina l'evoluzione storica della sicurezza sui luoghi di lavoro, analizzando il primo Regolamento generale in materia di prevenzione infortuni emanato del 1899 in piena Rivoluzione Industriale, il Regolamento di disciplina dell'igiene del lavoro del 1927, la Costituzione Italiana del 1948, prezioso e insostituibile strumento di promozione della salute e sicurezza dei lavoratori, fino al Decreto Legislativo n. 81 del 9 aprile 2008.

Abstract
The Cathedral of Santa Maria del Fiore's Dome is the largest masonry vault in the world for its over 116 meters height, an internal diameter of 45.5 meters and an external diameter of 54.8 meters. It was designed and built between 1420 and 1436 by the architect, engineer, sculptor, mathematician Filippo di ser Brunellesco Lapi. It also boasts another record linked to Brunelleschi's great management skills: from the historical annals of the 'Opera del Duomo' it appears that among workers employed, only eight out of two hundred and sixty-five were slightly injured in sixteen years of construction. Only one worker, named Nencio di Chello, fell from a scaffolding lost his life in the 1422. These numbers were in strong contrast with the high mortality typical of the buildings of the time. This primacy is attributed to Brunelleschi because he achieved a construction site very productive and safe at the same time. Brunelleschi wrote the "Device" in 1420 about the construction of the Dome. This document contained the chronogram of the works and the methods of construction with particular attention to detail. The "Device" is comparable to the current Safety Plans and Brunelleschi to the modern Executive Coordinator. In 1426 he already revised it and specified the constructive and methodological changes found during construction. Starting from Brunelleschi's "Device" and his safety precautions adopted in the construction of Cathedral of Santa Maria del Fiore's Dome, this work examines the historical evolution of safety in the workplace from the first general regulations on accident prevention issued in 1899, up to the Legislative Decree No. 81 of April 9, 2008, consolidated law about the health and safety of workers.

Filippo Brunelleschi e la sicurezza nel cantiere della Cupola di Santa Maria del Fiore
La Cupola della Cattedrale di Santa Maria del Fiore, in Figura 1, la cui altezza è pari a oltre 116 metri e il cui diametro interno è di 45,5 metri, mentre quello esterno è di 54,8 metri, risulta essere la più grande volta in muratura del mondo.

L'opera, realizzata tra il 1420 e il 1436, vanta anche altri primati, collegati alla sicurezza sui luoghi di lavoro. Il merito è da attribuirsi alle abili doti gestionali e organizzative dell'ingegnere, architetto, scultore e matematico italiano Filippo di ser Brunellesco Lapi, cui fu affidata la costruzione della Cupola a seguito della partecipazione al bando del 1418. Infatti, nonostante si trattasse di un cantiere unico nel suo genere e a elevato rischio infortunistico, in quanto sviluppato a oltre 50 metri dal suolo, come si evince dall'edizione on line delle fonti amministrative conservate nell'Archivio dell'Opera [1], dei 265 lavoratori impiegati nei sedici anni di costruzione soltanto 8 si infortunarono, peraltro in modo lieve, mentre un solo operaio, Nencio di Chello, nel 1422, cadendo da un'impalcatura perse la vita. Tali numeri, in forte controtendenza rispetto all'alto tasso di mortalità tipico delle costruzioni del tempo, testimoniano le qualità organizzative di Brunelleschi, il quale diede vita a un

Fig. 1 – Firenze: cattedrale di Santa Maria del Fiore, sezione della croce in senso nord-sud attraverso la cupola e la prima e la terza tribunetta (Sgrilli, 1733; tav. V).

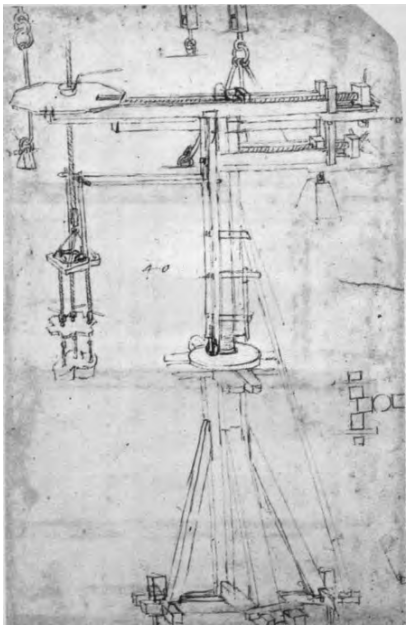


Fig. 2 – Leonardo da Vinci, Gru girevole di Brunelleschi (1480 circa; Milano, Biblioteca Ambrosiana, Codice Atlantico, c. 965, recto).

cantiere in cui le maestranze, pur procedendo speditamente nell’edificazione della Cupola, operavano in sicurezza tutelando la loro incolumità.

Molteplici furono gli accorgimenti adottati per garantire la sicurezza delle maestranze; uno di questi fu la progettazione di una gru girevole contrappesata, in Figura 2, per posizionare in sicurezza e con grande precisione i pesanti blocchi di marmo della lanterna sovrastante la Cupola.

Nonostante nessun lavoratore fosse obbligato a lavorare in quota, Brunelleschi aggiunse ai ponteggi dei parapetti per evitare le cadute e dispose che le impalcature fossero provviste di pareti verticali per impedire ai lavoratori di guardare in basso; così facendo si ridussero drasticamente gli infortuni per caduta degli operai dal ponteggio e i pochi incidenti furono dovuti, per lo più, alla caduta dall’alto di materiale da costruzione. Agli infortunati veniva, comunque, riconosciuto un periodo di convalescenza retribuito e, in caso di incidente mortale, l’Opera si accollava le spese necessarie per il funerale (Haines, 2009).

Il cantiere era molto grande e Brunelleschi tendeva a migliorare le condizioni di lavoro delle maestranze, anche per aumentarne la produttività: «Era già cresciuta la

fabbrica tanto alto, che era uno sconcio grandissimo, salito che uno vi era, inanzi si venisse in terra; e molto tempo perdevano i maestri nello andare a desinare e bere, e gran disagio per il caldo del giorno pativano. Fu adunque trovato da Filippo ordine che si aprissero osterie nella cupola con le cucine, e vi si vendesse il vino, e così nessuno si partiva del lavoro se non la sera. Il che fu a loro commodità, et all'opera utilità grandissima» (Vasari, 1550).

Sin dall'inizio del cantiere, Brunelleschi trascrisse all'interno di un documento, denominato Dispositivo, il cronogramma dei lavori della Cupola, in cui chiariva, in modo dettagliato, l'idea progettuale e definiva le disposizioni costruttive e le modalità di realizzazione. Nel 1426 il documento fu revisionato con tutte le variazioni costruttive e metodologiche riscontrate in corso d'opera. Il Dispositivo, ad esempio, chiariva in dodici punti l'esatta successione delle operazioni necessarie a "voltare" la Cupola e ne descriveva dettagliatamente la realizzazione (Gudelj e Nicolin, 2006).

Questa attenzione al piano dei lavori rende il documento di grande modernità e, dal punto di vista della sicurezza sul lavoro, è possibile idealmente assimilare l'operato del Brunelleschi al ruolo del Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione, mentre il Dispositivo può essere paragonato all'attuale Piano di Sicurezza e Coordinamento. Il documento prevedeva, infatti, non solo l'indicazione delle singole operazioni da compiere, ma anche le tecniche di realizzazione delle stesse e teneva conto degli aspetti legati alla sicurezza degli operatori nello svolgimento delle varie lavorazioni, come mostrato nell'esempio in Figura 3.

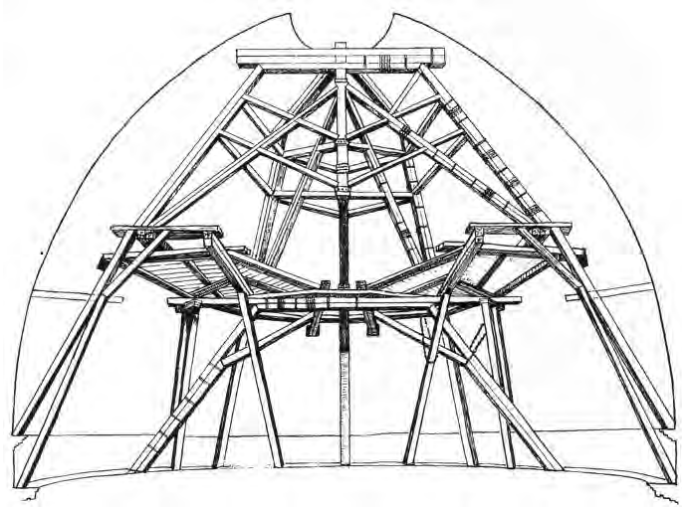


Fig. 3 – Ricostruzione dei ponteggi interni della cupola di Brunelleschi (Giovan Battista Nelli, seconda metà del XVII secolo; Firenze, Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe).

La sicurezza dalla Rivoluzione industriale alla nascita della Repubblica Italiana

I primi veri riferimenti normativi in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro risalgono, in Italia, alla seconda metà del 1800 e sono strettamente collegati al processo di industrializzazione. In quegli anni, il crescente numero di lavoratori, anche giovani e giovanissimi, che si affacciava al mondo del lavoro o che passava dall’agricoltura al settore dell’edilizia, dal lavoro nelle cave o nelle miniere a quello nelle industrie, portò in breve tempo ad un incremento del numero degli infortuni. Gli incidenti e le perdite di vite umane connessi alla scarsa attenzione verso la tutela degli operatori e le carenti condizioni igieniche.

Le precarie condizioni lavorative e la conseguente domanda di tutela dei lavoratori portarono alla nascita delle organizzazioni sindacali e, in breve tempo, all’emanazione di atti normativi a tutela dei lavoratori. Nel 1869 fu creata con Regio Decreto la “Commissione Consultiva del Lavoro e della previdenza sociale” [2], che portò alla istituzione dell’assicurazione sugli infortuni sul lavoro, sancita dalla Legge n.80 del 17 marzo 1898, primo atto normativo organico che affronta il tema della sicurezza sul lavoro in Italia.

Successivamente, nella Gazzetta Ufficiale n.148 del 26 giugno 1899, vennero pubblicati tre importanti regolamenti in materia di tutela dei lavoratori:

– il R.D. 18 giugno 1899, n. 230, “Regolamento generale relativo alla prevenzione degli infortuni nelle imprese e nelle industrie, alle quali si applica la legge 17 marzo 1898, n. 80”;
– il R.D. 18 giugno 1899, n. 231, “Regolamento generale relativo alla prevenzione degli infortuni nelle miniere e nelle cave”;
– il R.D. 18 giugno 1899, n. 232, “il Regolamento generale relativo alla prevenzione degli infortuni nelle imprese ed industrie che trattano o applicano materie esplodenti”, che rappresenta un primo importante riferimento normativo in materia di prevenzione incendi nei luoghi di lavoro.

Con il Regio Decreto n. 205 del 1900 fu pubblicato il “Regolamento per la prevenzione degli infortuni nelle costruzioni” (Re d’Italia, 1900), in cui già all’art.1 si precisa: «Nei lavori di costruzione ... devono essere prese tutte le necessarie precauzioni per garantire la sicurezza e la incolumità di coloro che trovansi addetti ai lavori, sia per cadute di materiali od altri oggetti, sia per mancanza o deficienza o imperfezione delle necessarie opere provvisionali».

La crescente attenzione al tema della sicurezza portò alla emanazione nel 1904 del Testo Unico n. 51 e del relativo regolamento di attuazione approvato con R.D. n. 141, che, accorpando le disposizioni precedenti, riordinarono in modo omogeneo la normativa in materia di infortuni sul lavoro.

Solo nel 1927 venne poi pubblicato il primo atto normativo relativo all’igiene del lavoro con il R.D. n.530.

Negli anni successivi, il Codice di procedura penale italiano del 1930, il cosiddetto Codice Rocco, agli articoli 437 e 451, introdusse la sanzionabilità dell'inosservanza degli obblighi di prevenzione, mentre nel 1942, con il nuovo Codice Civile, all'art. 2087 venne analizzata compiutamente la tutela delle condizioni di lavoro, precisando che «l'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro». Tali articoli sono tutt'ora vigenti.

Il 27 dicembre 1947 fu promulgata la Costituzione della Repubblica Italiana, entrata in vigore il 1° gennaio del 1948, che rappresenta anche un prezioso ed insostituibile strumento di promozione della salute e della sicurezza dei lavoratori.

In particolare l'articolo 32 prevede che "La Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività, e garantisce cure gratuite agli indigenti", introducendo per la prima volta come principi inviolabili per i lavoratori, l'incolumità fisica e il diritto a lavorare in un ambiente salubre.

La moderna sicurezza sul lavoro

La ricostruzione del Paese del secondo dopoguerra e la grande crescita economica di quegli anni portarono in breve all'incremento di infortuni sul lavoro e di malattie professionali. Ciò spinse il Parlamento a emanare la legge sulla prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro", la L. 51/1955 (Parlamento Italiano, 1955), a valle della quale furono emanati alcuni importanti dispositivi legislativi, tra i quali il D.P.R. 27 aprile 1955 n.547 in materia di prevenzione degli infortuni sul lavoro (Presidente della Repubblica, 1955), il D.P.R. 19 marzo 1956 n. 303 sull'igiene del lavoro (Presidente della Repubblica, 1956a) e il D.P.R. 7 gennaio 1956 n. 164 relativo alla prevenzione degli infortuni nel settore delle costruzioni (Presidente della Repubblica, 1956b); questi tre decreti sono rimasti in vigore per oltre cinquanta anni, fino all'emanazione del D.Lgs. 9 Aprile 2008, n. 81.

Un ruolo importante in materia di tutela del lavoro è stato, inoltre, rivestito per quaranta anni dallo Statuto dei diritti dei lavoratori, approvato con la L. 300 del 20 maggio 1970 (Presidente della repubblica, 1970), vera svolta dal punto di vista sia politico che giuridico, che ha sancito alcuni diritti fondamentali del lavoratore e delle sue rappresentanze sindacali.

A partire dagli anni '60 del Novecento, la Comunità europea emanò una serie di direttive volte ad assicurare la prevenzione degli infortuni sul lavoro. In particolare, queste direttive seguivano il cosiddetto filone di mercato, ossia sono indirizzate ai fabbricanti di attrezzature di lavoro, come la "Direttiva macchine" (Parlamento europeo, 2006), oppure miravano alla tutela della salute nei luoghi di lavoro e tra queste Direttiva quadro n. 89/391/CEE (Consiglio europeo, 1989) e i suoi strumenti attuativi. Queste e altre direttive sull'argomento furono recepite nell'ordinamento nazio-

nale attraverso il D.Lgs. n. 626 del 19 settembre 1994 (Governo Italiano, 1994), che introduceva anche in Italia i principi di organizzazione e gestione in sicurezza dei processi lavorativi. Al D.Lgs. 626/94 si affiancò il D.Lgs. n.494 del 14 agosto 1996 (Governo italiano, 1996), che riguardava la sicurezza del lavoro nei cantieri edili.

L'ultimo strumento legislativo, che ha l'obiettivo di attuare un grande progetto globale di sicurezza, è il Decreto Legislativo n. 81 (Parlamento italiano, 2008), noto come Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro, corretto ed integrato con il successivo D.Lgs. 106 del 2009 (Parlamento italiano, 2008). Attraverso i 306 articoli e 51 allegati del Testo Unico, il Legislatore ha voluto razionalizzare e coordinare le molteplici disposizioni legislative emanate durante mezzo secolo cercando di rendere puntuale e univoca l'applicazione delle misure di sicurezza nei luoghi di lavoro. Molteplici gli attori coinvolti e tra questi la Consulta Interassociativa Italiana per la Prevenzione-CIIP, nata nel 1989 per volontà di alcune tra le più rappresentative Associazioni professionali e scientifiche che operano nei settori della medicina del lavoro, dell'igiene industriale, della prevenzione ambientale, della sicurezza del prodotto e dell'ergonomia. La CIIP da sempre svolge un ruolo fondamentale per l'integrazione delle conoscenze e l'armonizzazione delle risposte alle principali problematiche della prevenzione e della sicurezza dei lavoratori.

Il Testo Unico, frutto della condivisione con Regioni e organizzazioni sindacali e datoriali, ha definitivamente chiarito che la sicurezza sul lavoro non può essere applicata in modo statico ma dinamico, ossia strettamente connesso all'evoluzione del contesto lavorativo di riferimento e al progresso tecnico e tecnologico.

La tendenza consolidata nell'ambito della sicurezza e della prevenzione è ormai quella di considerare quale fulcro della sicurezza in azienda non più la macchina ma l'uomo, introducendo i concetti fondamentali di partecipazione attiva di tutti lavoratori in materia di tutela e prevenzione, anche attraverso la corretta informazione e formazione del personale.

Conclusioni

Obiettivo di questo contributo è stato analizzare l'evoluzione tecnica e normativa della tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, a partire dagli accorgimenti previsti nel cantiere della Cupola della Cattedrale di Santa Maria del Fiore curato da Filippo Brunelleschi.

Infatti, nonostante la forte attenzione posta ai temi della sicurezza e della prevenzione, va registrato che gli incidenti sul lavoro in Italia sono ancora molto frequenti. Nel solo 2021, secondo l'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, hanno perso la vita per infortuni sul lavoro oltre 1.400 lavoratori.

Si tratta di "una ferita sociale lacerante", così come ricordato dal Presidente della Repubblica, Sergio Mattarella in occasione della 71esima Giornata nazionale per le vittime degli incidenti sul lavoro. Per il Presidente Mattarella: «la Costituzione all'art.

4 “riconosce a tutti i cittadini il diritto al lavoro e promuove le condizioni che rendano effettivo questo diritto” e affinché questo diritto sia effettivamente garantito, uno Stato democratico deve consentire a ognuno di svolgere la propria attività lavorativa, tutelandone la salute e assicurandone lo svolgimento nella più totale sicurezza».

Questi drammatici numeri devono portare tutti gli attori coinvolti nei processi decisionali e produttivi a diffondere, in modo sempre più capillare, la cultura della prevenzione, partendo dai giovani, futuri lavoratori.

Bibliografia di riferimento

Consiglio europeo. 1989. Direttiva 89/391/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1989, concernente l’attuazione di misure volte a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro. Gazzetta Ufficiale L 183 del 29.6.1989.

Conti G., Corazzi R. 2005. *La Cupola di Santa Maria del Fiore raccontata dal suo progettista Filippo Brunelleschi*. Livorno: Le Sillabe.

Di Pasquale S. 2002. *Brunelleschi. La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore*. Venezia Marsilio.

Governo italiano. 1994. Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. D.Lgs. n. 626 del 19 settembre 1994. Gazzetta Ufficiale n. 265 del 12.11.1994 S.O. n. 141.

Governo italiano. 1996. Attuazione della direttiva 92/57/CEE concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili. Decreto Legislativo n. 494 del 14 agosto 1996. *Gazzetta Ufficiale* n. 223 del 23 settembre 1996 S.O. n. 156.

Guasti C. 1974. *La cupola di Santa Maria del Fiore*. Firenze: Arnaldo Forni Editore.

Gudelj J., Nicolin P. (a cura di). 2006. *Costruire il dispositivo storico : tra fonti e strumenti*. Milano: Bruno Mondadori.

Haines M. 2009. Lavorare sulla Cupola: sicurezza e coraggio al tempo di Brunelleschi. Presentazione Gli anni della Cupola - OPA Centro Arte e Cultura.

King R. 2001. *La cupola di Brunelleschi*. Milano: Rizzoli.

Parlamento europeo. 2006. Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 maggio 2006, relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE (rifusione). Gazzetta ufficiale dell’Unione europea L 157/24 del 9.6.2006.

Parlamento italiano. 1955. Delega al Potere esecutivo ad emanare norme generali e speciali in materia di prevenzione degli infortuni e di igiene del lavoro. L. n.51 del 12 febbraio 1955. Gazzetta Ufficiale n. 54 del 7.3.1955.

Parlamento italiano. 2008. Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008. Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30.4.2008 S.O. n. 108.

Parlamento italiano. 2009. Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro D.Lgs. n. 106 del 3 agosto 2009. Gazzetta Ufficiale n. 180 del 05-08-2009 S.O. n. 142.

Presidente della Repubblica. 1955. Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro. D.P.R. n. 547 del 27 aprile 1955. Gazzetta Ufficiale n. 158 del 12.7.1955 S.O.

Presidente della Repubblica. 1956a. Norme generali per l’igiene del lavoro. D.P.R. n. 303 del 19 marzo 1956 Gazzetta Ufficiale n. 105 del 30.4.1956 S.O.

Presidente della Repubblica. 1956b. Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni. D.P.R. n. 164 del 7 gennaio 1956. Gazzetta Ufficiale n. 78 del 31.3.1956.
Presidente della Repubblica. 1970. Norme sulla tutela della liberta’ e dignita’ dei lavoratori, della liberta’ sindacale e dell’attivita’ sindacale, nei luoghi di lavoro e norme sul collocamento. L. n. 300 del 20 maggio 1970. Gazzetta Ufficiale n. 131 del 27.5.1970.
Re d’Italia. 1900. *Approvazione del regolamento per la prevenzione degli infortuni nelle costruzioni contemplate dalla legge 17 marzo 1898, n. 80.* Regio Decreto n. 205 del 27.5.1900 n. 205. Gazzetta ufficiale n. 137 del 12.6.1900.
Rossi P.A. 1982. *Le cupole del Brunelleschi*. Bologna: Calderini.
Sanpaolesi P. 1977. *La Cupola di Santa Maria del Fiore. Il progetto; la costruzione*. Firenze: Edam.
Sgrilli B.S. 1733. *Descrizione e studi dell’insigne fabbrica di S. Maria del Fiore, Metropolitana Fiorentina*. Firenze: per Bernardo Paperini.
Vasari G. 1550. *Le vite de’ più eccellenti architetti, pittori, et scultori italiani, da Cimabue insino a’ tempi nostri*. Firenze: Nell’edizione per i tipi di Lorenzo Ferrentino.

Sitografia

[1] Gli anni della Cupola
http://duomo.mpiwg-berlin.mpg.de/
[2] Regio Decreto 5251/1869
https://www.normattiva.it/atto/caricaDettaglioAtto?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1869-09-14&atto.codiceRedazionale=069U5251&tipoDettaglio=originario&qId=&tabID=0.9328568803273545&title=Atto%20originario&bloccoAggiornamentoBreadCrumb=true

Federica Scibilia

Riparazione dei danni e presidi antisismici dopo il terremoto del 1818 in area etnea: il caso di Acireale

Damage repair and anti-seismic construction techniques after the 1818 earthquake in the Etna area: the case of Acireale

Sommario
Tra il 20 febbraio e il primo marzo 1818 si verificò in Sicilia un terremoto che investì l'area etnea, causando danni consistenti al patrimonio architettonico di circa sessanta centri, mentre in altri quaranta si verificarono danni più leggeri. Acireale, su cui è concentrato questo studio, fu tra le città maggiormente danneggiate. Il contributo intende indagare le modalità attraverso le quali ci si raffrontò con i problemi determinati dal sisma, approfondendo il ruolo dei professionisti coinvolti nel processo di valutazione dei danni e di riparazione delle fabbriche dissestate, ponendo particolare attenzione alle tecniche costruttive adottate nel processo di consolidamento e restauro degli edifici, al fine di evidenziare alcune pratiche connesse alla definizione di criteri progettuali antisismici. L'indagine è stata condotta attraverso l'analisi di alcuni casi studio ritenuti significativi, riferiti in particolare all'architettura monumentale di Acireale. La lettura incrociata delle fonti bibliografiche, tra le quali rivestono particolare interesse le cronache coeve, e della copiosa documentazione archivistica, in gran parte inedita e principalmente costituita dalle perizie prodotte dagli ingegneri, in alcuni casi corredate da capitolati delle opere da realizzare, è stata supportata dall'analisi diretta degli edifici volta alla comprensione degli interventi attuati. Particolare considerazione è stata riservata anche al raffronto tra le tecnologie adottate dopo il sisma del 1818 e quanto realizzato in occasione di precedenti terremoti, tanto in Sicilia quanto fuori dall'isola, al fine di evidenziare persistenze e innovazioni nella cultura costruttiva del tempo.

Abstract
Between February 20 and March 1, 1818, an earthquake struck the Etna area in Sicily, causing considerable damages to the architectural heritage of about sixty centers, while lighter damage occurred in another forty. Acireale - towards which it was decided to focus the present study - was among the cities most damaged. The contribution intends to investigate the ways in which we dealt with the problems caused

by the earthquake, deepening the role of the professionals involved in the damage assessment process and consequent reconstruction of the damaged buildings, with particular attention to the construction techniques adopted in the consolidation and restoration of buildings, in order to highlight some practices related to the definition of anti-seismic design criteria. The research was conducted through the analysis of some case studies deemed significant referring in particular to the monumental architecture of Acireale. The cross-reading of the bibliographic sources, among which contemporary chronicles are of particular interest, and of the copious archival documentation (largely unpublished) - mainly consisting of the expert reports produced by the engineers, in some cases accompanied by specifications of the works to be carried out - was supported by the direct analysis of the buildings aimed at understanding the interventions implemented. Particular consideration was also given to the comparison between the technologies adopted after the 1818 earthquake and what was achieved on the occasion of previous earthquakes in order to highlight persistence and innovations in the construction culture of the time.

Introduzione

Il 20 febbraio 1818 un violento terremoto investì l'area etnea e fu avvertito in tutta la Sicilia fino a Palermo, nella Calabria meridionale e a Malta. Ulteriori scosse ebbero luogo il 28 febbraio e l'1 marzo con repliche che continuarono fino al mese di aprile dello stesso anno (Mariotti e Ciuccarelli, 2001).

I centri che registrarono i danni più consistenti al patrimonio architettonico furono circa sessanta, mentre in altri quaranta si verificarono danni più leggeri.

Gli studi relativi a questo evento sismico, fondati in alcuni casi su una solida base documentaria, hanno preso in considerazione vari aspetti, da quelli politici e sociali (Iachello, 2000; Patanè, 1998), ad altri più specificatamente rivolti all'analisi delle tecniche costruttive, attraverso la disamina di alcune fabbriche (Dato e Magnano di San Lio, 1999; Lo Faro e Salemi, 2009; Lo Faro et al., 2018; Scibilia, 2021), principalmente concentrate nella città di Catania. Quasi del tutto trascurato dalla storiografia architettonica è stato il caso di Acireale, oggetto della ricerca qui presentata che, insieme ai vicini centri di Aci Consolazione, Aci Santa Lucia, Aci Catena, Aci Sant'Antonio e Aci San Filippo, registrò danni consistenti al patrimonio architettonico.

Grazie all'abbondanza delle fonti reperibili, costituite principalmente da cronache coeve e, soprattutto, da una copiosa documentazione rinvenuta presso l'Archivio di Stato di Catania, in particolare i fondi Intendenza borbonica (Patanè, 1998; Iachello, 2000: 19-54) e Commissione pe' tremuoti di Catania (Calabrese, 2013), e l'Archivio Storico Comunale di Acireale (fondo Corte dei Giurati), è stato possibile esaminare i danni provocati in questo centro dal sisma del 1818 e i conseguenti lavori di riparazione e restauro. Nella consapevolezza di non potere trattare in questa

sede in modo esaustivo gli interventi attuati nella totalità delle fabbriche monumentali di Acireale, si è scelto di approfondire tre casi studio, la cui analisi si è rivelata funzionale alla formulazione di più ampie considerazioni relative al tema dei presidi antisismici nella cultura costruttiva del tempo.

Gli effetti del sisma ad Acireale: la gestione dell'emergenza e la rilevazione dei danni

«Tu Aci-Reale, ornata da un molo securo, da sontuosi Palagi, ricchi Templi, e magnifici, da Fortificazioni, Biblioteche, e tutto ciò per cui vai superba a quest'ora non sei che rottame». Con queste parole dai toni drammatici, l'anonimo autore del memoriale Il tremuoto de 20 febbraro 1818. Notte, identificato con il letterato acese Lionardo Vigo che fu testimone oculare del disastroso evento, esprimeva efficacemente lo stato di desolazione nel quale si trovava Acireale all'indomani del sisma che il 20 febbraio 1818 colpì duramente la città. Oltre a quest'opera, altri due testi a stampa di autori coevi, Memoria storico-fisica sul tremuoto de' 20 febbraio 1818 di Agatino Longo e Osservazioni sui tremuoti in occasione del tremuoto che scosse orribilmente la città di Catania la sera de' 20 febbraro 1818 di Baldassarre Spampinato, del 1818, forniscono significative informazioni sui danni e contengono utili riflessioni di natura costruttiva, restituendo uno spaccato significativo della cultura tecnica del tempo.

All'epoca del sisma Acireale era un centro fiorente, la cui economia era principalmente legata alla produzione della seta e del lino, con un tessuto urbano caratterizzato da numerose chiese, conventi e diversi palazzi nobiliari, il cui fulcro era caratterizzato dalla piazza Duomo, luogo di edificazione delle più significative architetture cittadine, rappresentate dalla chiesa Madre e dal palazzo del Municipio, l'antica Loggia Giuratoria, simboli rispettivamente del potere religioso e laico, oltre che dalla chiesa dei SS. Pietro e Paolo.

Dagli studi condotti su questo evento sappiamo che per fronteggiare l'emergenza determinata dal terremoto nell'intera area etnea, l'Intendente di Catania[1], il duca Stefano Sammartino di Montalbo, coadiuvato dal Segretario generale, Vincenzo Gagliani, istituì rapidamente un proprio ufficio, reclutando nove persone di "onoratezza e di abilità"[2] per costituire quattro Commissioni per i tremuoti, che furono insediate presso i principali centri urbani di Catania, Acireale, Bronte e Adernò (oggi Adrano)[3]. Questi organi, alle dirette dipendenze dell'Intendente e ciascuno competente per i territori di pertinenza, godevano di ampi poteri ed erano composti da esponenti dell'aristocrazia locale e da un ingegnere che svolgeva il ruolo di coordinamento delle operazioni tecniche.

In una situazione di emergenza l'Intendente di Catania, in prima istanza, incaricò i tecnici delle Commissioni di effettuare una ricognizione sistematica del patrimonio edilizio dei centri colpiti al fine di constatare l'entità e la natura dei danni. Questa intensa attività portò alla formazione sia di quadri generali, che di perizie relative a

singole fabbriche finalizzate all'accertamento dei dissesti. Oltre a ciò, l'attività delle suddette Commissioni riguardò anche l'assegnazione dei fondi stanziati dal governo, l'approvazione dei progetti di restauro degli edifici danneggiati che ogni proprietario doveva obbligatoriamente presentare, nonché la vigilanza sulla qualità dei lavori.

La commissione di Acireale, in particolare, aveva competenza sui comuni di Calatabiano, Castiglione, Fiumefreddo, Linguaglossa, Mascali e Piedimonte (Iachello, 2000: 27-28).

In base alla classificazione dei comuni interessati dalla scosse sismiche, fondata sull'entità dei danni riscontrati che prevedeva una suddivisione in quattro classi, Acireale, insieme a Catania e altri centri minori, rientrava nella cosiddetta "seconda classe" riservata a quei comuni che avevano sofferto dissesti considerevoli agli edifici, ma nei quali non si erano verificati crolli[4], con un danno complessivo inizialmente stimato in 93.218 onze.

Dallo studio sulle vicende di Acireale successive al terremoto del 1818 (Patanè, 1998), basato sulla lettura delle cronache coeve e di documentazione d'archivio, si è a conoscenza dei provvedimenti presi dall'Intendente per fronteggiare l'emergenza, volti soprattutto a evitare disordini sociali, e della situazione che caratterizzava il patrimonio architettonico cittadino.

Dalla lettura del quadro dei danni relativo ad Acireale[5] si apprende che quasi tutti gli edifici pubblici, le chiese e la maggior parte delle abitazioni subirono dissesti. Tra le fabbriche maggiormente danneggiate rientravano il Palazzo Senatorio, 2742 onze, la chiesa Madre, 650 onze, oltre a numerose chiese e conventi, come quelli dei padri Domenicani, 1521 onze, dei Carmelitani, 1733 onze, la chiesa e il monastero di Sant'Agata, 1921 onze, la chiesa e il convento dei Padri Cappuccini, 1140 onze, il santuario fuori città di Santa Maria dell'Ellera, 631 onze e, nel quartiere di Aci Platani, dove si riscontrarono le maggiori rovine, le chiese di San Giuseppe, 1760 onze, e di Santa Maria del Carmine, 1950 onze. A questi edifici andavano ad aggiungersi i danni relativi alle case private con una distinzione tra proprietari "abili", ossia in grado di provvedere alle spese necessarie per il restauro degli edifici, ai quali furono concessi sgravi fiscali al fine di avviare rapidamente il processo di ricostruzione, e proprietari "inabili", le cui case furono riparate attingendo a denaro pubblico.

Casi di studio

La presente ricerca è stata incentrata sullo studio di tre fabbriche monumentali di carattere religioso, ubicate ad Acireale, tutte sufficientemente documentate dalle fonti archivistiche e che, per l'importanza rivestita in ambito cittadino o per le modalità di intervento attuate, sono state ritenute meritevoli di approfondimento.

In particolare, attraverso lo studio delle perizie elaborate dagli ingegneri dopo il sisma del 1818, sono stati esaminati gli interventi nella chiesa Madre, nella chiesa di San Giovanni Nepomuceno e nel complesso del convento e della chiesa di Sant'A-

gata. Per queste fabbriche i tecnici coinvolti nella valutazione dei danni e nel progetto dei conseguenti restauri furono gli ingegneri comunali Francesco di Paola Patané (1756-?) e Giovanni Maddem (1765-1846).

La chiesa Madre

La vicenda relativa ai restauri della chiesa Madre di Acireale, dedicata a Maria Santissima Annunziata, dopo il sisma del 1818 è lunga e complessa e si protrae per diversi anni.

La chiesa, avente un impianto originario risalente alla fine del Cinquecento, subì nel corso dei secoli successivi ampliamenti, dettati dall'esigenza di spazi di maggiori dimensioni, e modifiche, in parte dovute anche a precedenti terremoti, come quelli del 1693 e del 1783 (Raciti Romeo, 1933; Dato e Magnano Di San Lio, 1999: 51-53). In occasione del sisma del 1818 la fabbrica registrò notevoli danni, come attestato dalle fonti documentarie, la cui lettura ha consentito anche di mettere in luce le proposte di consolidamento e restauro.

La prime notizie relative alla chiesa in relazione al sisma del 1818 risalgono al 20 ottobre 1820, quando la municipalità cittadina venne autorizzata a provvedere ai restauri della fabbrica, affidando inizialmente il progetto all'ingegnere Francesco di Paola Patanè, il quale il successivo 24 ottobre redasse una relazione[6] in cui specificava i dissesti e i conseguenti interventi da attuare. Dalla lettura del documento si apprende che l'edificio a seguito del sisma «fu scompaginato e danneggiato, quasi dappertutto», con diffuse lesioni nelle volte della navata centrale, del transetto e della cappella del SS. Crocifisso, situata in corrispondenza dell'abside sud, dove anche l'arco di ingresso risultava lesionato. Notevoli dissesti erano rilevabili nel muro settentrionale, per il quale veniva previsto un immediato sostegno «per non degenerare in maggior rovina», e nella zona del Coro a oriente, interessata da una «sensibile lesione verticale, da terra divergente sino alla sommità», per la quale erano già stati realizzati in data di poco antecedente due contrafforti che, a giudizio dell'ingegnere, non assolvevano alla funzione richiesta a causa della cattiva qualità della costruzione. Anche la volta della sagrestia e le coperture risultavano danneggiate, provocando lo scolo delle acque piovane sulle volte (dammusi) e imbibendo le pareti, con il conseguente degrado anche degli stucchi interni. Ulteriori lesioni potevano essere osservate nel campanile posto a sud, a quella data l'unico esistente[7], come visibile anche dall'iconografia storica e dalla foto in Figura 1, dove al primo ordine le quattro catene in legno con «ritegni di ferro, per la vecchiezza si sono rese inoperose e inutili», mentre in corrispondenza dell'ultimo ordine «vi è diroccato un arco».

A giudizio del tecnico i lavori avrebbero dovuto riguardare principalmente la sarcitura di tutte le lesioni delle volte del transetto e della cappella del Crocifisso «per murarle a gesso forte» e la ricostituzione dei rinfianchi con l'utilizzo di inerti leggeri

Fig. 1 – Acireale: la chiesa Madre prima del 1887 con la facciata incompleta e un solo campanile (foto d'epoca).

di pomice legati con malta di calce, tecnica prevista anche per il consolidamento della volta della navata maggiore. Per l'arco in corrispondenza della stessa cappella era prescritto l'inserimento di cunei di ferro e la sigillatura del giunto con malta di calce e gesso. Ulteriori lesioni sarebbero state consolidate con schegge di pietra e malta di calce. L'intervento avrebbe dovuto riguardare anche l'eliminazione di otto edicole poste in corrispondenza degli altari laterali, giudicate «pesanti ed incoerenti, prodotti dal capriccio e non dal buon ordine di architettura ragionevole».

È probabile che la valutazione dell'ingegnere Francesco di Paola Patanè relativa alle condizioni della chiesa e ai conseguenti interventi di riparazione non fosse stata giudicata del tutto soddisfacente, se a distanza di circa un anno fu coinvolto l'ingegnere Giovanni Maddem, il quale il 15 novembre 1821 elaborò una ulteriore perizia sui danni prodotti dal terremoto nella chiesa Madre[8]. Alla relazione era allegato il capitolato esecutivo delle opere, nel quale si fa riferimento ad alcuni elaborati progettuali (non rinvenuti) dello stesso architetto. Maddem individuava la maggiore causa di debolezza delle strutture nell'insufficiente dimensionamento delle fonda-

zioni e prevedeva una serie di interventi volti al loro rafforzamento. In particolare prescriveva i seguenti consolidamenti:

- realizzazione di un contromuro in corrispondenza del fronte settentrionale su cui insistevano le spinte delle volte delle cappelle laterali, risultato fortemente lesionato dopo il terremoto. Il contromuro doveva essere in pietra squadrata con una fondazione profonda e con il posizionamento dei conci "a lancia", in modo da realizzare un adeguato ammorsamento della nuova muratura con quella preesistente, facendo anche ricorso all'uso di conci diatoni da inserire a forza mediante il taglio delle murature;
- esecuzione di pilastri in pietra da taglio con uno sporto di un palmo in blocchi squadrati di basalto (pietra lavica), anch'essi da collocare "a lancia" al fine di migliorare l'ingranamento fra i conci;
- smontaggio del portale ubicato in corrispondenza del fronte settentrionale e riposizionamento dei singoli pezzi.
- consolidamento del campanile, le cui precarie condizioni statiche erano rese evidenti dalla comparsa di fenditure in corrispondenza dell'arcata e del pilastro «della Cappella prima verso mezzogiorno ove poggia». La causa del dissesto veniva individuata, ancora una volta, nell'insufficienza delle fondazioni. La struttura avrebbe dovuto essere rafforzata alla base con un contromuro a scarpa in blocchi squadrati di basalto cosiddetti "cannarozzoni", ammorsati alla muratura preesistente;
- consolidamento della struttura interna con il rafforzamento dei pilastri.

Dagli studi sulla fabbrica sembra che il costo dei lavori, che furono appaltati al maestro Scaccianoce, subì un aumento rispetto a quanto preventivato inizialmente dall'ingegnere Maddem, dando luogo a un contenzioso tra l'appaltatore e la municipalità cittadina che si protrasse fino al 1825, quando la perizia dell'ingegnere Salvatore Zahra Buda, posto dall'Intendente a capo della Commissione di Catania per i terremoti, pose fine alla vicenda, stabilendo la buona esecuzione delle opere, ritenute indispensabili per la stabilità della fabbrica (Patanè, 1998: 285)

La chiesa di San Giovanni Nepomuceno

Nell'esame delle numerose perizie elaborate in occasione della ricognizione eseguita sul patrimonio architettonico di Acireale dopo il sisma del 1818, appare interessante, per le modalità di intervento proposte, quella relativa alla chiesa di San Giovanni Nepomuceno, in Figura 2, la cui costruzione risale al XVIII secolo.

Dalla relazione stilata da Maddem il 15 agosto 1820[9] si evince che a causa delle scosse telluriche l'edificio aveva subito consistenti dissesti soprattutto in corrispondenza del cantonale sud-orientale per la mancanza di un'adeguata fondazione, che aveva causato diverse lesioni anche nella volta di copertura.

L'intervento principale, pertanto, avrebbe dovuto riguardare il rafforzamento delle fondazioni con contromuri in pietra squadrata aventi sezione a scarpa, una tecnica, come sopra evidenziato, prevista anche per la chiesa Madre di Acireale e, più in generale, frequentemente documentata nei consolidamenti successivi al sisma del 1818.

Analogamente a quanto prescritto dallo stesso Maddem per la chiesa Madre, il consolidamento della volta, oltre a prevedere la sarcitura delle lesioni con schegge di pietra e gesso, stabiliva l'utilizzo nel rinfianco di un riempimento di calce, pomice e gesso. Ulteriori lavori avrebbero dovuto riguardare il posizionamento di catene in pietra «per allacciare i muri lesionati», delle quali però non vengono specificati dati relativi alla forma e dimensione. Non è escluso che per questi elementi potesse trattarsi di conci sagomati a "doppia coda di rondine", una tecnica che dopo il sisma del 1818 era stata indicata anche per la chiesa di Sant'Agata a Vizzini. Per quest'ultima fabbrica l'esame della perizia del 2 maggio 1818 redatta dal poco noto ingegnere Fra Bonaventura da Sortino, incaricato della valutazione dei danni e dei conseguenti restauri nella chiesa, rivela che per il consolidamento della volta erano previste «n. 15 codi di rondine di pietra», oltre a «tre catene di ferro per unire il fondo del Cappellone, ed altre quattro nei lati della nave» (Scibilia 2021: 641). Tale ipotesi potrebbe essere confortata da alcuni significativi antecedenti e, in particolare, dalla soluzione proposta dall'architetto trapanese Giovanni Amico, chiamato a progettare il consolidamento della cattedrale di Palermo in seguito ai danni provocati dal terremoto che nel 1726 aveva colpito la capitale dell'isola. In questa occasione la copertura dell'edificio era stata gravemente danneggiata dalla caduta delle merlature del coronamento e veniva prevista l'adozione di «n° 30 catene di ciaca del petro Palazzo di Trapani fatte a coda di rondine dupplicata dalli maestri di detta città», ossia di catene lapidee sagomate a

Fig. 2 – Acireale: chiesa di San Giovanni Nepomuceno.

doppia coda di rondine[10] (Scibilia 2015: 92). Che Amico considerasse questa tecnica un efficace presidio antisismico sarebbe comprovato anche dalla successiva decisione di riproporre una soluzione simile per l'inattuato progetto del 1743 per il consolidamento della cupola di San Pietro in Vaticano, che all'epoca presentava preoccupanti lesioni, come si evince dal disegno in Figura 3 e dalla relazione di accompagnamento, nella quale è scritto «delle quali catene ne porto tutta l'esperienza per averle a meraviglia provate nel riparare le grandi rovine accadute nella Città di Palermo per il terremoto dell'anno 1726» (Schlimme, 2006: 61)[11].

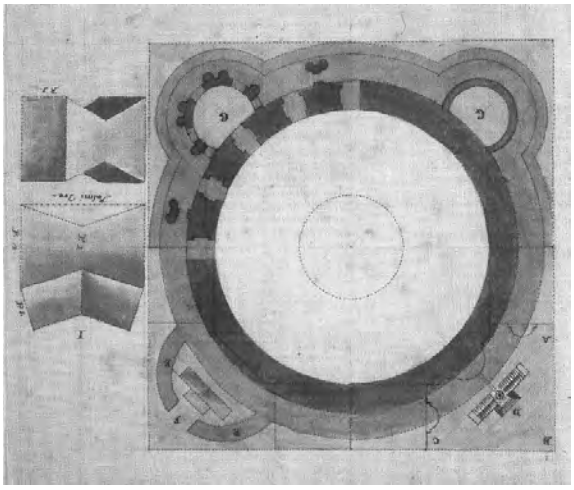


Fig. 3 – Amico: proposta di consolidamento per la cupola di San Pietro a Roma (Biblioteca Apostolica Vaticana, Cicognara, V. 3849, f. 6r.).

La chiesa di Sant'Agata

Dal quadro dei danni relativi ad Acireale si evince che il complesso formato dalla chiesa e dal monastero di Sant'Agata, denominato anche di San Benedetto, fu tra le fabbriche che subirono i danni più consistenti, valutati in una fase iniziale in 1921 onze. Il documento in questione offre esclusivamente un'indicazione degli edifici dissestati, non specificando la natura del danno, ma questa carenza di informazioni può essere sopperita dall'esame di una relazione rinvenuta presso l'Archivio Storico Comunale di Acireale, stilata il 28 febbraio 1818 dagli ingegneri comunali Giovanni Maddem e Francesco di Paola Patanè[12]. Dalla lettura della perizia, si ricava che «fra le tante fabbriche patite e lesionate, ritrovasi la loggia, ossia Belvedere, di proprietà delle signore moniali benedettine, sotto titolo di S. Agata»[13], costruito sopra le murature di una casa privata e confinante con un'altra dimora, i cui proprietari, evidentemente preoccupati per i dissesti che avrebbero potuto arrecare danni ai loro immobili, avevano rivolto una supplica al Senato cittadino al fine di valutare l'opportunità di demolire la loggia o, in alternativa, provvedere rapidamente al restauro della struttura, circostanza che aveva indotto l'esecuzione di un sopralluogo da parte dei due tecnici al fine di esaminare attentamente la situazione. L'originaria configurazione settecentesca della loggia, anteriore alla parziale demolizione del 1909[14] (Cosentini, 1970: 12), è visibile nella foto d'epoca in Figura 4, che mostra una struttura caratterizzata da una sequenza di archi su pilastri su due ordini.

Fig. 4 – Acireale: il loggiato di S. Agata o S. Benedetto (foto d'epoca).

Dalla suddetta relazione emerge come i maggiori danni alla loggia fossero localizzati in corrispondenza degli angoli «vers'occidente in maggior larghezza, estendendosi le lesioni dal livello del pavimento in divergenza continuata sino alla cima della cornice, osservandosi infranti gli archi degli angoli, come del pari altre lesioni s'osservano ai due angoli vers'oriente, con lesioni divergenti all'insopra, ma di minore dilatazione». Ulteriori lesioni, di minore entità, erano visibili in corrispondenza degli altri archi che qualificavano la struttura. La causa dei dissesti veniva individuata nella «cattiva struttura ed antichità» della costruzione.

Scartata l'ipotesi della demolizione, gli ingegneri proponevano un incatenamento con barre di ferro nelle due direzioni, in modo tale da formare «un telaio che giri all'intorno di detto muro, che formi cerchio all'intera gabbia, ossiano trattenute con sue chiavi tutte di ferro» e una sarcitura di tutte le lesioni «tanto antiche, che moderne», riservandosi di specificare in seguito ulteriori interventi.

È da rilevare che una proposta analoga fu suggerita dallo stesso Maddem anche per il consolidamento del campanile della basilica di San Sebastiano ad Acireale, per la cui struttura, che in occasione del sisma del 1818 era stata fortemente danneggiata, fu indicato un consolidamento con una maglia di catene in ferro, mentre ulteriori tiranti metallici erano da collocare nella volta di copertura della chiesa in corrispondenza della navata centrale.

Conclusioni

Dall'esame della documentazione prodotta dopo il sisma del 1818, principalmente costituita dalle perizie degli ingegneri finalizzate alla ricognizione dei danni e ai conseguenti interventi, possono essere evidenziati alcuni criteri guida e tecniche costruttive ricorrenti per il consolidamento e il restauro delle fabbriche, consapevolmente orientati a offrire una risposta alla primaria necessità di sicurezza sismica.

Emerge, in primo luogo, la convinzione che l'efficacia dell'intervento fosse legata alla realizzazione di un adeguato ammorsamento della nuova muratura a quella preesistente per mezzo di conci diatoni, sia a livello di fondazione che in elevazione. Frequente risulta l'adozione di profili a scarpa, giudicato un efficace presidio antisismico anche da Baldassarre Spampinato, autore del sopracitato testo coevo al terremoto, che contiene alcune interessanti osservazioni sulla vulnerabilità degli edifici, sui materiali e sui prevalenti criteri costruttivi allora in uso. In particolare, con riferimento alla forma più idonea da conferire alle strutture nel testo è riportato «Se si vogliono opere salde, e durevoli, bisogna cominciare dalle fondamenta. Qual è la forma che meglio lor conviene? Non avvi migliore a parer mio, che quella detta comunemente a scarpa; questo metodo si deve tenere sino alla cima degli edifici, come appresso diremo. Il vantaggio di una tal forma viene da un principio di meccanica, da cui si deduce, che un corpo sta più saldo a proporzione dell'ampiezza della base, sopra cui poggia» (Spampinato, 1818: 58).

Ampiamente documentati sono gli incatenamenti delle strutture con elementi in ferro, legno o pietra e l'esecuzione di rinfianchi delle volte con materiali leggeri quali la pomice.

L'uso di tiranti metallici, in particolare, è testimoniato, oltre che per il consolidamento di volte e archi, anche per il rifacimento dei campanili, la cui configurazione contribuiva ad aumentarne la vulnerabilità sismica.

In alcuni casi erano utilizzati anche telai lignei, caratterizzati da elementi che venivano connessi con squadrette e piattine metalliche inchiodate, come dimostrato, a titolo esemplificativo, dal consolidamento del campanile della chiesa dei SS. Pietro e Paolo di Acireale, danneggiato nella parte sommitale dal sisma del 1818 (Dato e Magnano Di San Lio, 1999: 47). Dalla ricognizione effettuata, infine, emerge anche l'utilizzo di catene in pietra, una tecnica che, sebbene abbia avuto minore diffusione rispetto ad altre, è riscontrabile in alcuni significativi esempi.

Ringraziamenti
Questo contributo rientra nell'ambito del Progetto "ARchitettura e TEmpo: la memoria e l'oblio. Uso e abuso del passato (ARTE)" del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura (DICAR) dell'Università degli Studi di Catania.

Bibliografia
Calabrese G. 2013. Il terremoto del 1818 a Catania e nei comuni etnei in un piccolo fondo dell'Archivio di Stato di Catania. Archivi, 8(2), 123-140.
Cosentini C. 1970. *Acireale d'altri tempi*. Acireale: Regione Siciliana.
Dato G., Magnano Di San Lio E. 1999. Le metamorfosi dello spazio urbano dopo i terremoti del 1783 e 1818 ad Acireale e Catania. Quaderno DAU. Rivista semestrale del Dipartimento di Architettura e Urbanistica della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania, 18, 43-56.
Iachello E. 2000. *La politica delle calamità. Terremoto e colera nella Sicilia borbonica*. Catania: Giuseppe Maimone.
Lo Faro A., Salemi A. 2009. Cultura tecnica e sisma nella Sicilia orientale: il terremoto del 1818. In: *Il Sisma. Ricordare prevenire progettare*. (a cura di O. Fiandaca e R. Lione), 109-122. Città di Castello: Alinea.
Lo Faro A., Mondello A., Salemi, A. 2018. For the construction an "expert" memory: the earthquake of 1818. Tema: Technology, Engineering, Materials and Architecture, 4(2), 91-108.
Longo A. 1818. *Memoria storico-fisica sul tremuoto de' 20 Febbraro 1818 del dottor Agatino Longo*. Catania: dalla stamperia de' Regj Studi.
Mariotti D., Ciuccarelli C. 2001. Catania nell'Ottocento: i terremoti del 20 febbraio, 1 marzo 1818 e 11 gennaio 1848. In: *Catania terremoti e lave dal mondo antico alla fine del Novecento* (a cura di E. Boschi e E. Guidoboni). 167-216. Roma-Bologna: INGV-SDA.
Nobile M.R. 2012. Tecniche antisismiche nella Sicilia di età moderna. In: *Terremoti e ricostruzioni tra XVII e XVIII secolo* (a cura di M. Giuffrè e S. Piazza). 19-22. Palermo: Edibook Giada.
Patanè A. 1998. Vicende sociali, politiche, amministrative ed urbanistiche di Acireale dopo il terremoto del 20 febbraio 1818. Memorie e rendiconti dell'Accademia di Scienze, Lettere e Belle Arti degli Zelanti e dei Dafnici di Acireale, 5(8), 247-318.
Raciti Romeo V. 1933. Vicende storiche della fabbrica e dei restauri del Duomo di Acireale. Memorie della R. Accademia di Scienze, Lettere ed Arti degli Zelanti Acireale, s. IV, 3, 113-228.
s.a. s.d. *Il tremuoto de' 20 febbraro 1818 notte*. Acireale: dalla tipografia del Sac. Giuseppe Ragonisi. Per Gaspare Sevaglios impressore.
Schlimme H. 2006. Giovanni Amico commenta i danni della cupola di S. Pietro in Vaticano. Lexicon. Storie e architettura in Sicilia, 3, 57-61.
Scibilia F. 2015. *Terremoto e architettura storica. Palermo e il sisma del 1726*. Palermo: Caracol.
Scibilia F. 2021. Rebuilding after the earthquake: earthquake-resistant construction techniques in Sicily in the eighteenth and nineteenth centuries. In: *Proceedings of 7th International Congress on Construction History* (J. Mascarenhas-Mateus and A.P. Ana Paula Pires eds.). 2, 637-644. London: Taylor and Francis.

Spampinato B. 1818. *Osservazioni sui tremuoti in occasione del tremuoto che scosse orribilmente la città di Catania la sera de' 20 febbraro 1818*. Catania: da' torchi della R. Università F. Pastore tipografo.

Note

1. Il sistema di gestione post terremoto derivava da un rinnovato ordinamento amministrativo che a partire dal primo gennaio 1818 aveva abolito la secolare suddivisione dell'isola nelle Valli di Mazara, Demone e Noto, sostituendola con la ripartizione in sette Intendenze: Palermo, Catania, Messina, Siracusa, Caltanissetta, Trapani e Agrigento.
2. Archivio di Stato di Catania, Intendenza borbonica, b. 192. L'intendente, duca di Sammartino, al Segretario di Stato Ministro Sig. Marchese Ferreri, Catania 25 febbraio 1819, riportato in Iachello 2000, 25.
3. Giornale dell'Intendenza di Catania, n. 1, 15 marzo 1818, p. 4. Cfr. Iachello 2000, 27-28.
4. Alla prima classe appartenevano quei comuni nei quali furono riscontrati immobili del tutto crollati, mentre alla terza e alla quarta rispettivamente quelli che avevano sofferto danni medi e lievi (Iachello, 2000: 22-23).
5. Archivio di Stato di Catania, *Intendenza borbonica*, b. 4209 (1818), categoria XXI, (Miscellanea), tabella n. 3. I "Quadri dei danni" relativi ai singoli comuni colpiti dal sisma erano volti all'individuazione di tutti gli edifici ricadenti all'interno di un determinato territorio, pertanto si rivelano come utili strumenti per la conoscenza dello stato dei patrimoni architettonici. Pur non riportando indicazioni dalla loro lettura si evince l'entità dei dissesti relativa alle singole fabbriche in base al valore del danno stimato in onze.
6. Cfr. (Raciti Romeo, 1933: 186-190), dove è riportata la trascrizione del documento.
7. Il completamento della facciata con la costruzione del campanile nord fu avviato dal 1887.
8. Archivio di Stato di Catania, *Intendenza borbonica*, b. 1159, cc. nn.
9. Archivio di Stato di Catania, *Intendenza borbonica*, b. 1159, cc. nn.
10. Archivio di Stato di Palermo, *Notai defunti*, Giuseppe Magliocco, vol. 5223, cc. 158r-159r, trascritto in Scibilia 2015, 202-203.
11. Tra i casi documentati di utilizzo di questa tecnica, si ricorda che l'architetto Rosario Gagliardi, chiamato nel 1744 a Pozzallo per una perizia sul quadro fessurativo della torre Cabrera danneggiata da scosse telluriche, propose per il suo consolidamento l'inserimento di catene lapidee da porre in opera con barre in ferro, forse memore dell'esperienza condotta da Amico a Palermo dopo il terremoto del 1726 (Nobile, 2012: 22).
12. Archivio Storico Comunale di Acireale, Fondo Antico, *Corte dei Giurati*, v. 26, cc. 231r-232v.
13. Archivio Storico Comunale di Acireale, Fondo Antico, *Corte dei Giurati*, v. 26, cc. 231r-232v, c. 231r.
14. Il loggiato superiore fu demolito a causa dei danni prodotti dal sisma del 1908, mentre è ancora visibile la sequenza di archi in corrispondenza dell'ordine inferiore.

Roberta Gambardella

Le infrastrutture idrauliche ottocentesche a Napoli

The nineteenth-century hydraulic infrastructures in Naples

Sommario
Durante gli ultimi decenni dell'Ottocento, in Italia si è sentita sempre di più l'esigenza di curare le città, devastate continuamente da epidemie. In particolare, a Napoli bisognava agire concretamente, poiché era ormai chiaro che nei quartieri bassi della città, caratterizzati da condizioni igienico-sanitarie pessime, il colera era più diffuso che altrove. Tra le cause principali della diffusione capillare dell'epidemia c'erano la fognatura e gli acquedotti: essendo la prima un'infrastruttura molto antica e poco manutenuta, vi erano numerose perdite che, permeando attraverso il terreno, intercettavano gli acquedotti, i quali diventavano a loro volta facile mezzo di diffusione della malattia. Infatti, è proprio nella seconda metà dell'Ottocento che fioriscono gli studi per la progettazione di due nuovi impianti che permettessero di migliorare l'igiene della città.

Abstract
During the last decades of the nineteenth century, in Italy there was a strong necessity of healing the cities, always devastated by epidemics. In Naples there was the urgency to act concretely because the city's lower quarters were characterized by terrible hygienic – sanitary conditions and there the cholera was more spread than elsewhere. Among the main causes of the cholera's spread there were the sewerage and aqueducts: the first one was so old and there were many losses which, permeating through the ground, intercepted the aqueduct; these represented the perfect way to widespread the disease. Indeed, it was precisely in the second half of the nineteenth century that studies for the design of two new water systems improved to ensure the hygiene of the city.

Introduzione

La seconda metà dell'Ottocento rappresenta per Napoli un arco temporale estremamente significativo, fitto di eventi che hanno contribuito al cambiamento culturale e di immagine della città. In questo periodo, emerse l'esigenza di curare la città,

colpita duramente da continue epidemie, individuando nell'igiene uno dei mezzi per poter affrontare questa problematica. Il concetto d'igiene si affinò con il tempo, in particolare in seguito a eventi singolari che possono essere individuati tramite alcune date simboliche: il 1861 è l'anno della pubblicazione sull'igiene di Napoli a opera del medico Marino Turchi, in cui per la prima volta vennero evidenziati i problemi legati all'insalubrità delle abitazioni e del tessuto urbano (Turchi, 1862); il 1884 è l'anno in cui una terribile epidemia di colera si diffuse a Napoli, con una mortalità molto alta, che mise in luce a livello nazionale la reale situazione partenopea, portando alla rapida promulgazione di una legge[1] studiata *ad hoc* per risolvere le problematiche della città tramite il Risanamento[2] (Russo, 1960; Alisio, 1980; Ferraro, 2003; Manzo, 2018; Guerriero e Curiale, 2019); infine il 1900 è l'anno in cui Napoli ospitò l'Esposizione Nazionale d'Igiene, diventata il simbolo di una città che può cambiare (Zabban, 1900; Parisi, 2001; Iannone, 2015; Montuono, 2016).

Marino Turchi, nella sua pubblicazione, affrontò l'igiene urbana in ogni suo aspetto, creando un'opera estremamente significativa. Si può dividere la pubblicazione in due parti principali: nella prima parte, Turchi descrisse lo stato attuale della città dal punto di vista igienico, analizzando puntualmente gli edifici privati, prendendo in considerazione specialmente quelli destinati ai più poveri, gli edifici pubblici, tra cui spiccano gli ospedali, le prigioni, i teatri, i macelli e i campisanti, e non mancano le analisi sulle cloache e sulle acque potabili della città; nella seconda parte invece, Turchi propose soluzioni possibili per migliorare l'igiene della città affrontando tutti i temi toccati in precedenza, anche per le infrastrutture idrauliche. Con questa pubblicazione, Turchi dimostrò di essere un medico di ampie vedute e di affrontare problematiche non strettamente legate al suo ambito, ma anche a quello ingegneristico e amministrativo, non trascurando la formazione di giovani professionisti e l'istituzione di commissioni municipali più attive (Turchi, 1862).

Nel 1884, si diffuse nuovamente il colera a Napoli con conseguenze devastanti. Non era la prima volta che la malattia colpiva la città ma, a differenza delle epidemie precedenti, i medici conoscevano il modo di trasmissione. Nei decenni precedenti, numerosi furono le ricerche sul tema fatte dai medici di tutta Europa; al contempo fiorirono gli studi anche nell'ambito ingegneristico, proprio perché si capì che le infrastrutture idrauliche ormai vetuste permettevano una capillare diffusione del colera. Il movimento igienista di fine Ottocento culminò nel 1900 con l'Esposizione Nazionale d'Igiene, che contribuì alla diffusione nell'immaginario collettivo di Napoli come città salubre[3]. In realtà, le trasformazioni subite sono frutto di contributi multidisciplinari, provenienti da ambiti anche molto diversi fra loro: oltre alla medicina, grazie a Marino Turchi ma anche ai numerosi igienisti dell'epoca, e all'ingegneria, con un ruolo sempre più centrale, anche il giornalismo ebbe una notevole influenza con le opere di Jessie White Mario (White Mario, 1877) e di Matilde Serao (Serao, 1906), mentre nella letteratura un importante contributo proviene da Renato

Fucini (Fucini, 1878).

In questo contesto l'ingegneria assunse un ruolo determinante e non è casuale che proprio in quegli anni stesse nascendo una nuova figura tecnica, denominata ingegnere sanitario o igienista.

Con gli studi di Marino Turchi, ma soprattutto a causa delle frequenti epidemie che colpivano Napoli, emerse la consapevolezza che gli impianti idrici e fognari fossero la causa principale della diffusione capillare delle malattie. Le infrastrutture non erano in grado di soddisfare i requisiti minimi di igiene e inoltre, soprattutto gli acquedotti, non erano più in grado di fornire acqua a sufficienza per la popolazione.

Il ritorno delle acque del Serino a Napoli

Prima dello scoppio dell'epidemia di colera del 1884, come è noto, la città di Napoli riceveva la sua fornitura idrica da due importanti infrastrutture, l'acquedotto del Bolla[4] e quello del Carmignano[5]: il primo ha origini molto antiche, costruito con molta probabilità in epoca romana, anche se non è escluso che fosse addirittura di fattura greca (Melisurgo, 1979), mentre il secondo fu realizzato nel XVII secolo grazie all'investimento del ricco patrizio napoletano Cesare Carmignano, da cui deriva appunto il nome.

Già prima della realizzazione dell'Acquedotto del Carmignano, si ipotizzò di ricostruire l'Acquedotto romano del Serino[6]: infatti, nel Cinquecento, Pietro Antonio Lettieri fu incaricato dal viceré di studiare l'antico tracciato dell'infrastruttura romana e di realizzare un progetto per la sua riattivazione. Il rilievo richiese lungo tempo e alla fine gli oneri di ripristino della struttura si rivelarono troppo elevati (Miccio e Potenza, 1985).

Nell'Ottocento, invece, prolifici furono gli studi sul tema: i tecnici valutarono sia la costruzione di una nuova infrastruttura, sia possibili metodi per aumentare il volume d'acqua immesso negli acquedotti esistenti. Uno dei progetti più significativi fu quello di Felice Abate, favorevole al ritorno delle acque del Serino a Napoli: infatti, nonostante il tracciato successivamente scelto differisse da quello progettato da Abate, questi è da considerare una figura di assoluto rilievo nel concretizzare la realizzazione di un nuovo acquedotto per Napoli (De Majo e Vitale, 2007).

La progettazione e la costruzione dell'Acquedotto del Serino richiese molto tempo: nel 1873 il Consiglio Comunale indisse un'asta pubblica con cauzione, in cui risultarono vincitori gli ingegneri inglesi Charles Manby e Jean Albert Roberti cui successivamente si associò la *General Credit and Discount Company Limited*; un primo contratto fu rogato nel 1874, cui seguirono dei problemi legati agli espropri dei terreni e alla volontà dei vincitori di ottenere modifiche a proprio favore. Dopo altre vicissitudini, i due ingegneri uscirono di scena e venne fondata la *Naples Water Work Company Limited*-NWW; nel 1878 fu finalmente stipulato un nuovo contratto che però non portò a un immediato inizio dei lavori, a causa della necessità di effet-

tuare i rilievi e la progettazione esecutiva; infine, nel 1881 la NWW decise di dare in appalto i lavori alla Società Veneta per Imprese e Costruzioni Pubbliche dell'ingegnere Vincenzo Stefano Breda (Pavesio, 1955; Miccio e Potenza, 1985; De Majo e Vitale, 2007).

Mentre il progetto era ancora in fase di approvazione, i lavori iniziarono dal traforo di Ciardelli, galleria situata nei pressi di Roccabascerana: gli ingegneri municipali, che dovevano controllare la bontà del progetto e seguire attentamente il cantiere, esercitarono subito la loro sorveglianza sui lavori del traforo e nel frattempo approvarono il progetto apportando diverse modifiche; tra i cambiamenti più significativi si considera l'abolizione di molti sifoni rovesci, sostituiti con ponti canali, e il cambiamento della quota altimetrica dei serbatoi. Gli ingegneri municipali controllarono l'esecuzione di ogni tronco, ma soprattutto seguirono attentamente i collaudi di tutte le opere (Bruno, 1898).

L'acquedotto iniziava il suo percorso nella valle di Serino, dove erano localizzati due gruppi di sorgenti: inizialmente si raccolsero quelle inferiori, denominate Urciuoli, posizionate alla quota di circa 330 metri, mentre in una fase successiva si aggiunsero anche quelle superiori, Acquaro e Pelosi, localizzate a 373 metri. Una volta raccolte le acque, queste venivano trasportate verso la collina di Cancello e poi raccolte a Napoli in due grandi serbatoi, quello di Capodimonte, che avrebbe servito la parte medio-bassa della città, e quello dello Scudillo, che avrebbe invece fornito per la prima volta l'acqua nella zona collinare (Pavesio, 1955; Miccio e Potenza, 1985; De Majo e Vitale, 2007)

La grande inaugurazione dell'acquedotto avvenne il 10 maggio del 1885, evento festeggiato con l'installazione a Piazza del Plebiscito di una fontana, attualmente scomparsa, e con il riempimento del serbatoio di Capodimonte sotto gli occhi del Re Umberto I; l'acqua al serbatoio dello Scudillo arrivò il 23 luglio dello stesso anno (Bruno, 1898).

La nuova fognatura

Come per l'acquedotto del Serino, anche gli studi sulla nuova fognatura sono stati lunghi e i tecnici iniziarono a occuparsene già dagli anni settanta dell'Ottocento. Nel decennio dall'anno 1873 fino al 1883, si susseguirono studi e valutazioni sul miglior sistema da adottare nella città di Napoli, testimoniato dalle numerose relazioni pubblicate (Municipio di Napoli, 1888).

La fognatura antica non era più sufficiente a soddisfare i fabbisogni della popolazione e inoltre non rispettava i moderni requisiti igienici. Infatti, le foci cloacali erano situate in corrispondenza del lido della Marinella e su quello occidentale di Chiaia; invece, nelle zone più interne e alte della città, le condizioni erano leggermente migliori, ma comunque permanevano problematiche legate alla poca pendenza, alle sezioni troppo ampie o alla cattiva costruzione delle condotte fognarie. Le

conseguenze di questo sistema erano soprattutto il ristagno delle materie o l'inquinamento del sottosuolo, causato dall'infiltrazione nel terreno delle materie organiche; simili situazioni si ritrovavano ove non erano presenti le fogne, bensì i pozzi neri. Nonostante i difetti di questa infrastruttura, l'ingegnere municipale Gaetano Bruno constatò una certa razionalità nel tracciato fognario (Bruno, 1898).

Era chiara la necessità di realizzare un nuovo impianto fognario e gli obiettivi erano principalmente i seguenti: bisognava liberare il lido dai deflussi cloacali, in modo da allontanare i reflui dalla città e ridare prestigio a una zona paesaggistica suggestiva contaminata dai terribili odori; era necessario impedire infiltrazioni nel sottosuolo delle materie organiche che fuoriuscivano dalle condotte e bonificare le zone già inquinate; bisognava rendere la canalizzazione più capillare, al fine di abolire totalmente i pozzi neri; infine, bisognava realizzare il progetto in modo che non si caricassero eccessivamente le zone basse, gravate anche dagli afflussi superiori (Zabban, 1900; Bruno, 1898).

A gennaio 1884, mesi prima dello scoppio della grave epidemia di colera, fu pubblicato un articolato volume in cui il Consiglio Tecnico del Comune di Napoli esaminò attentamente tre progetti proposti per l'impianto fognario, quello degli ingegneri Vitale e Tessitore, quello di Cortese e infine quello proposto dagli ingegneri municipali Gaetano Bruno, Adolfo Giambarba, Guglielmo Melisurgo e Carlo Martinez; quest'ultimo progetto fu ritenuto il più adeguato e fu approvato in linea generale, ma con l'indicazione di diverse modifiche da doversi effettuare: l'idea originaria era di dividere la città in due fasce, ognuna con un proprio collettore, mentre il Consiglio prediligeva una suddivisione in tre zone, alta, media e bassa; inoltre, sempre il Consiglio propose di sfruttare l'eccesso delle acque pubbliche o private per la produzione di cacciate d'acqua per garantire una maggiore pulizia del canale, di modificare la sagoma della sezione ovoidale e infine furono date alcune indicazioni sulla ventilazione, sulle pendenze minime e sulle tipologie di scarico e di orinatoio da utilizzare negli edifici (Ruggiero et al., 1884).

In definitiva, il nuovo progetto fu così strutturato: «La fognatura di Napoli è distinta in tre reti: alta, media e bassa. I canali principali di queste reti sono, rispettivamente, il collettore alto, il collettore medio, ed il collettore basso; quest'ultimo diviso in due rami: ramo est e ramo ovest. Il collettore alto ed il collettore medio percorrono la città da est a ovest. Al collettore alto fa seguito l'emissario di Cuma, il quale ha origine presso Piedigrotta e mette foce al lido di Licola presso il Monte di Cuma. Al collettore medio fa seguito lo scaricatore di Coroglio, il quale ha origine presso Piedigrotta e sbocca al lido di Coroglio. Il collettore pluviale urbano, sussidiario del collettore medio, scarica alla foce del Sebeto. Le acque meteoriche delle colline sono escluse dalla rete delle fogne e dai collettori urbani mediante due collettori pluviali, uno detto orientale, che sbocca alla foce del Sebeto, ed uno detto occidentale, che sbocca a Posillipo. La rete alta è a sistema promiscuo. La rete media

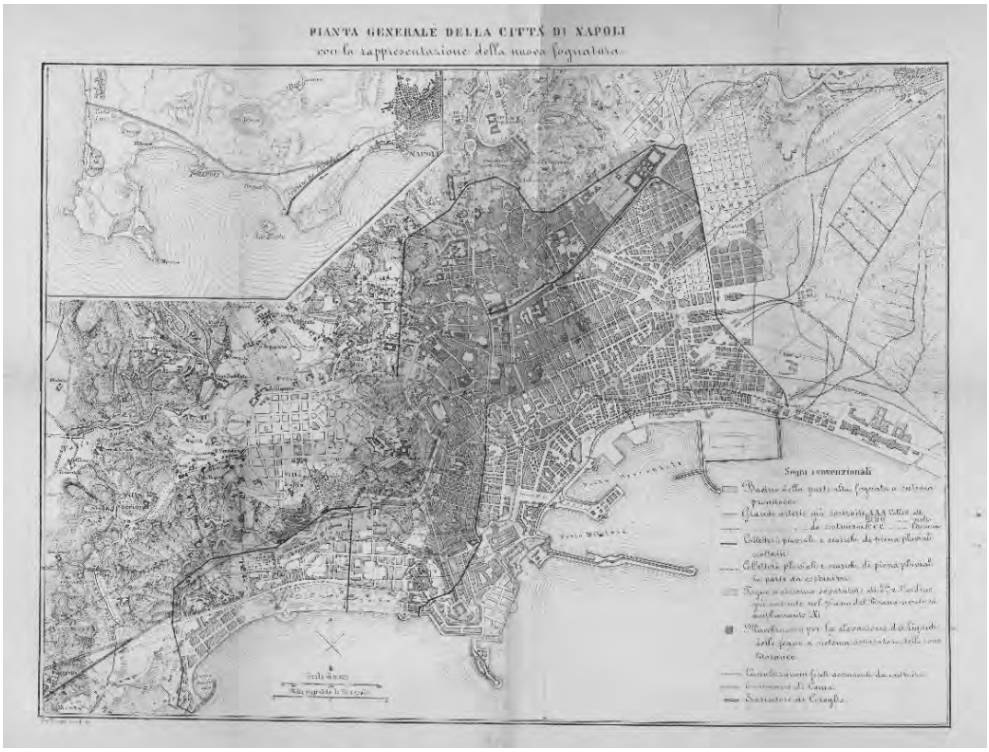


Fig. 1 – Pianta generale della città di Napoli, con l'indicazione delle opere della nuova fognatura, scala 1: 16.000 (Ispettorato Municipale per la fognatura di Napoli, 1894).

e la rete bassa sono a sistema separatore. Funzionamento: tutti i liquidi della rete alta, convogliati dal collettore alto, per l'emissario di Cuma, si sversano al lido di Licola. I liquidi fecali della rete media, sono convogliate dal collettore medio fino a Piedigrotta, dove vengono elevati nell'emissario di Cuma. I liquidi fecali della rete bassa vengono elevati nel collettore medio» (Ispettorato Municipale per la fognatura di Napoli, 1894).

Il nuovo impianto è stato quindi fondamentale per il miglioramento dell'igiene della città, perseguendo in maniera ligia gli obiettivi che i tecnici si erano prefissati. L'attento studio fatto nei decenni precedenti, approfondito grazie anche all'esperienza delle altre metropoli italiane ed europee (Varriale, 1915), ha garantito la realizzazione di un impianto che rispettasse i requisiti di igiene e i principi dell'ingegneria dell'epoca; ancora oggi, nonostante siano cambiate radicalmente le esigenze della popolazione, il tracciato all'interno della città è rimasto immutato, come mostrato in Figura 1[7].

Conclusioni

La figura dell'ingegnere nella Napoli di fine Ottocento divenne sempre più indispensabile per le misure da adottare nel campo dell'igiene e per la salubrità della città. Nel corso del secolo numerose epidemie di colera si diffusero colpendo gravemente i quartieri più bassi della città, di cui la più critica fu quella del 1884. Prima di quella data, le condizioni igieniche di Napoli non erano affatto sconosciute, anche se l'argomento era soprattutto appannaggio dei medici, come testimoniato, già nel 1861, dalla pubblicazione di Marino Turchi. Fu in questa fase che gli ingegneri iniziarono a trovare il loro spazio in questo ambito fino ad allora prettamente inerente alla medicina: infatti, già dagli anni Settanta si susseguirono numerosi studi sulle infrastrutture idriche e cloacali.

Pertanto, si può far risalire agli ultimi decenni dell'Ottocento la nascita dell'ingegneria sanitaria, disciplina che in questa fase embrionale era fortemente legata alle costruzioni idrauliche. L'acquedotto del Serino fu la prima opera, precedente all'epidemia di colera del 1884, realizzata per affrontare seriamente il problema sanitario; seguirono poi i lavori di Risanamento, in cui era incluso anche il nuovo sistema fognario. L'importanza delle due infrastrutture, acquedotto e fognatura, sottolinea come gli ingegneri non potessero essere preparati solo tecnicamente, ma dovessero conoscere anche i principi di igiene, sebbene un insegnamento universitario in questa materia verrà introdotto solo negli ultimi anni del secolo. Questi progetti contribuirono a cambiare l'immagine della città, da malsana a salubre, e mostrarono come la scuola di ingegneria napoletana fosse ricca di abilissimi ingegneri in grado di progettare infrastrutture di elevata qualità. Nonostante la scuola di Ingegneria di Napoli continuasse la sua ricerca nel campo dell'ingegneria sanitaria, la prima cattedra sarà strutturata solo negli anni cinquanta del Novecento, mentre il corso di laurea in Ingegneria Sanitaria Ambientale sarà istituito alla fine degli anni Ottanta.

Bibliografia

Alisio G. 1980. *Napoli e il Risanamento, recupero di una struttura urbana*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.

Bruno G. 1898. *Della canalizzazione sanitaria nella città di Napoli*. Roma: Tipografia del Genio Civile.

Cantone G., Robotti C., Starace F. 2002. *L'acqua e l'architettura: acquedotti e fontane del regno di Napoli*. Lecce: Edizioni del Grifo.

De Filippis F. 1957. *Piazze e fontane di Napoli*. Napoli: Azienda Autonoma Soggiorno Cura e Turismo.

De Majo S., Vitale A. 2007. *L'acquedotto di Napoli*. Napoli: ARIN – Azienda Risorse Idriche Napoli.

Ferrajoli F. 1973. *Palazzi e fontane nelle piazze di Napoli*. Napoli: Fausto Fiorentino Editore.

Ferraro I. 2003. *Napoli: Quartieri bassi e il "Risanamento"*. Napoli: Clean.

Fiengo G. 1990. *L'acquedotto del Carmignano e lo sviluppo di Napoli nell'età barocca*. Firenze: Leo S. Olschki Editore.

Fucini R. 1878. *Napoli ad occhi nudo, lettere a un amico*. Firenze: Successori Le Monnier.
Gasparini L. 1979. *Antiche fontane di Napoli*. Napoli: Società Editrice Napoletana.
Guerriero L., Curiale F. 2019. *Opera della mente o del caso: progetti per il Risanamento di Napoli*. Napoli: Fabrica Edizioni.
Iannone N. 2015. *Architetture dei Congressi e delle Esposizioni a Napoli (1861 – 1934) nella stampa periodica e nella fotografia*. Napoli: Grafica Elettronica.
Ispettorato Municipale per la fognatura di Napoli. 1894. *Pianta di Napoli con l'indicazione delle opere della nuova fognatura in scala 1:16.000*. Napoli: Tip. Trani.
Manzo E. 2018. Il 'Risanamento' di Napoli. Dal progetto urbano alla scala architettonica. In: *Architettura, Città, Territorio: ricerche e riflessioni critiche, Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino*, 151(LXXII), 1, 113-122.
Melisurgo G. 1979. *Napoli sotterranea*. Napoli: Colonnese Editore.
Miccio B., Potenza U. 1985. *Napoli ed i suoi acquedotti: 1885 - 1985 centenario della fondazione dell'Acquedotto napoletano*. Napoli: Azienda Municipalizzata Acquedotto di Napoli.
Montuono G.M. 2012. Gaetano Bruno: ingegnere e urbanista napoletano dell'800 (prove per una monografia). In: *Storia dell'Ingegneria – Atti del 4° Convegno Nazionale*, Napoli, I, 441-453. Napoli: Cuzzolin.
Montuono G.M. 2016. «La bella Sirena risorta a nuova vita»: dall'epidemia di colera del 1884 all'Esposizione d'Igiene del 1900. In: *Storia dell'Ingegneria - Atti del 6° Convegno Nazionale*. Napoli, II, 725-736. Napoli: Cuzzolin.
Municipio di Napoli. 1888. *Studi e proposte per l'esecuzione del progetto definitivo della fognatura generale della città di Napoli*. Napoli: Tip. F. Giannini e figli.
Parisi R. 2001. Verso una città salubre. Lo spazio produttivo a Napoli tra storia e progetto. Meridiana, 42, 53-74.
Pavesio B. 1955. *Da Serino al Biferno: storia di un acquedotto*. Napoli: L'Osservatore Napoletano.
Ruggiero M., Florio G., Melisurgo G. 1884. *Fognatura di Napoli, relazione della commissione del Consiglio Tecnico Municipale*. Napoli: Tip. F. Giannini.
Russo G. 1960. *Il risanamento e l'ampliamento della città di Napoli*. Napoli: L'Arte Tipografica.
Serao M. 1906. *Il ventre di Napoli*. 2ª ed. Napoli: Perrella.
Snowden F. M. 1995. *Naples in the time of Cholera 1884-1911*. Cambridge: Cambridge University Press.
Turchi M. 1862. *Sull'igiene pubblica della città di Napoli, osservazioni e proposte*. Napoli: Morano Editore.
Varriale R. 2004. Napoli invisibile: il sottosuolo nel dibattito ottocentesco. In: *Mélanges de l'École française de Rome. Italie et Méditerranée*. Tomo 116, 2, 723-743.
Varriale V. 1915. *La fognatura di Napoli, studi, progetti, esecuzione, funzionamento*. Napoli: Tip. Giannini e figli.
Zabban E. 1900. Napoli e l'esposizione d'igiene. Nuova Antologia, IV(LXXXVII), 61-84.
White Mario J. 1877. *La miseria in Napoli*. Firenze: Successori Le Monnier.

Note

1. Legge speciale n. 2892 pel risanamento della città di Napoli, emanata il 15 gennaio 1885.
2. Sul Risanamento di Napoli ci sono importanti riferimenti che sono fondamentali per capire il periodo che si sta analizzando. L'Acquedotto del Serino era in fase di completa-

mento durante lo scoppio dell'epidemia di colera del 1884, mentre l'impianto fognario fu inserito nei lavori da fare con il Risanamento, insieme allo sventramento urbano e all'impianto di illuminazione; in bibliografia si riportano i volumi e gli articoli più significativi, ma la letteratura in merito è molto ampia.

3. Proprio lo stesso anno nacque una rivista "L'Ingegneria Moderna" che seguì attentamente l'evento, descrivendo i padiglioni costruiti e la loro distribuzione e riportando tutto ciò che si svolgeva al suo interno. In maniera più marginale anche un'altra rivista seguì l'evento: "L'Ingegneria Sanitaria" (Parisi, 2001; Iannone, 2015; Montuono, 2016).
4. Le sorgenti dell'Acquedotto della Bolla erano localizzate a circa 8 km di distanza dalla città, nella piana di Volla; l'acqua veniva trasportata a Napoli tramite un canale in muratura il cui tracciato passava per Poggioreale ed entrava in città a una quota di circa 13 m s.l.m., alimentando numerose fontane pubbliche, mulini e pozzi. Il canale principale in città partiva da porta Capuana e arrivava alla Fontana Medina, che si trovava a quota 9 m s.l.m., prima di essere spostata e passare per via dei Tribunali, S. Biagio dei Librai, Mezzocannone e Banchi Nuovi. Per molti secoli l'acquedotto della Bolla è stato l'unica infrastruttura a portare le acque nella città di Napoli, fino alla costruzione nel 1629 dell'Acquedotto Carmignano (Miccio e Potenza, 1985; Pavesio, 1955).
5. All'inizio del Seicento, a causa di un significativo aumento demografico, l'acquedotto della Bolla non era più sufficiente a soddisfare i bisogni della popolazione napoletana. Fu così che Cesare Carmignano, aiutato dalle abilità tecniche di Alessandro Ciminelli, investì i propri soldi per la costruzione di un nuovo acquedotto, inaugurato nel maggio del 1629. La fonte era il fiume Faenza a Sant'Agata dei Goti, l'acquedotto poi continuava per Maddaloni e Cancello, per giungere successivamente a Licignano. Da questo punto, l'acquedotto si diramava in due canali: il primo era il cosiddetto canale dei mulini, che appunto forniva l'acqua ai mulini municipali; il secondo, invece, era il canale delle fontane, che forniva acqua ai quartieri posizionati fino a una quota altimetrica di 25 m s.l.m. Il primo tratto dell'acquedotto, dalla presa fino a Maddaloni, era in parte allo scoperto e in parte in muratura e coperto, mentre da Maddaloni a Licignano, all'incirca per 20 km, il canale proseguiva a cielo aperto, semplicemente arginato dalla terra o cavato nel tufo, compromettendo quindi la qualità dell'acqua; nell'ultimo tratto le acque percorrevano nuovamente un condotto in fabbrica. L'acquedotto Carmignano, insieme a quello della Bolla, serviranno la città fino al 1885, anno in cui fu inaugurato il terzo acquedotto napoletano, quello del Serino (Miccio e Potenza, 1985; Pavesio, 1955; Fiengo, 1990).
6. La storia dell'Acquedotto romano del Serino è molto misteriosa: nonostante fosse abbastanza chiaro il percorso che portava le acque del Serino fino alla Piscina Mirabilis, non è mai stato capito il motivo per cui è caduto in disuso. Sicuramente deve essere stata una tragedia, dovuta a guerre o a calamità naturali, che ha causato problemi particolarmente gravi e onerosi, tale da non procedere con una ricostruzione o riparazione dell'infrastruttura (Miccio e Potenza, 1985).

7 Una copia della planimetria è presente presso la Biblioteca "Roberto Pane" del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

Giuseppe Foscari

La "Shallow Ecology" nell'Ottocento borbonico

The Bourbon "Shallow Ecology" in the nineteenth century

Sommario
Il saggio analizza le modalità con cui furono affrontate dai Borbone le problematiche ecologiche nel Regno delle Due Sicilie. Al passo con i tempi e per le carenze oggettive del Paese gli ingegneri di Ponti e Strade, cui era demandato il compito di risolvere le questioni tecnico-ambientali, fecero prevalere l'approccio liberale e liberista fortemente antropocentrico, tipico della *Shallow Ecology*. Proiettando oltre il XIX secolo l'analisi, nel saggio ci si interroga anche sulla validità o meno di quella tipologia di ambientalismo.

Abstract
This work analyses the ways in which the ecological problems were discussed and resolved by the Bourbons in the Kingdom of the Two Sicilies. The economic conditions, together with the cultural climate of the country were very precarious. Due to these and other shortcomings, the Engineers of *Ponti e Strade* were called upon to resolve these technical and environmental issues, through a liberal approach. Their conduct to the questions was strongly anthropocentric: it typically was named "Shallow Ecology". The purpose of this paper is not only to project the analysis beyond the nineteenth century, but also to query about validity of this type of ecologism.

Introduzione

Prima di entrare nel merito delle questioni affrontate in questo contributo, ritengo utile, in via preliminare, chiarire alcuni aspetti che considero basilari per la comprensione della mia prospettiva di analisi.

In primo luogo, come appare evidente dal titolo, intendo occuparmi dell'ecologismo al tempo dei Borbone, quindi nel Sud della prima metà dell'Ottocento, nell'intento di comprendere come essi abbiano affrontato e provato a risolvere le più significative questioni ambientali collegate alla tutela del territorio (Palmieri, 1997).

Il mio obiettivo è stato capire quali siano state le specificità culturali e politiche della monarchia nel Regno delle Due Sicilie, in quanto i legami che ci sono tra le questioni territoriali e ambientali e la politica del governo e della Corona sono tanti e tali da poter permettere un'analisi a più ampio raggio sulle caratteristiche di quel sistema sociale e politico.

Per parlare dei Borbone e degli ingegneri, ho adottato, quindi, una diversa prospettiva di analisi, ovvero quella ecologica, che da tempo la storiografia considera un'apprezzabile chiave di lettura di un sistema sociale e politico.

Nella prima metà del XIX secolo, il Mezzogiorno d'Italia presentava un quadro delle condizioni ambientali alquanto critico, per tutta una serie di problematiche che incidevano sulle condizioni di vita delle popolazioni e sull'arretratezza economica e sociale del Regno; per questo motivo, il tema della modernizzazione del Paese passava per la risoluzione di questioni che avevano a che fare con l'ambiente, ma era molto condizionato dalla differente posizione tra le esigenze di sviluppo prospettate degli ingegneri di Ponti e Strade e la linea sparagnina (sul piano degli investimenti pubblici) da parte del governo e della Corona.

In secondo luogo, ho sviluppato quest'analisi sul tema dell'"ecologismo borbonico", secondo le precisazioni che tra poco farò, anche con l'intento di proiettare il discorso ben oltre l'Ottocento e facendo una valutazione a più ampio raggio sulla tipologia di ecologismo che si è andata consolidando nella nostra società attuale. Si è da tempo affermato un modello di ambientalismo che in molti suoi caratteri basilari è una vera e propria propaggine della visione ottocentesca liberale. Una concezione basata su "sviluppo economico", "progresso scientifico" e "industrializzazione", ragion per cui la ricostruzione di questa connessione tra ambientalismo ottocentesco e società attuale diventa un'occasione per ragionare sulle caratteristiche del modello politico, economico e culturale che, nel tempo, ha finito per prevalere in quasi tutto il vecchio Continente e anche fuori di esso. Senza dimenticare che dall'Ottocento in poi, e ancor più nella società contemporanea, i governi e la politica hanno avuto bisogno, anche per evidenti ragioni di consenso, della *Shallow Ecology*. Un paradigma di ambientalismo basato sulla centralità dell'uomo e sul suo primato sulla natura.

Dunque, occuparsi di ecologismo significa parlare inevitabilmente di politica, di atteggiamenti culturali, di interessi economici, di strategie di sviluppo e le interpretazioni possono divergere moltissimo. La via dell'ambientalismo diventa anche una ghiotta occasione per comprendere le prospettive di analisi e di sviluppo che gli ingegneri borbonici cercarono di affermare nel loro tempo storico. E ciò tenendo conto che vi erano contrapposizioni tra la visione "statalista" di molti ingegneri, su tutti, Carlo Afan de Rivera, e quella più marcatamente liberista, vicina ai poteri economici e imprenditoriali e agli "uomini del fare", per cui non c'è stata sempre una piena aderenza al sistema liberista nel Regno delle Due Sicilie (Ciccolella e Palmieri, 2002).

Più Stato e meno privato o viceversa, così come decidere se introdurre tariffe doganali per proteggere le proprie economie o dare maggiore spazio al liberismo economico sono questioni ancora di stringente attualità.

Mi preme anche precisare, come terzo aspetto, che l’uso del termine ecologia, vocabolo nato nella seconda metà dell’Ottocento per merito di Ernst Haeckel (Haeckel, 1866) trovi una ragion d’essere nel concetto stesso di scienza che studia le relazioni tra l’uomo, gli organismi vegetali e animali e l’ambiente. Tutte le società hanno dovuto affrontare e provare a risolvere queste complicate relazioni tra uomo e natura e tutte le implicazioni che potevano derivare dalle azioni intraprese dagli esseri umani. Pensiamo all’urbanizzazione e all’inquinamento dell’aria e dell’acqua, alle conseguenze delle attività produttive, alla pericolosa deforestazione, alla siccità, agli allagamenti dei terreni coltivabili e agli effetti della diffusione delle paludi, al dissesto idrogeologico, per citare solo alcuni problemi fondamentali che hanno inciso sulle società in maniera evidente. Quindi il rimando che io faccio è al concetto che la parola ecologia esprime e sintetizza.

La storia ambientale parte dal presupposto che come cambia la natura così mutano anche le idee delle persone su come dovrebbe essere il rapporto tra l’uomo e la natura (Merchant, 2002), e, quindi, dalla seconda metà dell’Ottocento in poi ci sono stati un progressivo ampliamento e un affinamento delle tematiche ambientali e ciò indica l’avvicendarsi di sensibilità differenti nella percezione di tali problematiche. Non esiste una sola via all’ecologismo, questo appare chiaro ed evidente; inoltre, la complessità della nostra società ha imposto e imporrà di continuo un doveroso aggiornamento dell’agenda delle questioni ecologiche e dei campi di intervento.

Occorre partire anche da un altro fattore di base: dietro la lettura del liberalismo ottocentesco e post-ottocentesco c’era implicitamente un pensiero che la borghesia esprimeva da decenni, ossia l’esigenza di una società basata sulla libera iniziativa come manifestazione dell’uomo e come portatrice di benefici per la collettività e lo Stato, con tutto ciò che questa visione individualista portava con sé.

Il vero aspetto fondamentale da considerare è che la *Shallow Ecology*, l’ecologia superficiale, presuppone proprio che la conservazione dell’ambiente sia concepita in funzione del soddisfacimento degli interessi umani, quindi si basa sul primato dell’antropocentrismo, dell’individualismo e su un valore strumentale della natura e delle risorse in funzione dell’uomo e dei suoi bisogni. Sono fattori, questi, che ci rimandano a un’interpretazione che è nello stesso tempo storica, culturale, religiosa, filosofica e politica. Una percezione culturale caldeggiata anche dalla visione utilitaristica di Bentham e Mill, basata sul criterio dell’accrescimento del benessere e della felicità degli uomini e, come tale, su una filosofia morale evidentemente antropocentrica.

Ma si trattava nel XIX secolo di un diffuso modo di pensare che emergeva, per rimanere nei confini dello stato napoletano, anche nelle osservazioni di economisti come Luca de Samuele Cagnazzi (1764-1852), il quale, per dare un’idea nient’affat-

to vaga del suo approccio culturale, che rappresentava poi la sensibilità di un'intera epoca storica, così scriveva: «le ricchezze si producono con mettere a profitto le forze della natura mediante il travaglio dell'uomo» (De Samuele Cagnazzi, 1813: 4). Ecco, mettere a profitto le forze della natura è proprio la chiave di volta della *Shallow Ecology*. E il pensiero di Cagnazzi è una sintesi efficace della concezione della natura nel primo Ottocento. Natura intesa come benigna e prodiga, capace di donare i suoi frutti all'uomo; dichiaratamente *provvida* in Carlo Afan de Rivera (Afan de Rivera, 1825), ma si trattava pur sempre di uno schema culturale che presupponeva che essa fosse al servizio dell'uomo e potesse essere sfruttata liberamente.

L'ecologismo borbonico

Entro ora nel vivo delle questioni per comprendere come si comportò la cultura ingegneristica napoletana fino all'unità italiana, momento in cui la tematica della gestione dei territori da questione regionale diventò un affare di tutto il paese, da affrontare quindi con leggi da far valere su tutto il territorio nazionale.

Il legame tra ingegneria e ambientalismo è confermato anche da una certa attenzione storiografica per i pionieri dell'ambientalismo nella seconda metà dell'Ottocento in Italia; mi riferisco in particolar modo al geografo americano Gregory Perkins Marsh, definito il profeta della conservazione della natura, e alla sua influenza sulla cultura italiana. Da studi recenti sappiamo che c'è uno strettissimo legame tra Perkins Marsh e gli ingegneri idraulici padano-veneti (Lowenthal, 2003), questo a dimostrazione che l'ecologismo ha sempre avuto bisogno di naturali e indispensabili supporti ingegneristici.

E anche a Napoli, e non poteva essere diversamente, gli ingegneri furono la *pars construens* nella gestione del territorio e della sua dimensione ecologista.

Naturalmente, la prospettiva ambientale va interpretata all'interno di un quadro di infrastrutture delle quali il Regno era quasi del tutto privo (parlo di collegamenti viari, di ponti, di soddisfacenti aree portuali, di recupero dei terreni paludosi, di problemi idraulici) e di una diffusa arretratezza economica.

Ho suddiviso in sette tematiche il prospetto generale delle questioni ambientali affrontate in epoca borbonica per poter dare un quadro a largo spettro della politica per il territorio adottata, nella consapevolezza che si tratti di temi tra loro molto concatenati:

1) la gestione delle acque;
2) la tutela del patrimonio boschivo;
3) la lotta all'incremento delle paludi;
4) lo sviluppo della conoscenza delle problematiche ambientali;
5) il forte ruolo dello Stato;
6) il controllo sulle attività produttive;
7) la costruzione di infrastrutture.

La gestione delle acque

Il problema delle acque era ben noto da decenni (Foscari, 2009) ed era collegato allo scriteriato e diffuso taglio dei boschi e alle sue conseguenze, con il grave handicap del dissesto idrogeologico e con il pericoloso ampliamento dei terreni di acqua stagnante per l’assenza di opere di canalizzazione che potessero consentire un normale deflusso delle acque. La vera sfida in casi del genere fu avviare la bonifica con cui si doveva cercare di trasformare quelle che erano diventate delle paludi in zone agricole produttive, ma si procedette anche alzando le sponde dei fiumi e dei torrenti e si incoraggiò una loro continua cura ripulendoli da tronchi d’alberi e massi che ostruivano il regolare deflusso delle acque e creavano pericolosi imbuti pronti a saltare in caso di piogge torrenziali, provocando scompiglio nelle pianure.

Non mancava, poi, il problema esattamente opposto, ossia una possibile penuria delle acque per effetto della siccità; in quei casi gli ingegneri sostenevano che fosse necessario provvedere con vasche di raccolta e conservazione dell’acqua piovana durante le stagioni fredde e piovose in cui le acque erano abbondanti e costruendo acquedotti che avrebbero dovuto assicurare l’approvvigionamento anche a comunità poste in zone più periferiche e non dotate di sorgenti adeguate, nonché per garantire l’indispensabile irrigazione dei campi coltivati.

Il tema delle acque implicò anche la necessità di sancire una volta per tutte che i fiumi fossero beni pubblici e non privati, opponendosi a quegli arroganti possidenti fondiari che, nel solco della tradizione feudale, tentavano ancora di far valere i propri interessi abusando delle acque pubbliche e impedendone l’uso ai contadini, deviando a proprio piacimento il corso dei fiumi (Foscari, 2007).

La tutela del patrimonio boschivo

Collegato al precedente tema delle acque, vi era la continua deforestazione, un problema piuttosto noto e che aveva avuto un netto incremento già dalla fine del XVIII secolo, per poi continuare senza soluzione di continuità per tutto l’Ottocento. Le cause erano l’incremento demografico e il conseguente aumento della domanda di prodotti agricoli che comportò un’implementazione delle aree da coltivare (Palmieri, 2012; Palmieri, 2003). Una “fame di terra” che ebbe effetti piuttosto disastrosi per l’ambiente, in quanto le aree deforestate avevano come conseguenza una profonda rottura dei già fragili equilibri ambientali (Palmieri, 2012), anche perché una parte consistente dei diboscamenti e dei dissodamenti fu abusiva e del tutto incontrollata. Peraltro, non va dimenticato che la legna degli alberi veniva utilizzata come fonte energetica e come materia prima in edilizia, nelle costruzioni navali e nella costruzione e negli arredamenti delle abitazioni, e questo non faceva altro che aumentare il taglio degli alberi, soprattutto quelli di alto fusto.

Per queste ragioni, la tutela del patrimonio boschivo fu affidata alla nota legge forestale del 21 agosto 1826 e si basò sulla conservazione degli alberi sulle alture

per evitare il denudamento dei versanti delle colline e il loro degrado e i frequenti casi di smottamento nelle valli sottostanti e nelle pianure. Quest'intervento veniva attuato mediante una politica di contenimento del diboscamento e con ferrei vincoli alle colture nelle terre in pendio, come prescritto dalla legge appena citata. La novità fu la codificazione di sanzioni per chi non faceva rispettare tale normativa con le quali si ingiungeva il ripristino delle condizioni precedenti il danno ambientale. Una nozione piuttosto moderna e accolta negli attuali modelli legislativi per assicurare il ripristino dello *status quo ante*.

Inoltre, la legge forestale del 1826, ispirata e voluta da de Rivera, conteneva inequivocabili riferimenti al primato dell'utilità pubblica, per cui, in tutti i casi in cui si poteva constatare che dalla coltivazione di un fondo, soprattutto se su un terreno in pendio, potesse derivarne un danno per i terreni sottoposti, occorreva intervenire tempestivamente per impedirlo.

Possiamo quindi dire che il lessico culturale e normativo liberale che ha costruito il paradigma ambientale nel regno delle Due Sicilie partiva da due aspetti nodali: il controllo e la punizione. La cultura liberale ottocentesca prefigurava un'analisi del danno ambientale, cui de Rivera connetteva anche il concetto di prevenzione, soprattutto in materia forestale. Principi considerati oggi in parte inadeguati a valutare la pericolosità delle azioni dell'uomo sull'ambiente e sugli ecosistemi (Maestri, 2013). Ma, come detto, il pensiero tecnico ambientalista borbonico non si basò solo sul principio della responsabilità, sul controllo preventivo e successivo, ma anche sul ripristino dello *status quo ante* da parte dei privati (non solo sui propri fondi, ma anche su quelli sottoposti che potrebbe aver danneggiato) o sul risarcimento dei danni per azioni illecite svolte nei boschi demaniali e conteneva qualche disposizione che riguardava la protezione degli alberi di alto fusto, come querce, elci, abeti, pini, faggi, il cui taglio andava subordinato a un'opportuna verifica secondo l'art. 31 della legge forestale del 1826.

Le pene previste per i privati che avevano dissodato terreni vietati, cioé quelli posti in pendio, erano di 20 ducati per moggio coltivato, con l'onere del rimboschimento (art. 103). Pena pecuniaria che andava estesa al Sindaco e agli eletti, ossia agli assessori. qualora non avessero denunciato gli abusi e provveduto a sequestrare i fondi coltivati (art. 96). Nei boschi demaniali, invece, oltre alla pena era prevista persino la prigionia (art. 108).

La lotta all'incremento delle paludi

Ovviamente rispetto alla deprecabile diffusione delle paludi c'era un primario problema di salute, in quanto si cercava di evitare la propagazione della malaria proprio incoraggiando la bonifica dei terreni paludosi, un pallino di molti ingegneri ma non sempre supportato dallo Stato per gli ingenti finanziamenti che occorrevano anche solo per avviare le preliminari opere di canalizzazione.

Nella sua opera più importante, le *Considerazioni*, de Rivera promosse una legge sulle bonifiche e sulle grandi opere pubbliche, in un collegamento non certo atipico, e sicuramente in sintonia con il suo modo di pensare. Nella parte riservata al tema, egli lamentava l'assenza di disposizioni di legge opportune e chiare (Afan de Rivera, 1832). In quell'opera, de Rivera apriva ai privati, pur mantenendo una pessima considerazione degli imprenditori, troppo affaristi per i suoi gusti. Quell'apertura fu dovuta a ragioni politiche, ma anche all'esigenza di non gravare solo sullo Stato per gli onerosi lavori di bonifica.

Furono realizzate diverse bonifiche piccole e grandi in Calabria, nella valle del Crati e nella piana di Rosarno, e in Puglia, ad esempio nel Brindisino e nel Tavoliere, mentre in Campania furono decretati, ovvero posti in programmazione, diremmo oggi, ben undici interventi di bonifica: 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; la bonifica dei Regi Lagni; gli stagni di Marcianise; il Lago d'Averno. Possiamo dire, però, che soprattutto per le difficoltà finanziarie del Regno, solo nel bacino del fiume Volturno erano state eseguite opere e si erano raggiunti risultati (Ciasca, 1928).

Restavano, tuttavia, prevalenti gli scopi economici e di sviluppo delle comunità mediante il recupero di aree inutilizzate a causa degli allagamenti e dell'asfissia procurata ai terreni che diventavano improduttivi e incoltivabili.

L'uso capitalistico della natura è riscontrabile nella prevalente logica di sviluppo economico del Paese e di profitto per i privati che permeava, come detto, gli interventi a tutela del territorio. Il rimando alle esigenze di sviluppo era una sorta di mantra utilizzato per far presa sui governanti e sulla monarchia per ottenere una parte almeno dei finanziamenti, ma era anche dovuto alle oggettive condizioni del Regno. Ma alla fine si rivelò del tutto insufficiente rispetto alle necessità e alla programmazione della Direzione Generale di Ponti e Strade.

Lo sviluppo di una conoscenza delle problematiche relative alla gestione dei territori

Al problema dello sviluppo della conoscenza dei più significativi problemi di gestione dei territori si cercò di ovviare mediante la creazione, nel solco del modello francese, di una Scuola di formazione. In essa fu introdotta una specifica formazione con una cattedra di insegnamento relativa alla scienza silvana, a dimostrazione dell'interesse per la disciplina e dello stretto legame nella formazione tra la funzione tecnica degli ingegneri e la conoscenza delle problematiche ambientali (Foscari, 2020).

Va sottolineato il lavoro di controllo e tutela del territorio nelle province attuato dagli ingegneri, spesso catapultati nelle realtà periferiche dove subivano gli attacchi e le minacce di possidenti locali e maestranze del settore edile, tutti poco o per nulla propensi sia a rispettare la legge che a riconoscere la funzione vigilatrice dei tecnici.

Il forte ruolo di controllo da parte dello Stato

La forte vigilanza dello Stato fu ottenuta mediante un accorpamento delle funzioni nella Direzione Generale, che funzionava come una sorta di mega Ministero dell'Ambiente e delle Infrastrutture, per usare un linguaggio corrente. Nel vuoto della politica, piuttosto assente su queste tematiche, la Direzione Generale di Ponti e Strade, Acque, Foreste e Caccia a guida de Rivera ebbe una funzione di programmazione e anche operativa di notevole rilievo (Foscari, 1995).

L'ottica sistemica ispirò in buona parte l'idea della tutela ambientale e in questo modo si cercava di impedire o di limitare interventi non ben coordinati, che il più delle volte non riuscivano a risolvere il grave problema di cui si voleva venire a capo. Inoltre, fu attuato un controllo rigoroso sulla condotta degli agenti forestali e degli stessi ingegneri dislocati nelle province del Regno, per evitare possibili forme di corruzione. Il dirigismo statalista nel settore della gestione del territorio fu un marchio di fabbrica di de Rivera e corrispondeva a una sua ottica culturale, ma anche all'esigenza di assicurare sempre il prevalere dell'interesse generale su quelli di parte. Perché il tema della protezione dell'utilità pubblica, espresso in tutte le occasioni da de Rivera e dai suoi ingegneri, fu un principio ispiratore dell'azione dell'organo tecnico da lui diretto.

Il controllo sulle attività produttive

Quest'azione, per quanto piuttosto contenuta, serviva a limitare le possibili fonti di inquinamento e si attuava mediante un parziale controllo sulle attività produttive, evitando, ad esempio, che le vasche di macerazione del lino e della canapa in prossimità degli abitati creassero gravi danni alle persone e all'ambiente circostante. Quindi l'intervento era concepito quando si creava un problema per le comunità, in un costante lavoro per emergenze e non perché pianificato in maniera oculata.

La costruzione di infrastrutture per migliorare le comunicazioni, sviluppare gli affari e lo scambio delle merci

Si attuava anche in questo caso un piano di interventi coordinati per mettere in piedi un sistema di comunicazioni che favorisse il trasporto e il transito di uomini e merci verso le principali aree portuali del paese, da dove sarebbe stato più agevole procedere allo smistamento di derrate e beni. La via del mare era preferita per le difficoltà tecniche nel costruire nuove strade, non solo per le insidie nell'attraversare zone isolate ma anche perché esse erano facilmente soggette al degrado quando c'erano avverse condizioni atmosferiche.

Resta centrale, come già detto, la logica sistemica che ha accompagnato gli studi e le riflessioni sui bacini meridionali da parte di Carlo Afan de Rivera, per il quale vi erano relazioni che in maniera più diretta coinvolgevano tutte le diverse parti di un territorio. Il problema ebbe una sua esplicita ricaduta, perché pensare in modo rela-

zionale incideva sulle modalità di intervento sul territorio (Foscari, 1995). De Rivera già nel 1825 aveva parlato esplicitamente della necessità di evitare interventi pensati *separatamente* ma di agire «seguendo un piano di vedute generali» (Afan de Rivera, 1825: 31) per il raggiungimento del bene comune.

Questo schema sistemico, tipico di una visione ecologica, unitamente alla promozione di interventi per lo sviluppo del Mezzogiorno fu applicato in tutti i campi.

Qualche esempio in proposito può essere illuminante. Nei casi di allagamento dei territori a valle, per effetto di abbondanti piogge, non si doveva pensare solo a innalzare gli argini di fiumi o dei torrenti, ma appariva evidente che occorresse mettere in relazione quell’evento spesso disastroso con la mancata cura della montagna, il diboscamento e la non perfetta compattezza dei terreni, dovuta al taglio indiscriminato degli alberi. Su tutti questi aspetti de Rivera e i suoi ingegneri intervennero, come detto, anche sul piano normativo con i primi vincoli mirati a tutela del patrimonio forestale e dei territori posti in declivio che la storia del Mezzogiorno abbia conosciuto, con la già richiamata legge forestale del 1826.

Ma anche questo caso va posto dentro la cornice culturale già narrata, per la quale si doveva intervenire per le conseguenze che ne derivavano per l’uomo, ossia gli allagamenti, la perdita delle colture agricole, la diffusione delle paludi, la malaria e i conseguenti rischi di morte, e non già per una tutela in sé del territorio. L’utilità per l’uomo restava, dunque, sempre preminente.

Era il trionfo della cultura tecnica e liberale, nella quale tuttavia non si prestava la dovuta attenzione ai contesti naturali e al possibile degrado delle condizioni di vita in un’ottica di lungo periodo. Ci si muoveva in un paradigma di esclusivo antropocentrismo, ma anche nella direzione dello sviluppo economico, creando un legame molto forte tra una corretta azione nella gestione delle acque, un’opportuna canalizzazione per evitare il ristagno di queste ultime e la possibilità concreta che questi interventi riuscissero ad incrementare la ricchezza nazionale (Foscari, 2018).

Il richiamo a un aumento del valore dei terreni bonificati fu un aspetto ricorrente: sottolineare come il recupero alle colture costituisse un netto incremento del valore di mercato dei terreni bonificati fino a dieci volte di più chiarisce ancora una volta quale direzione prendesse il recupero ambientale.

Quando de Rivera parlava dei benefici dei regi lagni che dalle vicinanze di Nola arrivavano fino alle foci del Lago Patria e del Volturno ed erano destinati a conservare la bonifica di oltre 60.000 moggi di fertilissima campagna, così scriveva: «oltre il vantaggio del miglioramento dell’aria, che permetteva una più industriosa coltura nelle prossime campagne, si ottenne nella rendita di quei terreni un aumento di valore di 150 mila ducati in circa. Vale a dire: per questa sola opera la Direzione Generale (di Ponti e Strade) ha prodotto nella massa della ricchezza nazionale un accrescimento di valore più del triplo maggiore di quanto importavano i soldi di tutti gl’ingegneri e degli altri impiegati che sono addetti alla Direzione Generale» (De

Rivera, 1832: 102). L'esigenza di dare concretezza all'opera di bonifica effettuata serviva anche per rintuzzare gli attacchi di quanti nel governo borbonico e fuori di esso sostenevano che le spese degli ingegneri fossero esagerate rispetto ai risultati che si ottenevano. Questo fronte di contrapposizione a de Rivera lo obbligava a "monetizzare" gli interventi effettuati, a tradurli in risultati economici positivi per la Monarchia e a dimostrare che non vi fosse uno spreco di risorse pubbliche.

Un'altra questione che affrontava il capo degli ingegneri napoletani era quella determinata dalla cattiva gestione delle acque dei torrenti che, provenendo dalle montagne spogliate degli alberi che erano stati tagliati, scendendo verso valle procuravano alluvioni e devastazioni alle campagne sottoposte. Il problema non veniva sempre considerato in maniera adeguata, perché il limitato impatto demografico evitava che intere comunità potessero essere soggette ai rischi di pericolose alluvioni. Né c'era un esplicito ragionamento sugli effetti che la massa d'acqua che scendeva dalle montagne procurava alla natura stessa e al territorio, ma il tema era affrontato in relazione alla perdita di fertilissimi campi, ai danni alle colture o agli uomini e alla difesa degli abitati dall'irruzione violenta delle acque. Restava preminente la lettura dell'impatto dannoso per l'uomo e per la sua economia.

La lezione che de Rivera traeva includeva la necessità di rispettare i boschi esistenti e di ripristinare quelli che erano andati perduti per effetto dell'intervento dell'uomo. Nessuno può disconoscere che le soluzioni proposte avessero un fondamento paesaggistico e, in senso lato, ambientalista, ma la ratio che le ispirava non si distaccava mai da ciò che era considerato utile per l'uomo.

L'ecologia superficiale trionfava in tutte le sue sfaccettature, inutile ribadirlo.

Produco un altro esempio per dare l'idea di questo predominio dell'interesse economico e dell'antropocentrismo. Nei pressi di Sora scorreva il fiume Liri, le cui acque, per il solito taglio dissennato dei boschi in montagna, diventavano impetuose e pericolose. De Rivera proponeva ancora una volta la cura mediante un ampio rimboschimento, con la motivazione aggiuntiva che quest'azione avrebbe avuto conseguenze positive sul prezzo della legna, combustibile necessario per le abitazioni. Inoltre, l'habitat risanato avrebbe consentito un ripopolamento della zona e la nascita di fabbriche e manifatture (De Rivera, 1832).

E poco più oltre, nell'area del Garigliano, analoghi interventi avrebbero consentito di disporre di cotone, lino, canape e seta per le fabbriche di manifattura e prati artificiali per la pastorizia (De Rivera, 1832).

L'impatto economico e sociale restava prevalente nell'analisi dell'ecologismo superficiale borbonico e contava certamente più dell'impatto ambientale, benché questo venisse recuperato nella legislazione forestale acquisendo una sua centralità, ma sempre perché aveva forti ricadute sul piano economico e, alla lunga, su quello sociale.

A partire dal 1848, con le rivoluzioni dei popoli a sfondo dichiaratamente sociale, dovute alla spinta delle idee socialiste, ci fu un'estensione del ragionamento anche

agli effetti socioeconomici. La migliore ricetta proposta dal solito de Rivera fu procedere con un grande piano di infrastrutture per disinnescare la miccia della rivoluzione sociale che avrebbe potuto portare a una grave crisi del sistema monarchico borbonico (Foscari, 2018).

Tra superficialità e profondità: culture ambientali in contrapposizione

Possiamo dire che la *Shallow Ecology* si basi su quattro aspetti caratterizzanti: 1) gli esseri umani rappresentano l’unica forma di vita da valorizzare; 2) in quanto tali, essi possono ottenere benefici dall’ambiente; 3) se il soddisfacimento dei bisogni umani è ostacolato da danni all’ambiente, c’è motivo per preoccuparsi; 4) se danneggiare l’ambiente danneggia gli essere umani, l’ambiente allora deve essere protetto.

Se valutiamo questi fattori, possiamo ribadire una volta di più che nell’Ottocento borbonico la centralità e il primato dell’uomo fossero gli aspetti principali e, di conseguenza, l’attenzione verso la natura dipendeva solo dalle possibili conseguenze che potevano derivarne per l’uomo.

Ma negli anni Settanta del Novecento Arne Naess, filosofo ed ecologista norvegese, proprio in netta contrapposizione alla *Shallow Ecology*, ha teorizzato la *Deep Ecology*, ossia l’ecologia profonda, che ha rivoluzionato completamente il rapporto tra l’uomo e l’ambiente. Essa si basa, infatti, sulla considerazione che la natura abbia un valore intrinseco in sé, che prescinde completamente dall’uso e dagli interessi degli uomini (Naess, 1998). Questa percezione più radicale appare senza alcun dubbio più rispondente alle mature sensibilità ecologiche del nostro secolo e a quel passo in avanti che la cultura ambientalista ha oramai effettuato.

L’ecologia profonda propone un modello di ambientalismo e di progresso della società in sintonia con le esigenze della natura, se non addirittura in subordine. L’uomo nella natura e non l’uomo che prevale su di essa, questa l’essenza del suo ragionamento, che ha portato ad una serrata critica all’ecologia superficiale.

C’è chi parla oggi persino di incompatibilità tra liberalismo politico e tutela ambientale, anche se il riferimento è ai padri del liberalismo novecentesco, Rawls e Nozick; il liberalismo politico «è la filosofia dei limiti delle capacità umane e dei limiti dell’azione politica, con la conseguenza che ciò a cui essa si ispira non è il raggiungimento del bene e della vita buona, bensì è l’acquisizione di una conoscenza pratica che consenta di sfruttare il mondo naturale e di migliorare la vita quotidiana» (Maestri, 2013). Quest’ultimo concetto deriva in massima parte dalla percezione liberale del diciannovesimo secolo, che sovente procedeva verso una scarsa compatibilità tra valori e principi liberali da una parte e tutela dell’ambiente dall’altra, nonostante de Rivera e gli ingegneri mi verrebbe da dire.

Anche oggi si ribadisce in ogni contesto la necessità del concetto di sviluppo, puntando alla salute e alla ricchezza dei Paesi sviluppati, ma rimanendo saldamente ancorati all’idea che l’uomo sia la fonte di tutti i valori, e continuando a dare alla

natura solo un ruolo strumentale e di secondo piano. Ma questo è un paradigma che spesso perde di vista la complessità dei legami e delle interazioni. Di qui la rottura da parte dell'ecologia profonda, che immagina invece un ripensamento dell'evoluzione della società, mettendo in crisi lo sviluppo inteso come necessità a favore di un modello che non sia antropocentrico.

Nell'ecologia profonda di Arne Naess non viene accettata l'idea dell'uomo nell'ambiente, ma solo l'idea di una stretta relazione tra uomo e ambiente. La natura e l'io sono una cosa sola e sono uniti da un senso di reciproca appartenenza e interdipendenza e se ciò è vero bisogna avere rispetto per tutto ciò che è parte vivente della Natura. Per questo, essa sostiene che non ci possa essere una vera sostenibilità dell'economia globale se una buona parte della popolazione mondiale resta esclusa dai benefici della crescita. Occorre, dunque, una connotazione etica delle economie, in cui le persone e l'ambiente siano più importanti della logica del profitto. E, per ottenere questo risultato, c'è la necessità di guardare oltre il paradigma antropocentrico e gli interessi dell'uomo, ciò significa mettere in discussione quasi tre secoli di certezze, di benessere, di crescita economica e di cambiare l'approccio mentale e culturale.

Questa sfida è stata raccolta dai giovani in molte parti del mondo, e riguarda i cambiamenti climatici, l'emissione di CO_2 per evitare l'eccessivo e pericoloso surriscaldamento del pianeta, l'eliminazione dei combustibili fossili, l'utilizzo dell'energia da fonte rinnovabile, l'attivazione dell'economia circolare e tanto altro ancora. Una sfida attuata mediante manifestazioni pacifiche e non violente che puntano al massimo coinvolgimento emotivo di tutti i cittadini del globo. Appare evidente che la battaglia dei giovani sia nel solco dell'ecologia profonda, perché accusa specificamente i politici e gli adulti di pensare al danaro e di ambire ad un'eterna ma diseguale crescita economica.

Business versus ambiente, crescita *versus* sostenibilità. Questa sembra essere la partita in gioco. Nell'Ottocento (borbonico e non) le precarie condizioni di vita richiesero un'attenzione esclusiva per la crescita, lo sviluppo e l'interesse economico e la consapevolezza per le problematiche ambientali non toccò mai la soglia di attenzione cui si è pervenuti oggi, nonostante si iniziarono a verificare i primi dannosi effetti inquinanti della rivoluzione industriale.

E se nel nostro tempo le condizioni del pianeta sono radicalmente cambiate, il teorema prevalente dovrebbe essere vivere senza mezzi termini seguendo i dettami della natura e dell'ecosostenibilità, ragion per cui la lezione ottocentesca, per quanto da contestualizzare storicamente, necessita di una revisione anche radicale e rappresenta un monito a non insistere nel considerare la natura un semplice mezzo per gli interessi della specie umana. E va ribadita l'esigenza, non più differibile, di un modello di crescita virtuoso che inglobi tutte le aree del pianeta impedendo nuove e più drammatiche disuguaglianze sociali.

Bibliografia

Afan de Rivera C. 1825. *Memoria intorno alle devastazioni prodotte dalle acque a cagion de’ diboscamenti*, Napoli: Dalla reale tipografia della Guerra.

Afan de Rivera C. 1832-42. *Considerazioni su’ i mezzi da restituire il valore proprio a’ doni che ha la natura largamente conceduto al regno delle Due Sicilie*. 3 Voll. Napoli: Stamperia e cartiera del Fibreno.

Ciasca R. 1928. *Storia delle bonifiche del regno di Napoli*. Bari: Gius. Laterza & figli.

De Samuele Cagnazzi L. 1813. *Elementi di economia politica*. Napoli: presso Domenico Sangiacomo.

Foscari G. 2020. La formazione “ambientalista” dei giovani ingegneri nell’Ottocento borbonico. In: *Atti dell’8° Convegno Nazionale di Storia dell’Ingegneria - 4th International Conference*, 523-529. Napoli: Cuzzolin.

Foscari G. 2018. *Carlo Afan de Rivera. La politica e la modernizzazione conservativa nel Regno delle Due Sicilie*. Nocera Superiore: D’Amico editore.

Foscari G. 2009. *Teodoro Monticelli e l’«Economia delle acque» nel Mezzogiorno moderno. Storiografia, scienze ambientali, ecologismo*. Salerno: Edisud.

Foscari G. 2007. Sarno “fiume pubblico”. Una relazione inedita di Carlo Afan de Rivera. In: *L’ingegneria e la sua storia. Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel XIX e XX secolo* (a cura di A. Di Leo). 71-84. Cava de’ Tirreni: Marlin.

Foscari G. 1995. *Dall’arte alla professione. L’ingegnere meridionale tra Settecento e Ottocento*. Napoli: ESI.

Haeckel E. 1866. *Allgemeine Morphologie der Organismen*. Berlin: Druck und verlag von Georg Reimer.

Lowenthal D. 2003. *George Perkins Marsh. Prophet of Conservation*. Washington: Washington University Press.

Næss A. 1998. Il movimento ecologico: ecologia superficiale ed ecologia profonda. *Una sintesi*. In: *Etiche della Terra. Antologia di filosofia ambientale* (a cura di M. Tallacchini). 143-149. Milano: Vita e pensiero Editrice.

Palmieri W. 2012. Alcuni dati sui boschi nelle province meridionali nell’Ottocento preunitario. Quaderno ISSM, 174, 1-23.

Palmieri W. 2003. *Società economiche, montagne meridionali, boschi preunitari*. Quaderni ISSM, 1-29.

Palmieri W. 1997. La tutela del territorio: il bosco e il Parlamento napoletano del 1820-21. Storia urbana, 80, 35-62.

Sitografia

[1] Merchant C. 2002.
http://www.issm.cnr.it/personale/ciccolella/pdf/Ciccolella-Palmieri_Protezionismo%20atipico. pdf.

[2] Ciccolella D., Palmieri W. 2014.
http://www.issm.cnr.it/personale/ciccolella/pdf/Ciccolella-almieri_Protezionismo%20atipico.pdf

[3] Marchi M. 2011
http://amsacta.cib.unibo.it.

[4] Maestri E. 2013
https://governarelapaura.unibo.it/article/view/4135/3564.

Matteo Abita, Danilo Di Donato,
Alessandra Tosone, Renato Morganti

Arsenali militari in Italia e architettura del ferro nell'800. Il ponte girevole di Taranto

Italian dockyards and iron architecture in the 19th century. The swing bridge of Taranto

Sommario
Dopo il 1861 la Marina Militare avvia un programma di ristrutturazione per dotarsi di un sistema infrastrutturale adeguato, funzionale sia al traguardo dell'autonomia nella produzione di armamenti bellici, sia alla messa in rete delle strutture cantieristiche e difensive. Da ciò scaturisce un articolato piano pluriennale di riorganizzazione e nuova istituzione degli arsenali italiani. A questi episodi si deve riferire la sperimentazione di una particolare tipologia infrastrutturale, quella del ponte girevole a struttura metallica, che trova una originale declinazione ferrigna a partire dalla seconda metà dell'Ottocento grazie a modelli di importazione, elaborati nei contesti francese e inglese. All'interno del quadro delineato, significativo è il caso dell'arsenale di Taranto: la costruzione del ponte girevole e le articolate vicende che lo riguarderanno ben rappresentano la sperimentazione tecnico-costruttiva di cui è oggetto questa particolare tipologia infrastrutturale.

Abstract
After 1861 the Italian Navy started a refurbishment program in order to be equipped with a suitable infrastructural system, addressed to obtain autonomy in the production of weaponry and to build ships and defensive structures. These are the main reasons for the development of the well-structured multi-year plan concerning the reorganization and new institution of the Italian arsenals. This program involves the experimentation of a particular infrastructural typology: the swing bridge with iron structure which finds an original configuration starting from the second half of the 19th century, thanks to imported models mainly developed in France and England. The events related to Taranto's arsenal are particularly significant: the building of the swing bridge well represents the technical and construction experimentation of this particular infrastructural typology.

Gli antefatti dei ponti girevoli in ferro nel contesto italiano

Il ponte girevole trova un suo antefatto nel ponte levatoio che caratterizzava le strutture difensive medievali, fortezze e castelli, e risponde a una prima esigenza di attraversamento di canali navigabili di ampiezza ridotta per garantire sia il passaggio delle imbarcazioni, sia il collegamento tra le rive, funzionale al transito di persone, animali e cose. Per questo particolare ponte mobile, la luce piuttosto contenuta, i carichi accidentali poco impegnativi e la tipologia strutturale che prevedeva la rotazione rigida intorno a un unico perno, vincolato a una sola delle due rive o diversamente posto nell'alveo, han fatto sì che il legno assurgesse a materiale d'elezione per la sua concezione e costruzione, affidando a metalli e funi in corda un compito ausiliario, ma fondamentale, per la realizzazione dell'opera, come mostrato in Figura 1. Se per piccole luci, da 6 a 8 m, è possibile ritrovare tipi strutturali derivati dalla tradizione costruttiva delle coperture lignee, rivisitati all'occorrenza, per luci maggiori le soluzioni assumono tratti di originalità stigmatizzati dagli innumerevoli disegni del genio leonardesco (Bernardoni, 2005).

In Italia numerosi sono i casi documentati di ponti girevoli di piccola luce costituiti da un impalcato a doppio ordito e da incavallature lignee, configurate in alcuni casi come travi reticolari, collegate da traverse al perno di rotazione; a partire dal XVII secolo ponti analoghi per tipologia costruttiva assicurano il collegamento lungo le sponde del canale Navile di Bologna, poi sostituiti e di cui restano alcune tracce (Matulli, 1984). L'uso del legno per questo particolare tipo di ponti si protrae fino ai primi decenni dell'Ottocento, quando iniziano a diffondersi elementi costruttivi in ghisa e ferro. Paradigma di questa transizione è il ponte girevole progettato per il porto canale di Senigallia nel 1827 dall'ingegner Pompeo Mancini che presenta una struttura in legno per «il palco girante» (Mancini, 1834), ma una cospicua quantità di componenti in ferro, impiegati per le connessioni tra gli elementi lignei, il perno di rotazione e alcuni dispositivi meccanici.

Alla fase in cui legno e ferro caratterizzano costruttivamente questi ponti si avvia nella seconda metà dell'Ottocento, quella in cui tutta l'infrastruttura girevole, a meno dell'impalcato e della sua orditura secondaria, è realizzata con il solo ricorso ai materiali ferrosi che ne ampliano le potenzialità a tal punto da consentire un aumento progressivo della luce, in una dimensione squisitamente tecnicistica, per aprirsi successivamente a una ricerca in cui la forma acquisterà valenza propria.

Significativo è a riguardo il ponte sul Canal Grande di Trieste, realizzato nel 1857 e sostituito in seguito da una passerella fissa. Antistante la Chiesa di Sant'Antonio Taumaturgo, è dotato di un perno di rotazione retraibile, utilizzato anche come dispositivo di bloccaggio; la larghezza del canale in corrispondenza delle due banchine predisposte per l'attraversamento, di 7,5 m, l'estensione del braccio rotante, di poco superiore a 13 m, e le condizioni d'uso previste, sia pedonali che carrabili, rendono necessaria la realizzazione di una carpenteria metallica fornita dalle locali

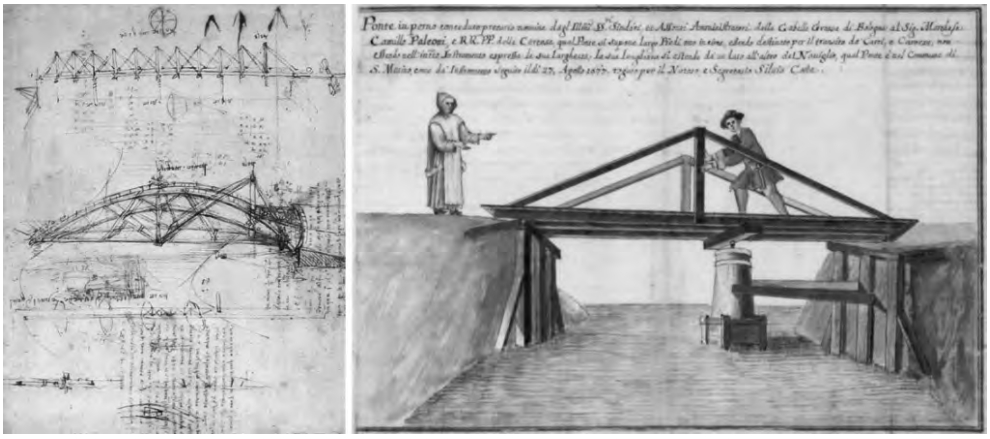


Fig. 1 – Studi su un ponte girevole di Leonardo Da Vinci e attraversamento mobile a struttura lignea sul Navile di Bologna (Codice Atlantico, foglio 855R, Archivio di Stato Bologna).

officine Strudthoff. Questa scelta si rivela avveduta quando, trent’anni dopo, emerse la necessità di revisionare il ponte, ancora nominato come “Ponte Verde”, imposta dalla realizzazione della linea ferroviaria tra la stazione Meridionale e quella di Trieste–Erpelle. La nuova carpenteria metallica prevede la sostituzione di quasi tutte le travi che mantengono lo stesso profilo rastremato e l’inserimento di travi gemelle poste in corrispondenza dei binari, rinforzate, sia all’intradosso che all’estradosso da piattabande metalliche. In seguito in un’area limitrofa verrà costruito un nuovo ponte girevole ferroviario, noto come Ponte Bianco. Entrambi saranno rimossi agli inizi degli anni ’50 del Novecento (Vio, 1887).

Altro episodio rilevante è costituito dai tre ponti pedonali girevoli realizzati sul Brenta tra i comuni di Mira e Oriago, in prossimità della laguna di Venezia, progettati dall’ing. Carlo Bragato di Dolo. Tra questi è ancora in uso e conserva l’assetto originario quello sul canale Brenta–Magra al Taglio, fornito nel 1863 dalla Fonderia Veneta Neville, del quale in Figura 2 sono riportati alcuni dettagli costruttivi. Realizzato con componenti ghisa, ferro e acciaio e largo 3,5 m, con luci nette della campata girevole di 5,4 m e 11,4 m, è organizzato su un impianto asimmetrico con due antenne fusiformi, tra loro vincolate in sommità e riprese in testa da stralli fissati al corrente inferiore delle due travi reticolari estradossate di bordo, collegate da traversi in ferro con sezione a T a sostegno di profilati longitudinali su cui poggia l’impalcato ligneo (Comune Mira. 2008).

Un successivo avanzamento nella tipologia costruttiva del ponte girevole trova spazio nei numerosi episodi promossi dalla Regia Marina Italiana, legati alle necessità di ristrutturazione, ampliamento e nuova costruzione delle infrastrutture portuali militari. Questo processo è caratterizzato dal ricorso a modelli di importazione di ponti girevoli a due perni di rotazione, già in uso nei Paesi d’oltralpe.

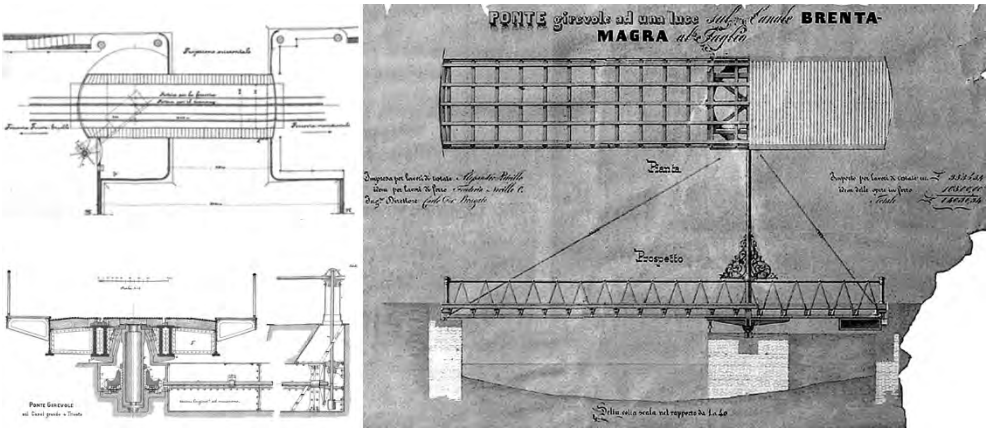


Fig. 2 – Ponte Verde: dettagli costruttivi della ristrutturazione a Trieste (a sinistra) (Vio, 1887)*; progetto della passerella a Mira Taglio (a destra)* (Comune di Mira, 2008).

La Regia Marina, il processo di potenziamento infrastrutturale e i modelli europei

All'indomani della proclamazione del Regno d'Italia, in un paese «eminentemente marittimo» (Ferrante, 2018) per la sua conformazione geofisica, la Regia Marina riveste fin da subito una posizione di rilievo (Fabrini, 2018). Con i ministri Riboty e Saint–Bon viene avviato un consistente piano di rinnovamento che prevede la fabbricazione di efficienti navi da guerra e il completamento e la costruzione di arsenali e porti militari, con il conseguente coordinamento delle relative flotte (Gabriele e Fritz, 1982). Tra il 1867 e il 1882 la Regia Marina inaugura infatti tre nuovi arsenali a La Spezia, Messina e Taranto e provvede alla ristrutturazione di quelli preunitari presenti a Livorno e Venezia, non ravvedendo la necessità di investire risorse sull'arsenale militare di Napoli, situato a Castellammare di Stabia, già ristrutturato e ampliato dai Borboni.

Uno dei personaggi chiave di questo programma di ammodernamento è il generale Benedetto Brin, ingegnere navale, che aveva perfezionato gli studi presso l'*École d'application du génie maritime* e che riveste il ruolo di direttore generale delle costruzioni per il Ministero della Marina prima di essere nominato Ministro dello stesso dicastero nel 1876. Brin è uno dei principali sostenitori della costruzione di grandi navi da guerra, come le corazzate Lepanto e Caio Duilio, e dello sviluppo dell'industria pesante, *in primis* quella siderurgica, per la fabbricazione e riparazione della flotta (Gabriele, 1998; Giorgerini et al., 1962). La stazza crescente delle corazzate impone la costruzione di canali, darsene e bacini di carenaggio sempre più ampi; ciò implica la realizzazione di attraversamenti in grado di assicurare collegamenti tra le diverse sponde e accessi marittimi controllati. Nei porti militari vengono introdotti ponti girevoli di grande luce, ispirati a modelli di importazione, distinti per uno o due perni di rotazione, provenienti da quei Paesi che potevano vantare organizzazioni

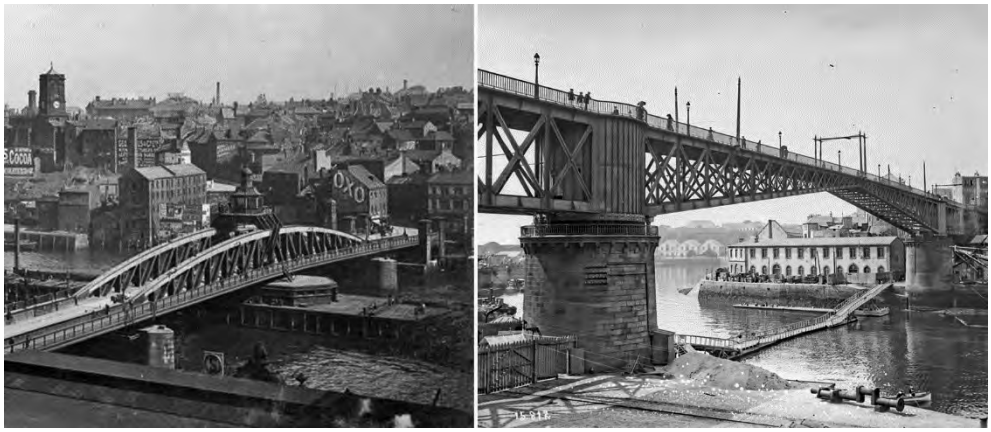


Fig. 3 – Ponti girevoli: ponte sul fiume Tyne a Newcastle del 1876 (a sinistra), Pont National a Brest del 1861 (a destra) (Cartoline d'epoca).

militari consolidate e la dotazione di infrastrutture per la movimentazione di grandi navi da guerra, in particolare Inghilterra e Francia.

Nei principali arsenali della Royal Navy inglese, per esempio, sono spesso impiegati ponti girevoli a schema simmetrico o asimmetrico, con la rotazione attorno a un solo perno, posto in alveo o su una delle sponde. Il ponte girevole del Royal Arsenal a Woolwich e quello a campata girevole di Rochester a Chatham nel Kent, ma soprattutto quelli degli arsenali di Bristol e Kingston Upon Hull altro non sono se non il frutto dell'applicazione di questo primo schema di funzionamento che trova la sua massima espressione nel ponte sul fiume Tyne a Newcastle, in Figura 3 a sinistra, completato nel 1876 e il cui braccio rotante arriva a coprire una luce pari a circa 90 m (Coad, 1989). Emblematica applicazione del secondo schema funzionale è il ponte realizzato nell'arsenale di Brest, in Figura 3 a destra, sebbene nei porti francesi prevalessero soluzioni ispirate agli esempi più diffusi in Gran Bretagna. Il ponte, lungo 104 m, vede i suoi due bracci ruotare attorno ai rispettivi perni con l'ausilio di un sistema di cuscinetti azionato da una squadra di quattro uomini; i retrobracci di 20 m circa, sono provvisti all'estremità libera di un cassone riempito di materiale pesante che funge da contrappeso (Sire, 2010).

I modelli inglesi e francesi costituiscono un importante riferimento per gli ingegneri che in Italia si confronteranno con questo tema progettuale, mostrando una marcata preferenza per la tipologia costruttiva a doppio perno di rotazione, adottato per i ponti di Livorno, La Spezia e Taranto. Altro comune denominatore di queste esperienze è rappresentato dall'impresa costruttrice, l'anglo–napoletana Guppy & C. che realizzerà i ponti girevoli a Livorno e La Spezia; a Taranto gli esiti della gara, ristretta a due società, premieranno la compagnia partenopea diretta da Cottrau.

Il ponte girevole di Taranto

La realizzazione del canale di Suez, inaugurato il 17 novembre 1869, segna un punto di svolta nel destino di Taranto rilanciandone il ruolo nazionale e internazionale; la creazione di un porto commerciale e di una importante base navale condizioneranno la lunga fase di pianificazione della città, tanto che, nella primavera del 1912, Luigi Ferrajolo sulle pagine della *Voce del Popolo* scrive «Taranto è oggidì una piazza marittima (…). E per l'Arsenale e per il militarismo tutto (…) si è fatto, tutto si è sacrificato» (Ferrajolo, 1985).

In continuità con un ruolo storico non solo di difesa, ma anche di appoggio alla politica orientale, già nel 1860 si ipotizza per Taranto il ruolo di polo militare marittimo con la realizzazione di un Arsenale, l'attrezzaggio del porto e l'adeguamento delle vie di transito tra il Mar Grande e il Bacino Piccolo. Con la deliberazione del 6 febbraio 1865 lo Stato riconosce la città quale presidio per la sorveglianza delle coste meridionali. Il porto interno, l'Arsenale di Cala Santa Lucia, il canale navigabile e un nuovo ponte si inseriscono all'interno del programma di sviluppo della città incentrato da una parte, sul fisiologico ampliamento del tessuto urbano e dall'altra, sugli investimenti del nuovo Stato unitario per le opere di difesa. Nella pianta dei nuovi borghi, redatta nel 1861 da una commissione artistica composta da A. Colli, D. Coversano, N. Greco e V. Montecchini era già presente un nuovo ponte posto a collegamento delle sponde del preesistente canale allargato e rettificato (Porsia e Scipioni, 1989). Tra i due antichi canali di Porta Napoli e Porta Lecce, posti all'estremità della città storica, si sceglie quest'ultimo, a oriente sul lato del Borgo nuovo, per motivi tecnico-marinareschi connessi al suo orientamento, più favorevole alle necessarie manovre d'ingresso soprattutto delle navi di grossa stazza, per la concreta possibilità di rettificarne l'andamento e per la sua minore lunghezza.

L'abolizione delle servitù militari sulla cinta fortificata della città antica, nel 1865, è la premessa per l'attuazione di questo programma con l'impegno del Comune a realizzare le demolizioni necessarie e a cedere gratuitamente una fascia di terreno di circa 40 m, fuori dalla porta urbana. Dopo un generale ridimensionamento delle previsioni del progetto di Coversano per il borgo orientale - che prevedeva un ruolo direzionale con la realizzazione del Palazzo del Governo e del Municipio, contemplando già la costruzione del nuovo ponte a collegamento delle sponde del preesistente canale rettificato e allargato, su cui affaccia una piazza per 50.000 persone con edifici per il commercio, caserme, scuole e asili - e a seguito del parere favorevole del Consiglio Superiore della Marina, nell'aprile del 1874 prende corpo la sistemazione del Canale e matura la decisione finale di realizzare il nuovo ponte, decentrato rispetto a quello antico del Soccorso; contemporaneamente si programmano le demolizioni della settecentesca Porta Lecce e di una delle torri del cinquecentesco Castel Sant'Angelo, la rettifica della cinta bastionata e la messa in secco delle due torri prospicienti il Fossato, in Figura 4.

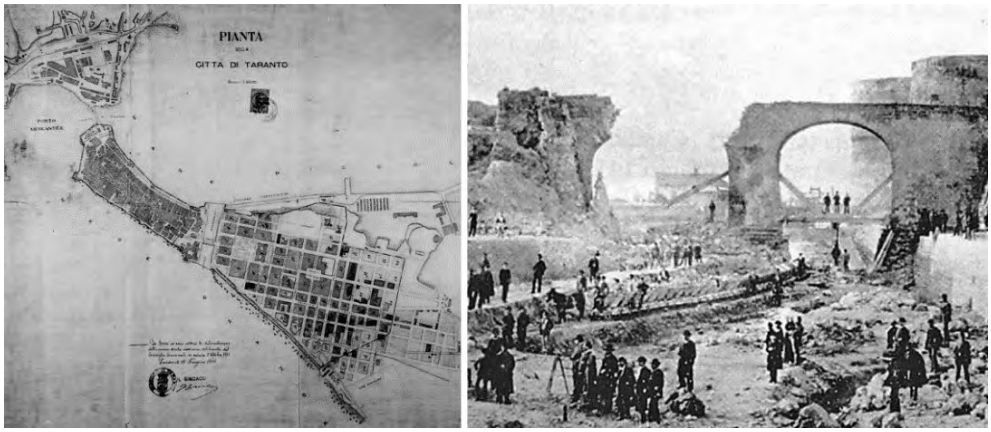


Fig. 4 – Planimetria della città di Taranto nel 1911 (a sinistra) (Porsia e Scipioni, 1989)*; scavi per la costruzione del canale navigabile (a destra)* (Archivio della Direzione del Genio Militare per la Marina di Taranto).

L'appalto concorso e il progetto del ponte

Per il ponte girevole previsto in ferro, con una luce di 60 m tra le due spalle, costituito da due parti mobili si ricorre, sotto la direzione tecnica del Genio militare a una gara d'appalto a «concorso speciale fra i più accreditati stabilimenti nazionali» (Messina, 1888) per la definizione del progetto e delle modalità di realizzazione, con l'obbligo di mantenere i costi entro 400.000 lire. Come riportato nel documento di concorso, il ponte deve adattarsi alle spalle in muratura già realizzate e, in particolare, i due perni di rotazione devono essere distanti dal ciglio delle spalle «non meno della metà lunghezza del ponte, in modo che nella posizione di apertura il ponte stesso restasse per tutta la sua lunghezza riparato dalle murature destinate a reggerlo; si prescriveva che la larghezza delle parti in coda, oltre il perno, non oltrepassasse il limite di 11 m, per non accrescere di troppo la larghezza della piattaforma delle spalle. Si indicava di 4,7 m la larghezza della parte destinata ai rotabili, con l'aggiunta di un metro per parte destinato per i pedoni; donde si assegnava la larghezza complessiva del ponte a 6,7 m. Il piano stradale si prescriveva in salita del 3% circa» (Messina, 1888). Per la struttura resistente, con riferimento al ponte della chiusa fatto ad Houvre nel 1861, si dà indicazione che in fase di esercizio, le due semi-travate potessero contrastarsi in mezzeria, senza alcun elemento di discontinuità, e «poggiare stabilmente tanto sui cigli delle due spalle in muratura, quanto alle due code che avrebbero avuto il contrappeso; e ciò per non assoggettare, in quella posizione, ad alcun lavoro il perno o l'asse di rotazione» (Messina, 1888). Altra precisa indicazione riguarda il meccanismo di movimentazione che doveva prevedere, in tre minuti, la possibilità di apertura e chiusura delle due parti mobili in entrambi i versi (Messina, 1888).

Le imprese invitate a partecipare all'appalto concorso sono la Guppy & Co. di Thomas Richard Guppy, in virtù del consolidato rapporto professionale che il tecnico inglese aveva con la Marina Militare, e l'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche, la IIICM di Alfredo Cottrau, a fronte della consolidata esperienza di progettazione e ingegnerizzazione di grandi opere e infrastrutture.

I progetti presentati nel marzo del 1883 sono considerati poco dettagliati e incompleti in particolare per gli aspetti connessi non tanto al cinematismo quanto alle fonti energetiche del sistema di movimentazione.

Di fronte alla indisponibilità più volte dimostrata dalla Guppy per una revisione del progetto, in considerazione anche del maggior costo della loro proposta, l'opera viene affidata a Cottrau, che elabora, a luglio dello stesso anno, una diversa soluzione costruttiva per il ponte, passando da due a quattro travate in conformità con le più consuete tipologie di ponti mobili che prevedono le due travate per il transito, «in posizione fissa e simmetrica», dei convogli ferroviari a fronte delle quattro per il passaggio «di veicoli e cammino libero» (Crugnola, 1888), come in Figura 5.

Il nuovo studio sul meccanismo di movimento con «macchine motrici alimentate da aria compressa ad alta pressione in serbatoi cilindrici» (Crugnola, 1888) non incontra il favore del Comitato di Artiglieria e del Genio. Grazie alla collaborazione con l'ing. Giuseppe Messina, l'Amministrazione militare giunge alla soluzione finale che, ricorrendo all'acqua come forza motrice, prevede turbine idrauliche poste sotto le spalle del ponte e la realizzazione di un serbatoio d'acqua collocato nella torre Nord-Est del Castello.

La struttura del ponte

Il ponte, lungo 89 m è diviso in due parti a travate indipendenti che coprono una luce libera di 59 m; ciascuna di esse ha una "coda" lunga 11 m misurata dai centri di rotazione che, posti a distanza di 3,8 m dal ciglio delle spalle in muratura, coprono una luce complessiva di 67 m. La larghezza del ponte è di 6,7 m, di cui 4,7 m corrispondono alla travata e 2 m alle fasce laterali dei marciapiedi.

Ciascuna semi-travata è costituita da quattro travi longitudinali, disposte simmetricamente rispetto all'asse del ponte: quelle intermedie con un interasse di 2,5 m e quelle estreme di 5,5 m. Le travi sono reticolari sono "di tipo misto" e sono costituite da profili composti a doppio T per correnti e aste di parete con montanti e diagonali a croce di Sant'Andrea. In chiave invece, nelle ultime quattro maglie collocate in prossimità dell'appoggio, le travi sono a parete piena, come mostrato in Figura 6.

Profili a T di uguale altezza, circa 0,3 m, e piattabande di diversa larghezza per le travi di sponda e per quelle intermedie, formano le briglie centinate: la superiore segue una curva parabolica con una saetta in chiave di 1,1 m sulla corda di 89 m, quella inferiore, per la sola parte dello sbalzo, si configura ad arco circolare con un raggio di 176 m e con una freccia di 3,4 m corrispondente alla corda di 59,4 m, proseguendo

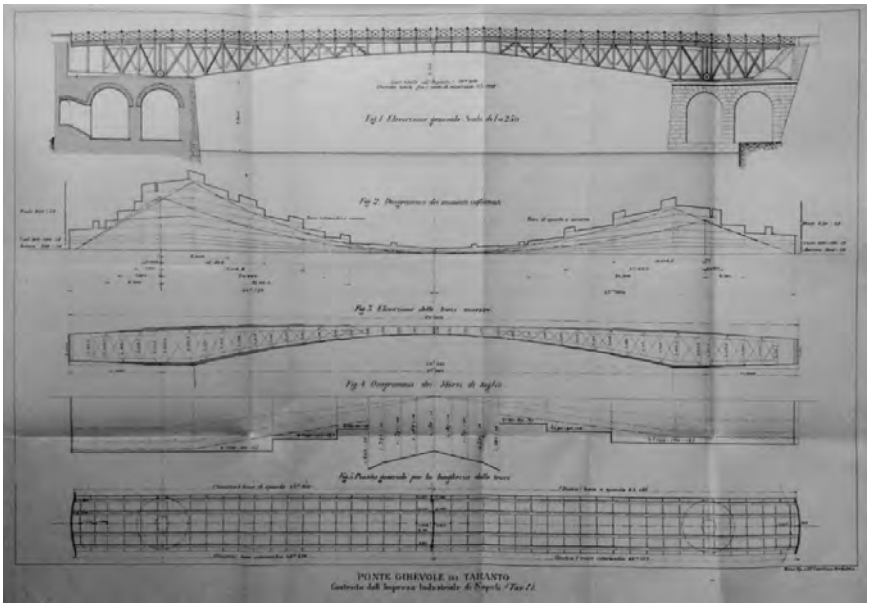


Fig. 5 – Taranto: tavola di progetto del ponte nell'arsenale tarantino con diagrammi delle sollecitazioni e indicazione della carpenteria metallica (Crugnola, 1888).

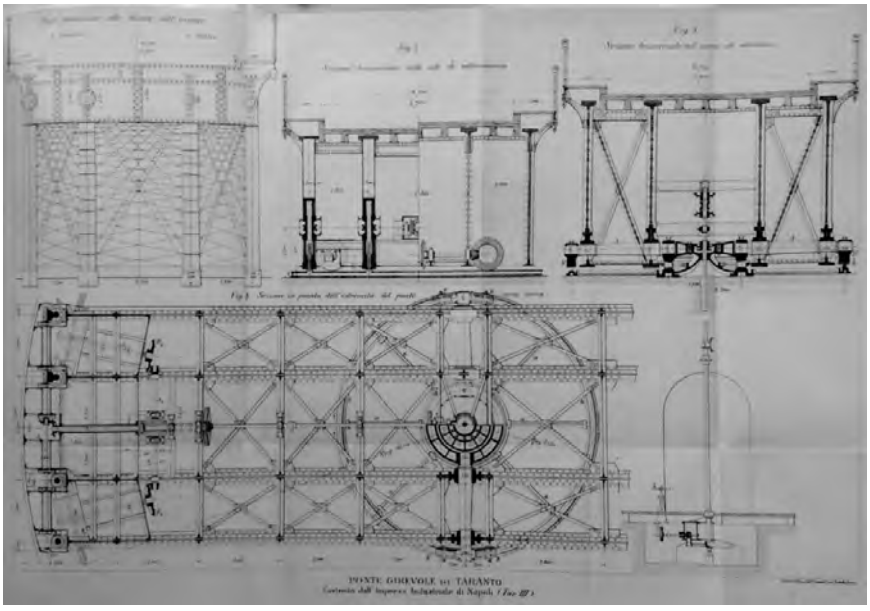


Fig. 6 – Taranto: dettagli in pianta e sezione del retrobraccio e del meccanismo di rotazione del ponte (Crugnola, 1888).

con andamento orizzontale, per la parte relativa all'apparecchio di rotazione, e sollevandosi di nuovo nel tratto della coda (Carughi, 2003).

Il ponte risulta caratterizzato da un profilo lievemente arcuato sia all'intradosso che all'estradosso, profilo studiato per «avvicinarsi maggiormente alla forma richiesta dalla curva dei momenti inflettenti» (Messina, 1888). Il collegamento trasversale delle travi reticolari è assicurato da «traversoni metallici» (Crugnola,1888), posti in corrispondenza dei montanti a una distanza di 2 m, a meno delle zone occupate dai meccanismi di rotazione o dalle casse dei contrappesi, e da un sistema di controventi verticali e orizzontali. Ogni partita del ponte è completata in larghezza da mensole curvilinee in ferro fucinato aggettanti per 0,6 m, poste anch'esse in corrispondenza dei montanti, a sostegno delle banchine degli «andari» (Crugnola,1888) e dei montanti delle balaustre.

L'implacato è costituito da un ordito di correnti di quercia disposti in senso longitudinale e da un tavolato posto a spina di pesce e collegato alla struttura lignea sottostante per mezzo di «punte di Parigi» (Crugnola,1888).

Il sistema di movimentazione

Il sistema di movimentazione del ponte, meccanizzato o manuale, prevede due distinti movimenti dei mezzi arconi: quello di «altalena» (Crugnola,1888) utile a scollegare le testate, dotate di «dischi conici in ghisa gli uni sporgenti su di un avambraccio, gli altri ad incavo sull'altro avambraccio» (Crugnola,1888) e quello vero e proprio di rotazione di 180° per l'apertura o chiusura del ponte.

I valori delle masse in gioco e degli sforzi richiesti ai motori sono rilevanti: il peso del ponte è di circa 1.014.260 kg, di cui circa 312 kg della sola struttura metallica, e 540 kg del contrappeso realizzato con grossi cassoni di lamiera della capacità di 60 m^3 riempiti con materiali di scarto delle lavorazioni e con pani di ghisa scadente. La scelta del sistema di movimentazione quindi, coerentemente con le due tipologie più adoperate per i ponti girevoli, si indirizza verso quella in cui l'azione motrice è indotta in modo indiretto e il ponte è sostenuto sopra una o più corone con rulli e ruote. Il movimento di rotazione avviene intorno a due cardini; sui centri di rotazione è posto concentricamente un triplice sistema di appoggi. Un masso in ghisa del diametro di 1,7 m funge da cardine centrale che, dotato di rulli troncoconici disposti radialmente, sopporta il peso della travata e asseconda il movimento ad altalena funzionale allo sganciamento delle due semitravate. Un anello in ghisa, del diametro di 10 m, sopporta la rotazione dei due bracci; sullo stesso binario mediano scorre un cavalletto dotato di due ruote e un robusto albero in acciaio, posto trasversalmente, intorno al quale avviene il rollio per scollegare in mezzeria le due estremità. Un settore circolare, «una vera e propria rotaia ferroviaria di acciaio, del tipo Vignole» (Crugnola, 1888) con un raggio di 10 m, guida le ruote motrici nella fase di trascinamento.

Fig. 7 – Taranto: il ponte girevole, progettato e costruito dalla IICM e inaugurato nel maggio del 1887 (Cartolina d'epoca).

La costruzione, il collaudo e il successivo adeguamento alla rete tranviaria

La IIICM alla fine del 1884 avvia la fase di costruzione delle componenti metalliche nello stabilimento di Napoli; una serie di cause - il ritardo negli approvvigionamenti del materiale e l'epidemia colerica che colpisce diverse città italiane - allunga i tempi di realizzazione della carpenteria metallica che, premontata in officina, è trasportata in situ solo nel marzo del 1886.

Nell'area di cantiere in tre mesi vengono montate le due semi-travate metalliche e a luglio si avviano la costruzione dell'impalcato ligneo e la sistemazione dei meccanismi di movimentazione che vengono provati nel gennaio dell'anno successivo. Le due semitravate sono montate in posizione di ponte aperto con una rilevante economia nelle opere provvisionali realizzate su terraferma, mentre in acqua si procede con i lavori di escavazione del canale, profondo 12 m nella fascia centrale. Dopo le prove di rotazione con la forza idrica del gennaio del 1887, il ponte, in Figura 7, è ufficialmente consegnato alla Regia Marina e inaugurato e aperto al pubblico il 22 maggio dello stesso anno (Acquaviva, 1987). All'indomani del conflitto mondiale la realizzazione della rete tranviaria pone la questione dell'integrazione del ponte girevole. Il progetto è affidato all'ing. Guido Vallecchi che grazie agli esiti delle verifiche statiche e a una soluzione innovativa delle linee elettriche aeree riesce ad assicurare l'avvio del servizio tranviario nel febbraio del 1922 superando la riluttanza della Regia Marina. A fronte dell'ipotesi assunta a premessa della verifica statica che sul ponte transiti «un treno tranviario composto da automotrice e relativa rimorchia» (Vallecchi, 1922), carico di gente, e che gli assi più pesanti della motrice gravino

Fig. 8 – Taranto: l'integrazione della linea tramviaria con un sistema di portali metallici (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, ICCD - Archivi fotografici).

all'estremità di una delle due mensole, Vallecchi riscontra che «data la costituzione e lo stato di conservazione della opera metallica, (…) i valori delle sollecitazioni sono da considerarsi di assoluta sicurezza» (Vallecchi, 1922).

Per l'impianto di alimentazione, scartata l'idea di costituire sul ponte contatti manovrabili a ogni apertura e chiusura, Vallecchi realizza due diverse linee elettriche indipendenti per ciascuna metà del ponte, sfruttando il meccanismo di sganciamento delle due semiarcate per la connessione aerea delle due linee e la presenza della galleria di servizio sotto il canale navigabile per la loro alimentazione. Su ciascuna parte del ponte è predisposto un sistema di portali metallici: il primo, sulla sponda, è costituito da due alti pali tubolari sostenuti da un traverso da cui parte un cavo flessibile che raggiunge i portali a traliccio come mostrato in Figura 8.

Il ponte della Savigliano

Il ponte di Cottrau negli anni successivi inizia a mostrarsi come «un cruccio per la città, oltre che un infermo eccellente, mai ammalato gravemente, ma abbisognoso, questo sì, di continue cure» (Porsia e Scipioni,1989) e diverse sono le valutazioni rispetto alla necessità e ai modi con cui intervenire: il Genio militare lavora a un ponte scorrevole a scomparsa, con il coinvolgimento della Società Nazionale delle Officine di Savigliano, SNOS, mentre la Direzione autonoma delle Strade ipotizza un sottovia pedonale e carrabile. Si procede nel frattempo con interventi parziali di manutenzione che si ripeteranno poi nel '27, nel '32 e nel '42. Il problema della sua sostituzione si impone alla fine del secondo conflitto bellico e nell'aprile del 1956 su commissione del Ministero del LL.PP. la realizzazione del nuovo ponte girevole è affidata ai Cantieri Navali di Taranto in collaborazione con la Savigliano. L'Ufficio tecnico SNOS redige il progetto della carpenteria metallica e del sistema di movi-

Fig. 9 – Taranto: il ponte inaugurato nel 1958 costruito dai Cantieri Navali di Taranto con la collaborazione delle Officine di Savigliano (Gianluca Di Maria, 2020).

mentazione per il quale si decide il cinematismo delle volate, l'uso del chiavistello di serraggio in chiave e il verso di rotazione. Il ponte, montato tra agosto del 1957 e gennaio del 1958, è inaugurato nel marzo dello stesso anno.

Dopo circa venti anni il ponte, in Figura 9, torna a mostrare un complessivo deterioramento a causa dell'aumento del traffico, così che nel marzo del 1980 vengono stanziati 10 miliardi di lire per la sua sostituzione. Il ponte sarà invece sottoposto a un attento intervento di restauro con interventi di pulitura e protezione delle strutture metalliche, il rifacimento dell'impalcato con una struttura in calcestruzzo armato e la sostituzione di alcune parti del meccanismo di apertura.

Conclusioni

La costruzione dei ponti girevoli della Marina e in particolare quello di Taranto, può essere assunta a plastica rappresentazione dello spirito ottocentesco della giovane Italia, pronta ad affrontare le sfide difficili poste da una tardiva Rivoluzione Industriale, nella convinzione di poter abbracciare il progresso sociale e tecnologico a essa associato. Il ponte girevole è ambito di ricerca fertile in cui la costruzione metallica trova piena manifestazione della sua natura meccanica e industriale, al pari di quanto accade, negli stessi anni, nella cantieristica navale, quasi a confermare la stretta simbiosi che si instaura tra il ferro e l'acqua. Il ponte di Taranto oggi, in relazione alle sue articolate vicende costruttive e manutentive, assurge a caso emblematico della necessità del riconoscimento e della tutela di un patrimonio di opere, anche di ingegneria, che testimoniano la progressiva evoluzione delle culture costruttive moderne nel contesto nazionale.

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va a Ugo Carughi ed Ermanno Guida per la documentazione sul ponte girevole di Taranto, nonché a Gianluca Di Maria per le ricerche svolte presso l'Arsenale della Marina tarantino.

Bibliografia

Acquaviva G. 1987. *Il ponte girevole di Taranto*, Taranto: Edizioni Archita, 120–126.

Bernardoni A. Zanon E. Taddei M. 2005. I ponti di Leonardo: straordinari progetti di Leonardo da Vinci ricostruiti in grafica tridimensionale. Milano: Leonardo3.

Carughi U. Guida E. 2003. Il ponte girevole di Taranto. In: *Alfredo Cottrau, 1839-1898: l'architettura del ferro nell'Italia delle grandi trasformazioni*, 120-142. Napoli: Electa.

Coad J. G.1989. *The Royal Dockyards, 1690–1850: Architecture and Engineering Works of the Sailing Navy*. UK: Scolar Press.

Comune di Mira. 2008. Rive. Uomini arte natura, Mira (Venezia): Quaderno, 6, 4–17.

Crugnola G. 1887. Costruzioni Metalliche dei Ponti girevoli in generale e di quello recentemente costruito per l'Arsenale di Taranto. L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali, XIII(13), 178-188.

Crugnola G. 1888. *Dei Ponti Girevoli in generale e di quelle recentemente costruito per l'Arsenale di Taranto*. Torino: Tip. Lit. Camilla e Bartolero Editore.

Fabrini R. 2018. *Storia della Marina Militare Italiana*. Raleigh US: Lulu.

Ferrajolo L. 1985. La Voce del Popolo, 6 aprile 1912. In: *Città cittadini civiltà dell'industria. Economia e società a Taranto dal Medioevo ai giorni nostri. Fra cronaca e storia* (a cura di P. Massafra), 178-179. Taranto: Scorpione.

Ferrante E. 2018. 150 Anni Rivista Marittima 1868–2018. La Storia, gli autori, le idee. Roma: Ufficio Pubblica Informazione e Comunicazione del Ministero della Difesa.

Gabriele M. Fritz, G. 1982. *La politica navale italiana dal 1885 al 1915*. Roma: Ufficio Storico della Marina Militare.

Gabriele M. 1998. *Benedetto Brin*. Roma: Ufficio Storico della Marina Militare.

Giorgerini G. Nani A. Cocchia A. 1962. Le navi di linea italiane, 1861-1961. Roma: Ufficio Storico della Marina Militare.

Mancini P. 1834. *Ponte girante sul porto-canale di Senigallia*. Pesaro: Tip. Annesio Nobili.

Matulli R., Salomoni C. 1984. *Il canale Navile a Bologna*. Venezia: Marsilio.

Messina G. 1888. Il canale navigabile fra la Rada e il Mare Piccolo di Taranto. Rivista di Artiglieria del Genio, 1, 236-288.

Porsia F., Scipioni M. 1989. La pianificazione tra Restaurazione e Unità. In: *Le città nella storia d'Italia. Taranto*, 99-106. Bari: Edizioni Laterza.

Sire S. 2016. Les ponts métalliques à Brest au XIXe siècle, les exemples du pont tournant de Recouvrance et du viaduc de Lambézellec. In: *L'art du vide*. 64-75. Paris: Somogy éditions d'art.

Vallecchi G. 1922. Dell'impianto tramviario sul ponte girevole di Taranto. Rivista Tecnica delle Ferrovie Italiane, 21, 178-197.

Vio A. 1887. Alcuni cenni intorno alla costruzione del ponte girevole sul canal grande di Trieste. Trieste: Stabilimento Artistico Tipografico G. Caprin.

Alessandra Tosone, Alessandra Bellicoso

Presidi antisismici nella storia: il ruolo degli elementi lignei nella cultura costruttiva aquilana

Antiseismic presidia in the history: the role of wooden elements in the constructive culture of L'Aquila

Sommario

I diversi processi di ricostruzione che coinvolgono la città dell'Aquila colpita da numerosi eventi sismici, tra cui i più rilevanti per intensità e livello di danno sono quelli del 1315, del 1349, del 1461 e del 1703, si legano spesso a significativi processi di riassetto del tessuto urbano e implicano una progressiva alterazione delle regole costruttive della compagine muraria e un sapiente ricorso a presidi tecnici antisismici. Dall'osservazione del tessuto edilizio storico è possibile quindi rintracciare una capacità diffusa di porre in opera una serie di soluzioni costruttive, volte ad aumentare la resistenza degli edifici nei confronti del terremoto, che costituiscono i caratteri di una "cultura sismica locale" complessa e articolata. Quest'ultima ha trovato condizioni di continuità di applicazione e sperimentazione in un arco temporale piuttosto lungo, che accompagna le ricostruzioni settecentesche attraverso una prassi costruttiva fondata sulla conoscenza profonda della struttura muraria e sulla padronanza della regola d'arte. Nell'ambito di questa cultura costruttiva un ruolo rilevante è attribuito agli elementi lignei che, con funzioni diverse, vengono inseriti all'interno dell'apparecchiatura costruttiva sia dell'edilizia di base che di quella palaziata. L'integrazione degli elementi lignei può assumere il carattere di sistema e coinvolgere l'intero apparecchio costruttivo o, al contrario, quello di intervento puntuale legato ai singoli elementi costruttivi. L'obbiettivo dello studio che viene presentato è quello di comprendere se questi presidi antisismici, qui riportati nell'ambito della ricostruzione settecentesca dell'edilizia palaziale, abbiano rappresentato un ambito di sperimentazione e di anticipazione rispetto alla cultura tecnica ufficiale o se invece abbiano assimilato conoscenza da esperienze e prassi già codificate.

Abstract

The city of L'Aquila was hit by numerous seismic events. The most relevant in terms of intensity and level of damage are those occurred in 1315, 1349, 1461 and 1703.

The various reconstruction processes are often connected to significant realignment of the urban structure and imply a progressive alteration of the building rules for the construction of walls and a wise use of antiseismic presidia. By looking at the historical building structure, it is possible to detect a widespread ability to put in place a series of constructive solutions aimed at increasing the building resistance to the earthquake. These represent the feature of a complex and articulated "local seismic culture". Such culture has been continuously used and tested in a long period of time in the eighteenth-century reconstructions, through a building practice based on a profound knowledge of the wall structure and on a perfect mastery of rule of art. In the context of this construction culture, a significant role is attributed to the wooden elements integrated, with different roles, both in the basic building and in the aristocratic building. These elements can take the character of system and involve the entire constructive apparatus, alternatively, it can be used for single building elements. This study aims at understanding whether the anti-seismic measures, reported here as part of the eighteenth-century reconstruction of the palatial building, represented a field of experimentation and anticipation of the official technical culture or if, on the contrary, they have assimilated knowledge from experience and practices already codified.

Introduzione

I danni dell'ultimo terremoto che ha colpito la città dell'Aquila nel 2009 e i conseguenti lavori di ricostruzione hanno evidenziato, all'interno del tessuto edilizio storico, l'uso diffuso di elementi lignei di presidio antisismico, applicati e sperimentati nel corso dei secoli in seguito ai ripetuti eventi tellurici secondo modalità che assumono il carattere di intervento puntuale o di sistema. È il caso dei radiciamenti lignei all'interno delle murature, inseriti con funzioni di vere e proprie catene lignee per migliorare le ammorsature in prossimità di martelli murari e cantonali o per ripianare i ricorsi in murature poco regolari. Analoghi elementi lignei si rinvengono nell'apparecchio delle volte in muratura, per contrastare la spinta e migliorare il comportamento scatolare delle murature d'ambito. L'uso di componenti lignee aggiuntive caratterizza e specializza le soluzioni costruttive delle coperture e di leggeri elementi orizzontali piani o prevalentemente centinati disposti a definire la spazialità degli ambienti sottostanti.

L'obbiettivo di questo studio è quello di comprendere se i presidi antisismici, legati alla cultura edilizia locale, a partire dalla ricostruzione settecentesca, abbiano rappresentato un ambito di sperimentazione e di anticipazione rispetto alla cultura tecnica ufficiale espressa nella pubblicistica storica o se, al contrario, abbiano assimilato conoscenza da esperienze e prassi già codificate. Pertanto la metodologia seguita ha previsto l'analisi delle fonti dirette coniugata con quella delle fonti indirette, costituite dalla trattatistica e manualistica storica e dalle prime norme e dai primi regolamenti antisismici conseguenti agli importanti terremoti del XVII e del XVIII secolo.

L'approccio metodologico ha di fatto reso possibile definire in termini temporali il raffronto tra l'applicazione dei diversi presidi che ricorrono all'uso di elementi lignei e la loro presenza nella pubblicistica tecnica, così da valutarne il carattere di sperimentalità e, in termini analitici, la considerazione dei caratteri di analogia o di diversità rispetto alle prassi codificate.

Cultura sismica locale e i radiciamenti lignei

I diversi processi di ricostruzione che coinvolgono la città dell'Aquila, colpita da numerosi eventi sismici, tra cui i più rilevanti per intensità e livello di danno sono quelli del 1315, del 1349, del 1461 e del 1703, si legano spesso a significativi processi di riassetto del tessuto urbano che, con la trasformazione dei tipi edilizi di base e la ridefinizione del partito architettonico dei fronti, implicano una progressiva alterazione delle regole costruttive della compagine muraria e un sapiente ricorso a presidi tecnici in grado di garantire una costruzione ancora rispondente alla regola dell'arte e di ridurre le possibili condizioni di criticità connesse al ripetersi dei terremoti.

La razionalità e la regolarità del tessuto edilizio medievale, organizzato su lotti regolari di 4 · 7,5 canne edificati per metà della superficie, e la sapienza costruttiva delle murature caratterizzate dall'«apparecchio aquilano» (Gavini, 1980) riconducibile al cantiere angioino, si disperdono nell'urgenza delle fasi di ricostruzione della città seguite ai diversi terremoti. Dal Quattrocento si avvia un processo di trasformazione del tessuto edilizio che porta, infatti, a un ampliamento dell'edificato ottenuto attraverso la refusione dei tipi edilizi di base e l'occupazione progressiva degli orti, cui corrisponde anche un aumento del numero dei piani. È possibile ricondurre a queste particolari circostanze l'attenzione verso regole e accorgimenti che, dedotti dalle condizioni di danno più ricorrenti, sono utilizzati in modo preventivo sia nell'attività di riedificazione ex novo che in quella di riparazione dell'esistente, tanto da poter essere di fatto considerati veri propri presidi antisismici pre-moderni. Dall'osservazione del tessuto edilizio storico è possibile quindi rintracciare una capacità diffusa di porre in opera una serie di soluzioni costruttive volte ad aumentare la capacità di resistenza degli edifici nei confronti del terremoto, che costituiscono i caratteri di una "cultura sismica locale" (Pierotti, 2001) complessa e articolata, che ha trovato condizioni di continuità di applicazione e sperimentazione in un arco temporale piuttosto lungo e che accompagna le ricostruzioni settecentesche[1], attraverso una prassi costruttiva fondata su una conoscenza profonda della struttura muraria e su una padronanza della esecuzione a regola d'arte dei manufatti.

Sono i dettami della regola dell'arte a garantire la «stabilità e durevolezza della fabbrica» anche «ove sono più frequenti coteste naturali violenze» (Cavalieri San Bertolo, 1833) e l'apparato descrittivo delle tecniche costruttive fornisce indicazioni di tipo antisismico, tutte prevalentemente rivolte al concatenamento degli elementi di fabbrica: «le ossature saranno da riunire alle ossature, ed esse tutte da rafforzare

nel modo più opportuno con nervi e legamenti; sicché la successione delle ossature, collegate tra loro, risulti tale da resistere da sola, quand'anche ogni altro elemento venisse a mancare» (Orlandi, 1966).

La stessa regola dell'arte suggerisce una concezione strutturale della fabbrica secondo una progressiva riduzione delle masse, rispondendo a una «Leggerezza di costruzione che dipende dalla natura stessa dei materiali che si mettono in opera, e dal sistema secondo cui vengono impiegati (…). Vi è una Leggerezza di costruzione che procede dal sistema stesso o dalla scienza della costruzione, e da ciò che chiamasi arte di fabbricare» (De Quincy, 1884).

In quest'ottica il legno risponde al criterio di alleggerimento nella sequenza degli orizzontamenti come materiale utilizzato per la costruzione di false volte al di sotto delle coperture. Infatti: «Dopo la scelta, viene l'impiego de' materiali. Ogni edifizio è composto di parti. Di queste alcune sostengono, altre gravitano, ed urtano. I sostegni sono i muri o continuati, o isolati. Le parti, che gravitano sono gli stessi muri, le volte, i pavimenti, ed i tetti. Allora un edificio avrà tutta la solidità possibile, quando le parti che sostengono sono proporzionate a resistere a quelle, che urtano. Le parti inferiori devono avere maggior forza delle superiori, e perciò a misura, che s'inalza l'edificio, deve sempre di venire più leggiero» (Ruffo, 1789).

Nell'apparecchiatura costruttiva che caratterizza il tessuto edilizio dell'Aquila, relativamente sia all'edilizia di base che a quella palaziata, un ruolo rilevante come legamento è attribuibile proprio alla presenza di radiciamenti lignei che, secondo criteri e modalità tecniche diverse, integrano murature e orizzontamenti voltati, prevalentemente in forma di trave, o definiscono in forma più articolata le soluzioni costruttive di solai e coperture "impalettati". Il ricorso all'inserimento di elementi lignei nelle murature, sicuramente già noto nell'architettura difensiva medievale anche in territorio abruzzese, entra progressivamente a far parte delle pratiche costruttive a seguito dei terremoti di metà Quattrocento. Ma è nella fase di ricostruzione dopo il terremoto del 1703 che l'uso di radiciamenti lignei si estende in modo significativo a tutto il tessuto edilizio e con caratteri più sofisticati diviene «una vera e propria metodologia costruttiva, non episodica, né casuale» (Bramanti, 2002) con il pieno riconoscimento della pubblicistica tecnica ottocentesca: «Nelle costruzioni civili si nascondono generalmente entro la grossezza dei muri dei travicelli di quercia i quali orizzontalmente collocati nelle parti più elevate di ciascun piano e convenientemente uniti coll'inchiodarvi delle piattine di ferro dove due travicelli successivi trovansi l'uno di seguito all'altro o dove i travicelli posti in un muro sono incontrati da quelli situati in altri muri, servono a mantenere ben concatenate tutte le muraglie e ad eliminare in parte gli effetti delle spinte orizzontali» (Curioni, 1873).

La leggerezza della costruzione è adottata come criterio antisismico nella fase di ricostruzione settecentesca in cui l'uso di false volte, molto leggere e poco costose, poste a definire gli orizzontamenti ai piani alti dove la statica sconsiglia l'inserimen-

to di volte reali spingenti, è spesso associato a una diversa distribuzione e riconfigurazione degli spazi interni. Il materiale ligneo concorre in questo caso alla definizione della armatura delle "volte in camorcanna" a sostegno dello stuoiato. «La prima ossatura dei soffitti a volta, qualunque sia la loro curva, si compone con centine di legno che s'innestano al piede nelle pareti, e sopra si raccomandano alla travatura. Si terranno unite mediante delle fascie di tavole da inchiodarsi sopra di quelle. Operasi in seguito colle arelle alla stessa maniera dei soffitti piani» (Vitri, 1832).

Le murature animate

Nelle murature aquilane le travi lignee sono disposte longitudinalmente e annegate all'interno del loro spessore con la funzione di migliorare l'ingranamento dell'apparecchio murario, come mostrato in Figura 1, in quanto la mancanza di ortostati ben ingranati, dovuta a una muratura costituita prevalentemente da materiale lapideo in bozza di dimensione contenute, aveva mostrato una scarsa capacità di resistenza. I radiciamenti, dette anche "chiavi morte" o "travi morte", sono inseriti nella muratura come una vera propria armatura che, ricorrendo alla capacità di resistenza a trazione del legno, è in grado di assicurare maggiore qualità in termini di resistenza e stabilità.

Con l'aggiunta di elementi di trattenuta i radiciamenti assumono quindi la funzione di catene in grado di collegare, vincolandoli, due pannelli murari in modo da contrastarne l'allontanamento. Le catene lignee, disposte alla quota degli orizzontamenti, in funzione anche dell'altezza di interpiano, risultano vincolate all'interno dello spessore murario, in modo puntuale, con elementi di trattenuta in legno oppure in ferro, o sistematico, inchiodate alle cerchiature lignee presenti, ma possono anche essere vincolate al contrario, sulla faccia esterna del muro mediante sistemi di impalettamento, con bolzoni e capochiavi, lignei o metallici.

Fig. 1 – L'Aquila, Palazzo Zuzi: trave lignea composta con connessioni a "dardo di Giove" rinvenuta alla base di un martello murario crollato a causa del sisma del 2009 (Tosone, 2013).

Fig. 2 – L'Aquila, Palazzo Zuzi: travi lignee affiancate ai martelli murari e integrate al sistema dei frenelli (Tosone, 2013).

Travi lignee sono poste anche all'esterno del muro, in prossimità dei martelli murari, inserite nello spessore del solaio e in particolare nello spazio del rinfianco delle volte, spesso anche integrate al sistema dei frenelli, come visibile in Figura 2. Si ritrovano nella tipologia del palazzo, con la funzione di assicurare un miglioramento del comportamento scatolare delle murature rispetto a uno sviluppo longitudinale significativo dei fronti. Con la stessa finalità, la predisposizione sistematica di radiciamenti nella compagine muraria dà luogo alla realizzazione di vere e proprie cerchiature, riproposte a diverse altezze in relazione alla dimensione dell'edificio e al suo sviluppo verticale; le travi lignee, opportunamente giuntate attraverso semplici chiodature o connessioni a "dardo di Giove", si intersecano in prossimità delle angolate e terminano all'esterno del cantonale con capochiavi metallici chiodati alla testa delle travi e con bolzoni di trattenuta, secondo conformazioni diverse che in pieno rinascimento sono caratterizzate da motivi floreali e zoomorfi.

Volte a spinta trattenuta

Radiciamenti lignei sono impiegati anche nei sistemi voltati, con modalità diverse in funzione della loro geometria e dimensione, e utilizzati prevalentemente nelle volte pesanti con apparecchio a mattoni, «chiavi di consolidamento o controspinta degli archi e delle volte (…) disposte negli archi specialmente ed anche nelle volte, specie se queste hanno una notevole ampiezza e lunghezza, servono a controbilanciare l'azione della spinta, specialmente quando la monta sia sensibilmente depressa» (Astrua, 1893).

In ambito aquilano le volte in cui è possibile rinvenire questo presidio sono prevalentemente quelle costruite o ricostruite dopo il terremoto del 1703 nell'architettu-

Fig. 3 – L'Aquila, Palazzo Gualtieri: insieme dei radiciamenti lignei che costituiscono un sistema voltato a spinta trattenuta (Tosone, 2014).

Fig. 4 – L'Aquila, Palazzo Gualtieri: dettaglio degli elementi lignei di trattenuta nel rinfianco della volta simili alle "catene a braga" del Valadier (Tosone, 2014).

ra palaziale, che coprono ambienti di grandi dimensioni; sono realizzate con mattoni posti a coltello secondo diverse tipologie di apparecchio: «a tutti li modi convien che la volta sia fodrata di asse di larici o pino, acciò che le volte fatte durino» (Panizza, 1990). Nel caso di volte a botte, anche composte, con consistente sviluppo longitudinale, le travi lignee sono poste trasversalmente alla generatrice, parzialmente inserite nella parte sommitale dell'apparecchio, come in Figura 3, libere o appoggiate lungo i frenelli e poi collegate ai muri d'ambito con sistemi di trattenuta celati o a vista. La catena può essere integrata da altri elementi lignei, in soluzioni del tutto simili alle "catene a braga" descritte dal Valadier (Valadier, 1828) e mostrate in Figura 4, o secondo configurazioni più articolate in cui le catene trasversali sono contrastate longitudinalmente da travicelli cui sono connessi elementi di trattenuta che terminano annegati nel rinfianco.

Al contrario, nel caso di volte composte, prevalentemente a padiglione, i radiciamenti sono posti con giacitura parallela alle generatrici e integrate nell'apparecchiatura in laterizio a circa un terzo della monta. Le travi, poste sui quattro lati della volta, si intersecano e si connettono in prossimità dell'angolo per poi vincolarsi ai muri d'ambito. Le stesse travi, prevalentemente sui lati più lunghi della volta, possono essere integrate da altri elementi lignei di trattenuta che le riconnettono ai muri perimetrali, come nelle immagini in Figura 5.

Alla quota d'imposta delle coperture, il sistema delle catene lignee può risultare ancora più articolato, con travi appoggiate lungo le cimase dei muri interni e connesse trasversalmente con quelle poste all'estradosso delle volte; in questo sistema possono essere ricomprese anche le catene delle capriate quando lo spazio del sottotetto risulta di altezza contenuta.

Fig. 5 – L'Aquila, Palazzo Gualtieri: sistema di trattenuta in una volta a padiglione: dettaglio d'angolo (Tosone, 2014).

Capriate impalettate e tetti a cassa

Il sistema della copertura privilegia, anche per il tessuto edilizio minore, la tipologia costruttiva della capriata, ricercando ancora criteri di ottimalità proprio all'interno della buona regola dell'arte. La valutazione degli effetti del sisma sui sistemi di copertura e l'evolversi della cultura sismica locale porta all'adozione di elementi e sistemi in grado di eliminare o contrastare il rischio più ricorrente connesso allo sfilamento delle capriate dalle murature d'ambito. Così, per aumentare la capacità di trattenuta della catena in fase di oscillamento delle murature, normalmente affidata alla sola forza di attrito, la tipologia costruttiva della capriata viene modificata attraverso una diversa soluzione del nodo di appoggio, in Figura 6. La catena diviene legamento e, prolungata oltre lo spessore del muro, è dotata di un sistema di trattenuta a paletto, in modo da assicurare una migliore correlazione tra sistema di copertura e sistema murario e rendere sincrone le oscillazioni dei muri, implicando un migliore comportamento dell'edificio.

La capriata "impalettata", completamente inserita nella muratura, presenta nella zona di appoggio un cuscino ligneo, lavorato e a volte modanato, caratterizzato da una lunghezza assai maggiore di quella di una normale mensola, come mostrato in Figura 7. «Pezzo di trave rustico, e talvolta smensolato nei capi, il quale s'inchioda

Fig. 6 – L'Aquila, aggregato di via delle Aquile: capriata impalettata: dettaglio della correlazione tra sistema di sistema di copertura e sistema murario (Tosone, 2015).

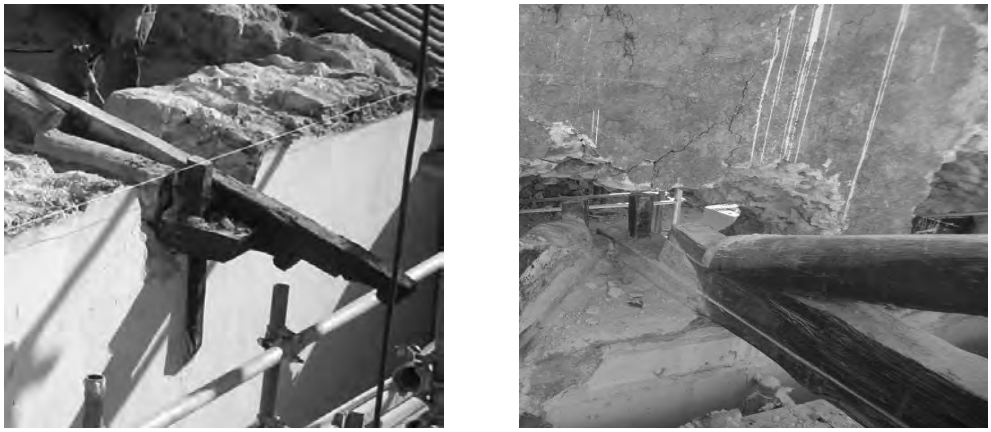


Fig. 7 – L'Aquila, Palazzo Farinosi: capriata impalettata: vista esterna e interna del cuscino ligneo e del paletto di trattenuta (Tosone, 2015).

per lungo sotto un altro legno, sotto ai travi, a'cavalli de'tetti, nell'interno degl'intelaiati, e quasi in tutte le armature perché non possa per esso un terzo pezzo che puntella e garantisce il secondo scorrere lungo quest'ultimo pezzo medesimo» (Ragucci, 1959). Questo cuscino, detto anche "slitta", che svolge sicuramente la funzione di materiale di sacrificio a protezione della testata della capriata, fuoriesce all'esterno nella misura che consente la creazione del foro di alloggiamento del paletto ligneo, mentre si prolunga all'interno sotto la catena in modo rilevante così da aumentare la superficie di attrito del sistema di trattenuta e non compromettere nel caso di

Fig. 8 – L'Aquila, Palazzo Zuzi: soluzione del tetto a cassa (Tosone, 2013).

scivolamento della catena il suo appoggio. Allo stesso nodo costruttivo può essere integrato anche un ulteriore elemento ligneo, un travicello inclinato, detto "polsa", che affiancato e chiodato al puntone e al cuscino si prolunga all'esterno a costituire l'orditura dello sporto di gronda.

Un altro tipo di soluzione per le coperture non modifica la tipologia della capriata, ma risolve diversamente la sua correlazione con la muratura. Si tratta di travature longitudinali inserite e collegate alle murature sommitali a mezzo di piccoli pali su cui vengono posizionati e vincolati gli elementi della struttura del tetto per realizzare un sistema a cassa, in Figura 8 «una specie di armatura consistente in travi commessi in continuazione, l'uno dell'altro, prima appalettati, ed addentati; i quali si stringono di più con morse e con fasce di ferro, e si adattano in fine per lungo sulle grossezze de' muri, su dei quali il tetto è stabilito. Gli estremi delle catene, e de' puntoni de' cavalletti congiunti ad incastri sulla cassa producono un sistema, che invece di spingere le pareti di cinta, le preme uniformemente per l'intera loro lunghezza» (Ragucci, 1959).

Volte in "Camorcanna"

L'impianto costruttivo tipicamente settecentesco, sia negli edifici di nuova costruzione sia negli interventi di risanamento di quelli danneggiati dal sisma del 1703, ripropone una sequenza degli orizzontamenti secondo un progressivo criterio di alleggerimento: volte portanti in pietra o mattoni al piano terra, solai lignei al primo piano e volte incannucciate al di sotto delle coperture lignee.

Così collocate, nella tradizione costruttiva aquilana le volte in "camorcanna" sono riconducibili alla tipologia dei soffitti centinati, «i quali hanno l'aspetto di una volta e compongonsi con una armatura di legname (…) applicata al disotto del solaio e che si ricopre d'un canniccio o stuojato su cui stendesi ancora l'intonaco» (Mazzocchi, 1871).

Fig. 9 – L'Aquila, Palazzo Zuzi: volte in camorcanna: il sistema delle centine lignee e dei tambocci all'estradosso (Tosone, 2013).

Fig. 10 – L'Aquila, Palazzo Zuzi: volte in camorcanna nella riconfigurazione di uno spazio interno. Dettaglio dell'arellato e dell'intonaco di finitura (Tosone, 2013).

In particolare, nei soffitti centinati aquilani al sistema delle centine poste a delineare la testa del padiglione e di quelle che definiscono le direttrici della volta è associata una orditura secondaria di travetti di piccola dimensione i cosiddetti "tambocci", in Figura 9. A questa complessa orditura lignea è fissato lo stuoiato, realizzato con il cosidetto "arellato", stuoie di canne di grosso diametro, spaccate longitudinalmente e intessute a formare una maglia con doppio ordito ortogonale, mostrate in Figura 10, o di canne di piccolo diametro, semplicemente accostate a formare un

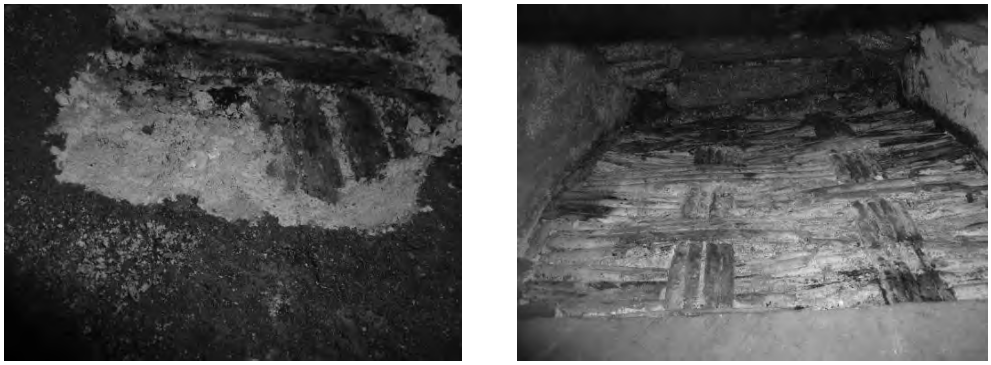


Fig. 11 – L'Aquila, Palazzo Gentileschi: estradosso delle volte in camorcanna: ordito dell'incannucciato e rinzaffo (Tosone, 2015).

ordito monodirezionale (Quagliarini e D'Orazio, 2005). «I soffitti centinati si fanno generalmente con un tessuto di stuoie e talvolta anche con sole canne fermate non ad una panconcellatnra di listelli, come si pratica nei soffitti piani, ma sibbene a centine o costole della larghezza di circa metri 0,11, della grossezza di metri 0,08 e formate di tavole. Le centine o le costole si pongono per l'ordinario alla distanza di metri 0,36 da mezzo a mezzo, si inchiodano a tiranti in legno posti l'uno dall'altro a distanze non maggiori di metri 0,40 ed assicurati da opportune chiodature ai membri del solaio» (Curioni, 1873). Fissato lo stuoiato al sistema di centine e tambocci con chiodi a testa larga o ribattuti, «si procederà al suo rinzaffo con malta bastarda, poi all'arricciatura con malta comune, e finalmente allo scialbo con malta fina, avendo cura di lasciare le opportune aperture per ventilare i vuoti tra il soffitto ed il solaio. La grossezza dei detti tre strati di malta non eccederà metri 0,025» (Curioni, 1873). Le volte, poste nel caso aquilano prevalentemente al di sotto delle coperture, presentano anche all'estradosso uno strato di rinzaffo utile a salvaguardare da possibili infiltrazioni d'acqua lo stuoiato, come mostrato in Figura 11.

L'armatura lignea è assicurata «ai muri laterali od alle travi del solajo o del tetto mediante tiranti in legname od in ferro, disposti convenientemente» (Cantalupi, 1863).

Per ottenere la configurazione della volta, prevalentemente a padiglione o a botte con teste di padiglione, «bisogna disporre delle centine o delle costole in modo che i piani che le dividono per metà, cadano nei piani verticali determinati dagli spigoli che deve presentare la superficie d'intradosso della volta da figurarsi; ed altre costole, analogamente a quanto si è detto sul modo di fare le armature delle volte sottili, verranno collocate secondo linee che si possano risguardare come altrettante direttrici della superficie curva che vuolsi ottenere.» (Curioni, 1873).

Conclusioni

La conoscenza di questi sistemi locali di presidio antisismico, inquadrata all'interno di una più ampia cultura costruttiva legata all'edilizia pre-moderna, mostra dei caratteri di singolarità connessi, nello specifico contesto, a un processo continuo di sperimentazione a seguito dei ripetuti eventi tellurici.

La valutazione critica del ruolo da essi assunto può muovere nella direzione di un incremento delle informazioni utile alla definizione di quei "fattori di confidenza", richiesti dalla norma nell'ambito delle analisi preliminari a un progetto che, secondo un approccio che rivaluta le regole dell'arte, sia in grado di tradurle in procedure operative e interventi coerenti e compatibili, non solo nell'ambito della riparazione del danno ma anche in quello del miglioramento preventivo per la messa in sicurezza del costruito storico che ne garantisca la conservazione dei valori materiali e costruttivi.

Bibliografia

Astrua G. 1893. *Manuale pratico del mastro muratore*. Milano: U. Hoepli.

Bramanti A. 2002. L'utilizzo di rinforzi lignei nella muratura: ricerche nei siti fortificati medievali della Toscana. Bollettino degli Ingegneri, 12, 4–12.

Cantalupi A. 1863. *Istituzioni pratiche elementari sull'arte di costruire le fabbriche civili.* Milano: Tipografia di Domenico Salvi e Comp.

Cavalieri San Bertolo N. 1833. *Istituzioni di Architettura Statica Idraulica.* Vol. I. Firenze: Vittorio Bellini.

Curioni G. 1873. *L'Arte di fabbricare*. Torino: Augusto Federico Negro Editore.

D'Antonio M. 2013. Ita *Terraemotus damna impedire. Note sulle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo*. Pescara: Carsa Edizioni.

De Quincy Q. 1844. *Dizionario storico di Architettura*. Mantova: Tip. Fratelli Negretti.

Gavini I C. 1980. *L'architettura in Abruzzo*. Vol. III. Pescara: Costantini Editore.

Mazzocchi L. 1871. *Trattato su le costruzioni in legno.* Milano: Antonio Vallardi Editore.

Orlandi G. 1966. *Leon Battista Alberti. De Re Aedificatoria*. Milano: Edizioni Il Polifilo.

Panizza G. 1990. *L'architettura/Pellegrino Pellegrini*. Milano: Edizioni Il Polifilo.

Pierotti P., Ulivieri D. 2001. Pisa: Edizioni Plus.

Quagliarini E., D'Orazio M. 2005. *Recupero e conservazione di volte in "camorcanna" dalla "regola d'arte" alle tecniche d'intervento*. Firenze: Alinea Editrice.

Ragucci L. 1959. *Principi di Pratica di Architettura*. Napoli: Stampatore Cattolico.

Ruffo V. 1789. *Saggio ragionato sull'origine, ed essenza dell'architettura civile*. Napoli: Michele Morelli.

Valadier G. 1828. *L'Architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di San Luca*. Roma: Società tipografica.

Vitri U. 1832. *Il proprietario architetto. Trattato di architettura e costruzione.* Parte II. Venezia: Giuseppe Antonelli Editore.

Nota

1. Per la ricostruzione delle vicende legate alla definizione e alla pratica di presidi antisismici sono stati individuati e scelti casi studio che riportano a episodi sia di nuova costruzione che di ricostruzione del tessuto edilizio aquilano a seguito degli eventi del 1703.

L’antico Palazzo Zuzi, posto in piazza Rocca di Corno, crolla nel terremoto del 1703 e viene costruito nella sua attuale sede di via delle Buone Novelle, secondo un impianto planimetrico che integra al nuovo edificio una porzione di tessuto edilizio preesistente. Il nuovo palazzo Zuzi risulta ultimato nel 1746. Palazzo Gualtieri, sito in Piazza santa Giusta, prima denominato Palazzo Bonomo-Ximenes, è costruito nel tardo XVI secolo e successivamente rivisto nel suo impianto come nella sua caratterizzazione architettonica e costruttiva nei secoli XVII e XVIII anche a seguito degli eventi sismici di inizio Settecento. Palazzo Gentileschi, il cui fronte principale affaccia su via Garibaldi e che ben rappresenta l’architettura palaziale aquilana del XVI secolo, è parte di un più esteso aggregato edilizio caratterizzato da un tessuto edilizio diverso per consistenza e assetto tipologico, oggetto di processi di trasformazione e rifusione a seguito anche della ricostruzione settecentesca di quell’ambito urbano. Il tessuto edilizio urbano è riconducibile a continui processi di refusione delle cellule edilizie anche nella fase di ricostruzione settecentesca secondo diversi assetti tipologici come per Palazzo Farinosi o l’aggregato via delle Aquile.

Giovanni Bellucci

La risposta di ingegneri e architetti ai terremoti di Ancona nel XX secolo. Progetti, realizzazioni e scuole di pensiero

The answer of engineers and architects to the Ancona earthquakes in the 20th century. Projects and realizations

Sommario

La città di Ancona nel corso del Novecento è stata colpita da numerose calamità naturali e in particolare da un'alluvione (1959), due terremoti (1930 e 1972) e una disastrosa frana (1980). Questi quattro drammatici episodi, che hanno segnato profondamente la storia della città, hanno coinvolto, dal punto di vista architettonico e ingegneristico, opere e interventi solo parzialmente indagati dal punto di vista tecnico della critica. Questo contributo intende fare luce in particolare sulle risposte messe in atto a seguito dei due eventi tellurici, soffermandosi sulle scelte politiche e sui risultati architettonici e tecnici ottenuti da un gruppo eterogeneo di progettisti (architetti, ingegneri, geologi, ecc.) che sono stati chiamati a sanare, per quanto possibile, e soprattutto ad impostare nuove strategie di intervento in particolare nel nucleo storico di una città millenaria.

Abstract

The city of Ancona during the twentieth century was hit by numerous natural disasters and in particular by a flood (1959), two earthquakes (1930 and 1972) and a disastrous landslide (1980). These four dramatic episodes that have profoundly marked the history of the city have involved, from an architectural and engineering point of view, works and measures that have only been partially investigated from the technical point of view of the critics. This contribution aims to shed light in particular on the responses implemented following the two telluric events, focusing on the political choices and on the architectural and technical results obtained by a heterogeneous group of designers (architects, engineers, geologists, etc.) who have been called to heal, as far as possible, and above all to set up new intervention strategies in particular in the historic core of a thousand-year-old city.

Introduzione

La storia di Ancona in particolare nel Novecento è segnata da eventi calamitosi, che hanno provocato profonde ferite, alle quali si è cercato di porre rimedio con provvedimenti architettonici e ingegneristici di varia natura. In tal senso gli storici e i tecnici locali hanno curato la pubblicazione degli esiti di tali interventi, che però in ambito scientifico hanno avuto un esito poco rilevante per diverse ragioni. Innanzi tutto, la condizione di marginalità che, tranne in rari periodi della storia, ha caratterizzato Ancona e più in generale le Marche. In secondo luogo, la mancanza nel capoluogo di scuole tecniche, in particolare di una Facoltà di Ingegneria o di Architettura, che solo dalla seconda metà del Novecento hanno contribuito in modo decisivo agli studi e agli interventi diretti sul patrimonio locale. Infine, la recente consapevolezza dell'importanza della storia dell'ingegneria quale scienza di non minore importanza rispetto alla storia dell'architettura, che figura da sempre nel corso di studi delle facoltà di architettura e di alcuni dei corsi di laurea delle facoltà di ingegneria.

Il sisma del 1930

L'evento tellurico che colpisce Ancona la mattina del 30 ottobre 1930 aggrava una condizione di precarietà generale, che caratterizza molte delle costruzioni presenti nei quartieri storici della città, in cui risiede gran parte del ceto popolare attivo nel porto (pescatori, operai dell'arsenale, ecc.). Il sisma con epicentro nella città di Senigallia, dove si riscontrano i danni maggiori, provoca danni consistenti anche nel capoluogo dorico tanto da rendere impraticabili molti edifici del quartiere Capodimonte (Guidoboni e Valensise, 2011; Boschi, 1997). Si vengono così ad accelerare i tempi per la realizzazione del risanamento di quella parte della città in base ad un progetto su vasta scala che da circa un decennio era oggetto di discussione.

Il progetto dell'intervento, in Figura 1, verte sulla costruzione di un nuovo asse stradale, Corso Stamira, delimitato da edifici monumentali tra cui numerosi istituti di credito come la Banca Nazionale del Lavoro e la Riunione Adriatica di Securità (Pavia e Sori, 1990). L'intervento firmato dall'architetto locale Luigi Garlatti Venturini (1885-1962) porta all'inaugurazione di un cantiere imponente che sul modello di quanto messo in atto negli stessi anni in altre città italiane mira al risanamento del centro storico attraverso interventi di demolizione e ricostruzione (Alici e Tosti Croce, 2011). Parallelamente si lavora alla realizzazione di tre distinti gruppi di abitazioni popolari in parte destinate ai residenti allontanati dal centro storico. Il progetto viene gestito dall'Istituto Case Popolari di Roma in quanto nelle Marche non sarà attivata fino al 18 gennaio del 1938 una sede locale degli uffici tecnici e amministrativi dell'I.C.P. (Severini, 1988). Per questo motivo i progetti dei nuclei delle cosiddette "case antisismiche" di Posatora, in Figura 2, Montirozzo e Piazza d'Armi realizzate tra il 1930 e il 1932 si devono a una terna affiatata di professionisti composta dall'ingegnere di origine osimana Innocenzo Costantini (1881-1962), che dal 1917 al 1946

Fig. 1 – Luigi Garlatti Venturini: Studi del piano regolatore per l'apertura di una nuova strada da Piazza Roma a Piazza Garibaldi, Ancona 1929-1930 (Archivio di Stato di Ancona, Fondo Luigi Garlatti Venturini).

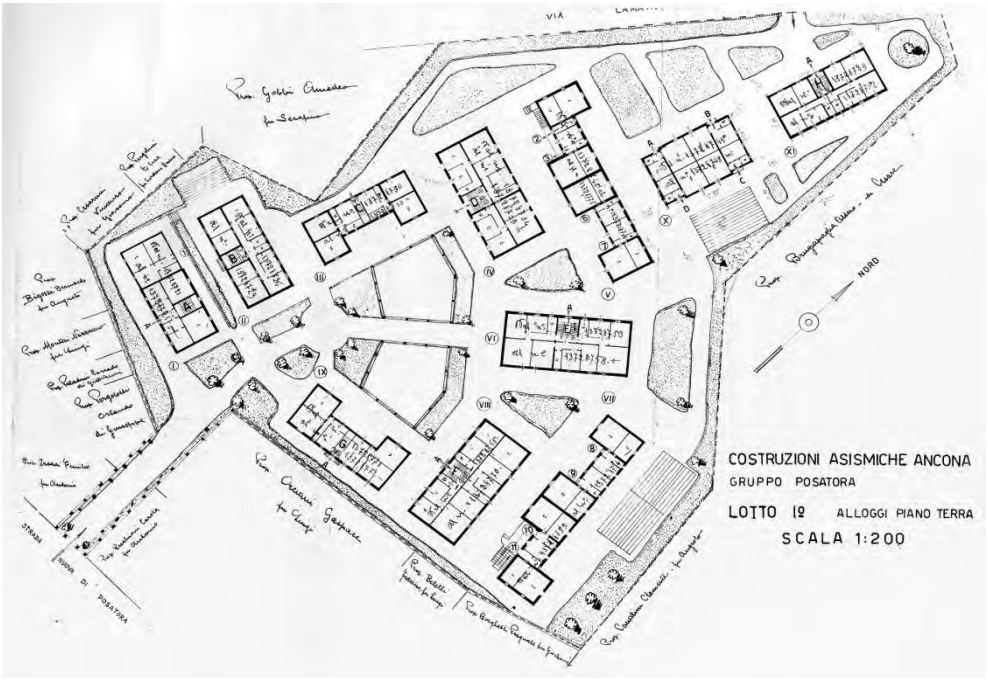


Fig. 2 – I.C.P. Roma: costruzioni antisismiche in Ancona - nucleo Posatora, 1930 (Archivio Storico I.C.P., Roma).

ricopre il ruolo di direttore generale dell'I.C.P. a Roma, dall'ingegnere Massimo Piacentini (1898-1974), anch'egli funzionario dell'I.C.P., e dall'architetto Alberto Calza Bini (1881-1957), all'epoca segretario del Sindacato Nazionale Fascista Architetti.

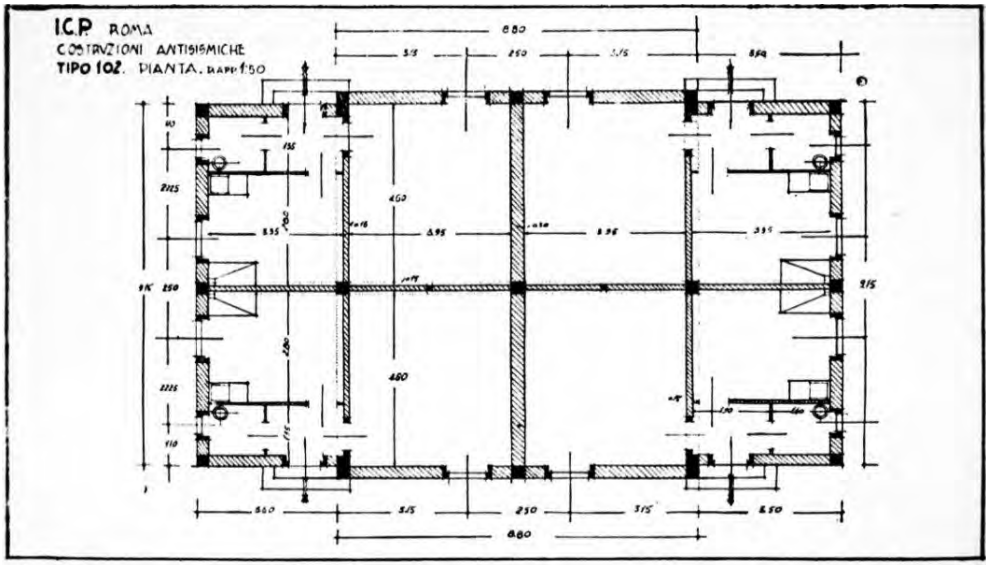


Fig. 3 – I.C.P. Roma: costruzioni antisismiche in Ancona - pianta tipo di un gruppo di edifici abitativi aggregati, 1930 (Archivio Storico I.C.P., Roma).

I tre progettisti utilizzano impianti planimetrici e dettagli tecnici e compositivi già ampiamente sperimentati negli anni precedenti a partire da colui che può essere considerato sotto molti punti di vista il loro maestro, ossia l'ingegnere romano Gustavo Giovannoni (1873-1947)[1]. Le soluzioni proposte da Giovannoni vengono dichiaratamente utilizzate ad Ancona a partire dall'impianto planimetrico dei nuclei abitativi che, oltre a legarsi ad alcune delle grandi aree verdi della città[2], comprendono a loro volta all'interno giardini e piccoli orti (Bellucci, 2019). Se da un lato l'impianto planimetrico asseconda in modo organico le condizioni orografiche, anche con percorsi talvolta sinuosi che evidenziano l'organicità degli interventi in diretto rapporto con la natura, dall'altro i singoli edifici rispondono a precise regole di simmetria a regolarità in pianta nella migliore tradizione dell'arte del costruire, in Figura 3.

Così i 113 alloggi, per un totale di 323 vani, sono sostenuti da una struttura a telaio in calcestruzzo armato che tiene conto delle stringenti normative entrate in vigore nell'estate del 1930[3]. L'altezza dei fabbricati, limitata a un massimo di due piani fuori terra, vuole minimizzare l'impatto delle onde sismiche anche in ragione dell'altezza d'interpiano, che viene abbassata dai tradizionali 4,5 metri a 3,2 metri, e tutte le aperture sono cerchiate da telai secondari in calcestruzzo (Costantini, 1932). Pur trattandosi di edifici popolari costruiti con grande attenzione ai costi, a quasi un secolo dalla loro realizzazione sono stati oggetto solo di piccoli interventi di manutenzione ordinaria e a tutt'oggi gli edifici abitativi continuano a svolgere pienamente

Fig. 4 – I.C.P. Roma: costruzioni antisismiche in Ancona - Piazza d'Armi (Foto dell'autore).

la funzione per i quali erano stati costruiti, come mostrato in Figura 4. Questo testimonia la bontà delle scelte fatte all'epoca e la corretta esecuzione delle opere.

Con la fine dei bombardamenti alleati che l'hanno colpita ripetutamente tra il 15 settembre 1943 e il 18 luglio 1944, Ancona esce dal periodo più oscuro del Novecento. La sfida per la ricostruzione della città dove circa il 70% del patrimonio abitativo è andato distrutto è enorme, ma in pochi anni si avviano interventi di notevole spessore che hanno una decisa battuta d'arresto nel 1972.

Il sisma del 1972

Dalla prima forte scossa del 25 gennaio fino a quella in assoluto più severa del 14 giugno, 5.9 della scala Richter, e poi ancora oltre, fino ai movimenti tellurici autunnali, uno sciame sismico praticamente ininterrotto e per questo ritenuto all'epoca del tutto inconsueto segna per l'intero anno solare l'animo dei cittadini fino a paventare da più parti l'intenzione di abbandonare la città al suo destino (Frezzotti, 1997). A partire dal 1973 e nei mesi a seguire i rapporti che fanno seguito ai rilievi statici effettuati dai tecnici documentano criticità in parte già note sulla condizione degli alloggi: delle circa 35.000 abitazioni del capoluogo, quasi 8.000 sono inabitabili e di queste la metà è giudicata irrecuperabile. Inoltre, la maggior parte degli edifici lesionati è collocata in centro storico, il cui spopolamento era già in atto e con poche possibilità di invertire una tendenza che in quegli stessi anni caratterizza in modo allarmante gran parte delle città italiane. In Figura 5 è riportata una immagine d'epoca.

Per questo motivo il sisma anconetano è stato l'occasione per gli amministratori locali per porre in atto una serie di interventi politici prima che tecnici al fine di attuare in tempi comunque stretti una riqualificazione dei due principali quartieri del centro storico, che delimitano l'intero arco portuale di Ancona. Per primo, il già ricordato quartiere Capodimonte, che è stato oggetto in parte dell'intervento di risanamento già descritto a seguito del sisma del 1930 e in cui si riscontrano ancora una

volta i danni maggiori, tanto che viene quasi completamente sgomberato. Il secondo ambito nel quale si concentrano gli sforzi dell'amministrazione e dei tecnici è quello del quartiere Guasco-San Pietro. Il passo decisivo compiuto dai politici locali è stato quello di ottenere dal governo centrale l'approvazione di una "legge speciale" per la gestione autonoma della crisi. La possibilità di poter contare su questo strumento legislativo calibrato ad hoc per Ancona si deve all'allora sindaco Alfredo Trifogli coadiuvato dai rappresentanti dell'ufficio legale del comune Antonio Bellucci e Giovanni Battista Cinelli. Il Decreto Legge[4] garantisce per la ricostruzione della città di Ancona la gestione diretta da parte dell'Amministrazione di gran parte dei fondi elargiti dal governo centrale negli anni a seguire, la possibilità di validare autonomamente gli strumenti urbanistici e infine ampia libertà di intervento nel centro storico sulla base della legge 167 del 1962, che obbliga i comuni con più di 50.000 abitanti a dotarsi di un Piano di Edilizia Economica e Popolare con i relativi servizi di quartiere. Negli stessi anni peraltro è in corso l'adozione del nuovo piano regolatore generale a firma dell'architetto Giuseppe Campos Venuti (1926-2019) che prevede interventi diretti da attuare nei suddetti quartieri previa approvazione di piani particolareggiati[5].

Fig. 5 – Ancona: edifici lesionati a via Cialdini, 1972 circa (Archivio Storia Urbana, Ancona).

Lo studio preliminare che viene condotto a partire dai primi mesi del 1973 è di grande spessore e per volere dell'allora assessore ai Lavori Pubblici Giancarlo Mascino (1932-1994) vengono coinvolti tecnici e cattedratici di due distinte università. Da un lato lo IUAV di Venezia con un gruppo guidato da Egle Renata Trincanato (1910-1998), che avvia una sistematica opera di rilievo tipologico/architettonico volto a indagare e restituire attraverso planimetrie e dettagliate schede progetto lo stato del costruito presente nei due quartieri[6]. Parallelamente, i tecnici e i docenti afferenti alla Facoltà di Ingegneria di Ancona, coordinati dall'ingegnere Giuseppe Tardella (1929-2003), si occupano del rilievo strutturale e materico degli edifici e delle indagini geologiche. La più giovane delle università marchigiane inaugura nel

1969 tre corsi di laurea in ingegneria tra cui quello in "civile-edile", che vedrà in breve tempo convergere ad Ancona figure prestigiose coinvolte a vario titolo dal sisma del 1972 (Mariano e Rosa, 1990). Doverosa la citazione per Paolo Colosimo e Uberto Crescenti, afferenti al Dipartimento di Scienze dei materiali e della terra, che svolgono in particolare studi dettagliati sul comportamento dell'insieme terreno-struttura delle aree maggiormente colpite, e per Mario Aquilino, Antonio Gallo Curcio e Francesco Piccarreta, afferenti all'Istituto di Scienza e tecnica delle costruzioni, che coordinano la ricerca sulla consistenza degli edifici e sui criteri metodologici d'intervento strutturale[7]. Oltre ai nomi citati, negli stessi anni i corsi di strutture dell'università di Ancona possono contare peraltro sulla presenza di figure eminenti come Sergio Musmeci (1926-1981) e Francesco Martinez y Cabrera (1929-2000), che, pur non partecipando direttamente alla costruzione della nuova Ancona, hanno lasciato un importante seguito con i loro insegnamenti nei giovani allievi.

Le azioni dei due gruppi, forti dell'appoggio dell'Amministrazione, convergono nella stesura di alcuni punti programmatici vincolati allo scopo di garantire il mantenimento della forma urbana e il risanamento, quando possibile, delle vecchie strutture piuttosto che la costruzione di edifici ex-novo. Contemporaneamente si gettano le basi per la soluzione di alcune atipicità e parti di evidente discontinuità, a cominciare dalle lacune non ancora sanate venutesi a creare a seguito dei bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, evidenti in Figura 6. La planimetria generale predisposta dal gruppo coordinato da Egle Trincanato individua decine di comparti che, oltre alla ricollocazione delle funzioni residenziali, saranno destinati all'inserimento di una serie di funzioni di quartiere e di vicinato, tra cui gli spazi commerciali e alcuni luoghi di socializzazione sia al chiuso che all'aperto che portano in breve tempo alla realizzazione di verde pubblico, piazze e campi da gioco (Agostinelli e Balbo, 1974).

L'elaborazione dei progetti esecutivi viene affidata a molti progettisti e in particolare all'Ufficio Centro Storico[8], formato da un gruppo di giovani laureati assunti dall'amministrazione dagli anni settanta a cominciare dall'architetto Sergio Agostinelli, a cui si aggiungono tra gli altri Alberto Del Buono, Antonio Ferretti, Anna Giovannini, Patrizia Piattelletti, Paolo Sandro Mazzoni, Gilberto Martinelli e Giancarlo Petras che lavorano nei decenni a seguire a uno dei più importanti interventi volto al recupero del patrimonio edilizio storico italiano. In Figura 7 è riportato a titolo di esempio il progetto per il risanamento dell'area "Matteotti".

Si mette così a punto, a partire dai primi anni ottanta, un repertorio di interventi che variano dalla mimesi quasi totale fino all'evidente contrasto stilistico e tecnologico, fermo restando il rispetto e l'attenzione per la storia (Scatasta, 1987). Dal 1974 inoltre, a seguito dello scioglimento della GESCAL, GEStione CAse per i Lavoratori, stabilito della legge n. 60 del 14 febbraio 1963, l'Ufficio Centro Storico si fa carico anche dei compiti assolti fino a quel momento dall'ente pubblico. La scelta del recupero si concretizza con una serie di interventi integrati portati a termine soprattutto

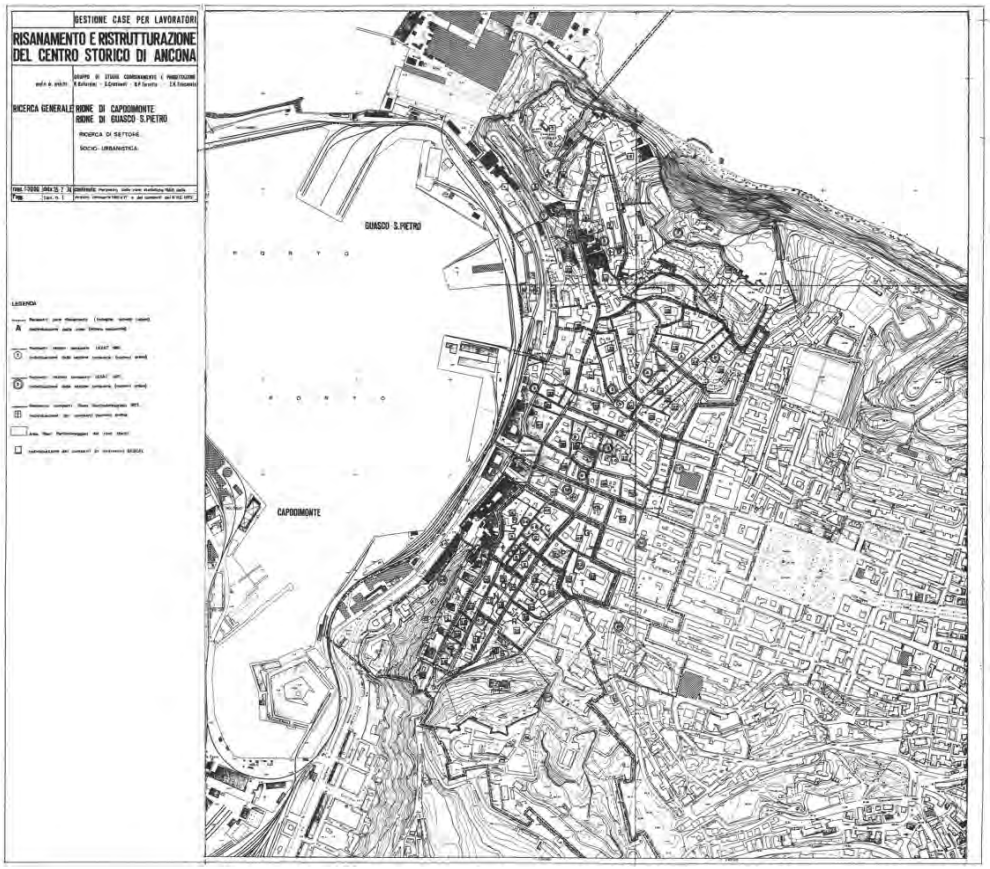


Fig. 6 – Romeo Ballardini, Giuseppe Cristinelli, Benito Paolo Torsello, Egle Renata Trincanato: risanamento e ristrutturazione del centro storico, Ancona 1974 (Archivio Storia Urbana, Ancona).

nel quartiere Capodimonte, dove l'Ufficio Centro Storico lavora a differenti tipologie di incarichi che spaziano dal restauro degli edifici storici, come Palazzo Benincasa e Palazzo Malaccari, fino al recupero a funzione abitativa di edifici di minor interesse storico-compositiva, di cui un esempio è mostrato in Figura 8. Si segnalano la cura con la quale vengono risolti i dettagli minimi e l'uso dei materiali e delle tecniche costruttive messe in atto da imprese ed artigiani capaci di perpetuare conoscenze plurisecolari. Il processo di recupero urbano si completa con i progetti puntuali improntati a una evidente modernità del linguaggio portati a termine prevalentemente da professionisti che giungono da Roma, come il gruppo formato da Pier Paolo Balbo, Tommaso Bevivino ed Augusto Trinci oppure quello composto da Franco Zagari, Arnaldo Bruschi e Sergio Lenci con i quali collabora l'ingegnere Sergio Musmeci.

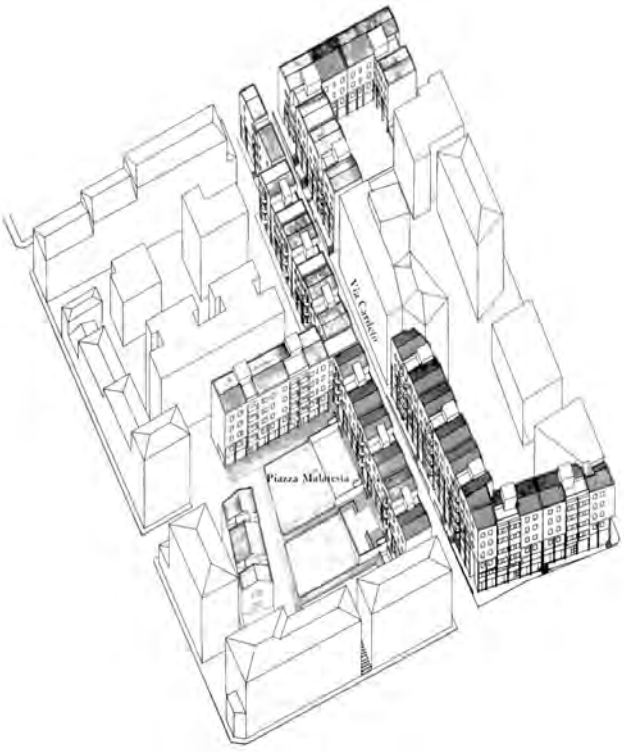


Fig. 7 – Ufficio Centro Storico (Sergio Agostinelli con Franco Cecchi): progetto per il risanamento dell'area "Matteotti", Ancona 1978-1983 (Archivio Storia Urbana, Ancona).

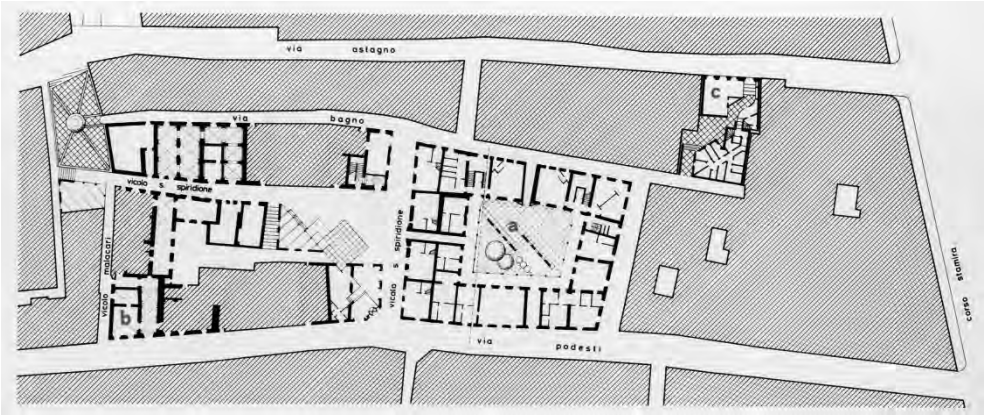


Fig. 8 – Ufficio Centro Storico (Anna Giovannini, Daniele Martelli e Gilberto Martinelli): progetto per il risanamento delle pendici di Capodimonte, Ancona 1984-1991 (Archivio Storia Urbana, Ancona).

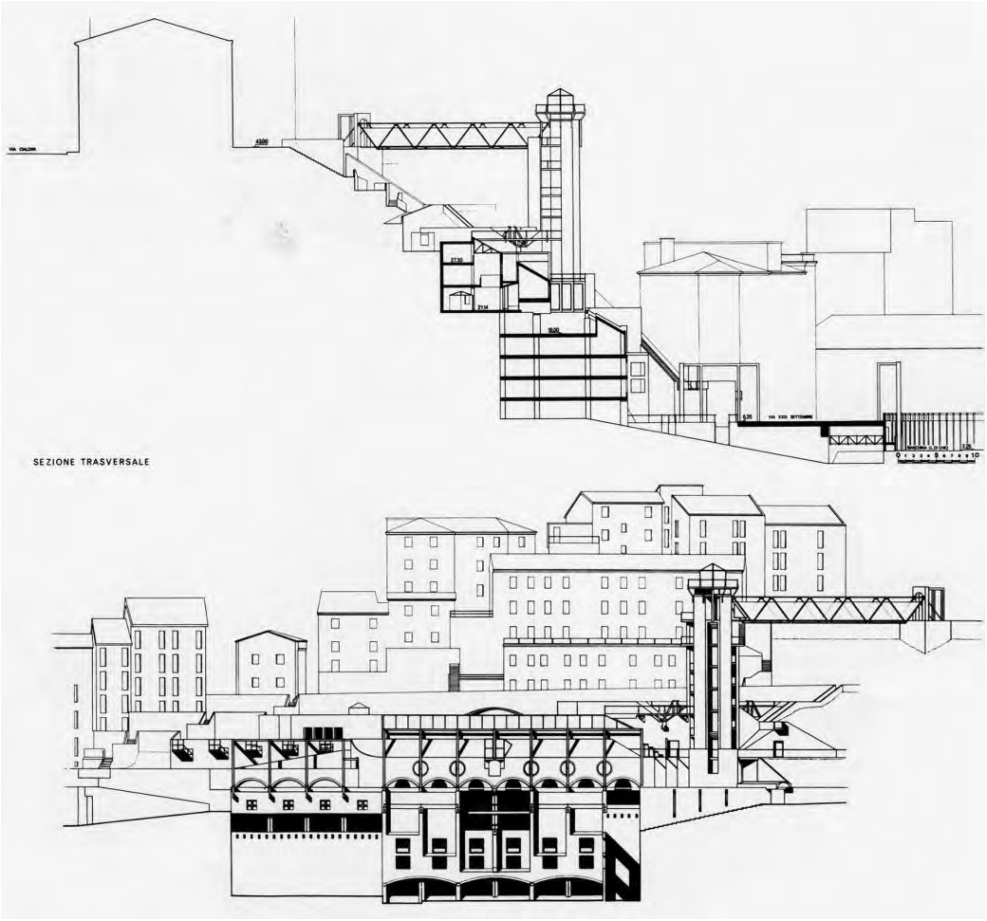


Fig. 9 – Ufficio Centro Storico (Anna Giovannini, Daniele Martelli e Gilberto Martinelli): progetto per il risanamento delle pendici di Capodimonte, Ancona 1984-1991 (Archivio Storia Urbana, Ancona).

Le scelte messe in atto nella costruzione dei nuovi volumi dei parcheggi Traiano e Torrioni fanno emergere componenti strutturali in metallo colorato a vista che si ritrovano anche negli arredi urbani. Le evidenze geometriche e la verticalità dei segni architettonici caratterizzano il fronte del parcheggio Traiano, in Figura 9: una struttura multipiano non completamente portata a termine rispetto alla reale complessità del progetto elaborato dall'Ufficio Centro Storico, che oltre alle aree di sosta per le auto ospita una serie di spazi polifunzionali aperti alla collettività e percorsi che consentono di scoprire progressivamente una parte della città che è rimasta negata per molti anni.

Frammenti urbani che spesso nascondono dettagli curati dai docenti afferenti all'Università di Ancona, oggi Università Politecnica delle Marche. Molto importante in tal senso è il contributo dell'ingegnere Vittorio Mosco (1934-2017), che tra il 1972 e il 1979 è titolare del corso di Costruzioni in acciaio presso la Facoltà di Ingegneria e che oltre alla direzione tecnica del grandioso cantiere dello stesso campus universitario di Monte d'Ago, progettato dall'architetto Pietro Belluschi (1899-1994), lavora al recupero strutturale dei comparti 22, 23 e 24 di via Torrioni (Mosco, 1980). Il puntuale rilievo delle preesistenze e dello stato di conservazione dei materiali ha messo in evidenza la grande eterogeneità di tecniche e materiali utilizzate per i diversi immobili presenti in quei comparti, per la cui sicurezza statica si decide, in accordo con i progettisti della parte architettonica Carlo Mezzetti e Giuseppe Tardella, di utilizzare una struttura in acciaio sia per il sostegno delle coperture e dei solai che per la realizzazione dei controventi.

Conclusioni

Gli interventi descritti illustrano metodologie e approcci differenti che testimoniano le grandi capacità creative, critiche e tecniche dei progettisti italiani. L'efficace combinazione di conoscenze tecnico-ingegneristiche e storico-compositive hanno permesso a una eterogenea compagine di progettisti di operare in perfetta contiguità, nel rispetto delle reciproche competenze e con la ferma volontà di portare a termine progetti di recupero urbano di rilevanti dimensioni. Il profondo cambio di approccio tra i due casi proposti (demolizione e ricostruzione nel 1930 e restauro urbano previo rilievo e studio storico negli anni settanta) evidenzia infine l'evoluzione avvenuta in Italia nei confronti degli interventi post calamità rispetto ai quali il caso di Ancona ha avuto un ruolo molto importante anche se ancora poco approfondito a partire dalla legge speciale del 1973 che fu' un modello di riferimento a livello nazionale. Da sottolineare infine l'efficacia delle norme antisismiche adottate in Italia da oltre un secolo, che hanno consentito di realizzare tra gli altri i tre distinti gruppi di edifici popolari di Ancona che negli anni a seguire hanno fatto fronte a terremoti in più occasioni senza riportare danni considerevoli. Un'ulteriore preziosa testimonianza del valore che ha avuto l'ingegneria italiana nel corso del Novecento che oltre al contributo dei nomi tutelari internazionalmente noti e di grandi opere altrettanto celebri può annoverare anche nelle realtà di provincia interventi di grande interesse che per gran parte devono essere ancora raccontati e valorizzati.

Bibliografia

Agostinelli S., Balbo P.P. (a cura di). 1974. *Comune di Ancona. Ristrutturazione del centro storico*. Ancona: Litografia Carletti & C.

Alici A., Tosti Croce M. (a cura di). 2011. *L'architettura negli archivi. Guida agli archivi di architettura nelle Marche*. 86-87, 96-97. Roma: Gangemi.

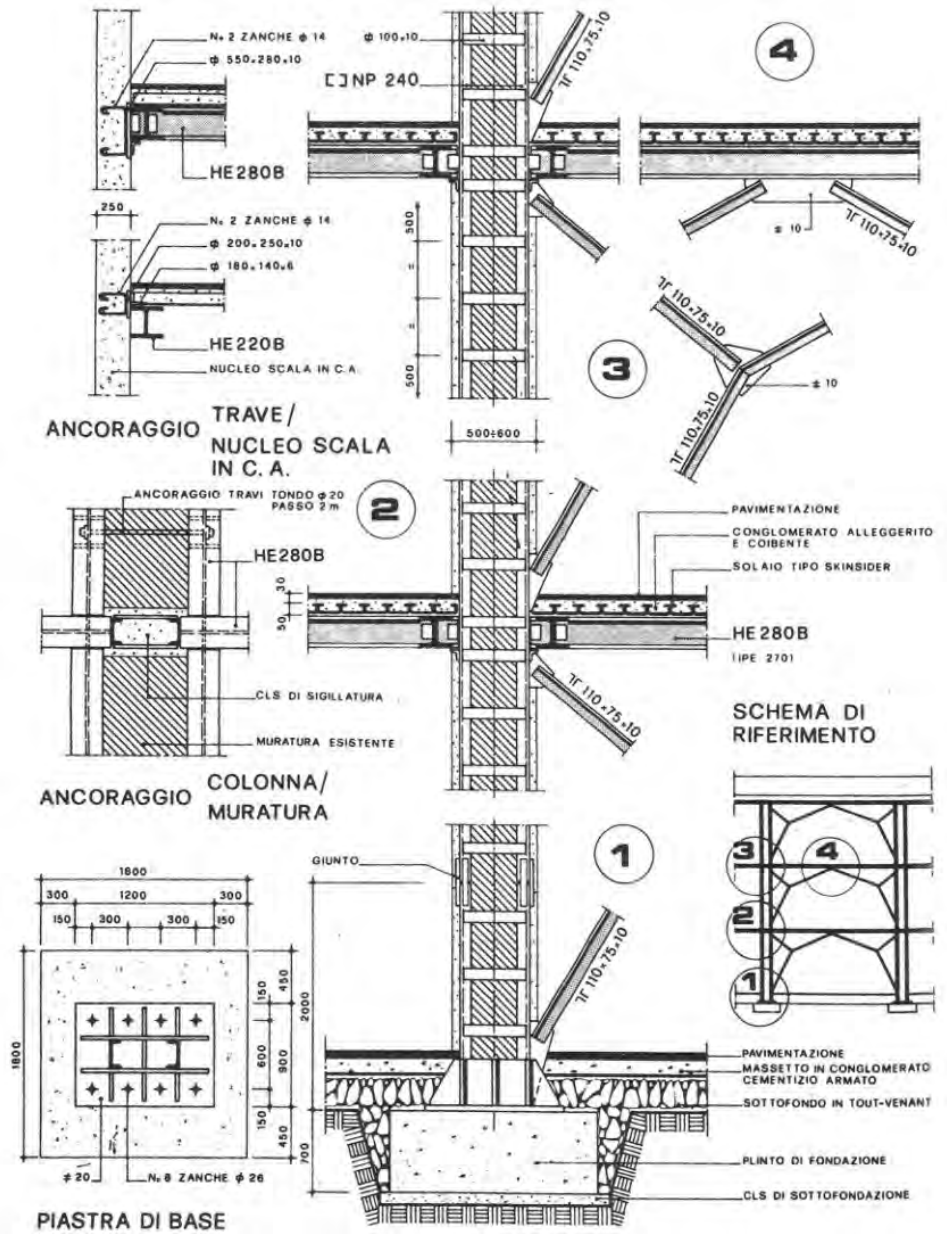


Fig. 10 – Vittorio Mosco: dettagli costruttivi dell'intervento di recupero con elementi controvento in acciaio, Ancona 1978 (Mosco, 1980: 388).

Bellucci G. 2019. Gustavo Giovannoni e gli architetti marchigiani. In: *Gustavo Giovannoni e l'architetto integrale* (a cura di G. Bonaccorso e F. Moschini), Atti del convegno internazionale, 369-374. Roma: Accademia Nazionale di San Luca.

Boschi E. 1997. *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. 516-519. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica.

Costantini I. 1932. Le costruzioni antisismiche nelle Marche dell'Istituto Case Popolari di Roma. L'Industria Italiana del Cemento, IV(7), 181-189.

Frezzotti F. 1997. *Ancona '72: il terremoto. Cronologia di una lunga crisi sismica e dei suoi effetti sulla politica cittadina*. Ancona: A.C. Remel.

Guidoboni E., Valensise G. 2011. *Il peso economico e sociale dei disastri sismici in Italia negli ultimi 150 anni*. 248-252. Bologna: University Press.

Mariano F., Rosa G. (a cura di). 2011. *L'Università di Ancona 1969-1989*. Ancona: Tecnostampa.

Mosco V. 1980. L'impiego delle strutture in acciaio nel risanamento e ristrutturazione del centro storico di Ancona. Acciaio, 9, 381-389.

Pavia R., Sori E. 1990. *Le città nella storia*. Ancona. Roma-Bari: Laterza.

Scatasta R. 1987. Recupero urbano e progetto delle città esistenti. Edilizia popolare, 219, 34-57.

Severini M.L. (a cura di). 1988. 1937-1987. *Dalla casa popolare all'edificio di edilizia residenziale pubblica*. Ancona: La Poligrafica A. & M. Bellomo.

Note

1. Titolare della cattedra di Architettura tecnica alla Scuola di Applicazioni per gli ingegneri di Roma dove si erano laureati sia Costantini che Piacentini, Giovannoni, in risposta ad eventi sismici che avevano colpito altre località italiane a partire da quello della Marsica del 1915, studia alcuni modelli di cosiddette "abitazioni antisismiche". Allo stesso tempo Giovannoni nei primi anni venti si rende protagonista a Roma con la costruzione di alcuni importanti esperimenti urbani assimilabili alle "città-giardino" di tradizione anglosassone. Vanno interpretati in questo senso i progetti dei celebri quartieri Garbatella e Montesacro, ai quali Costantini peraltro collabora attivamente.
2. Uno degli elementi peculiari delle città-giardino inglesi era proprio quello di essere legate a grandi parchi in aree dove lo sviluppo urbano era assente o molto limitato, in modo da garantire uno stile di vita sano a maggior contatto con la natura. Non a caso ad Ancona si scelgono ambiti marginali della città in diretto rapporto con il Parco della Cittadella e quello di Forte Scrima.
3. Si ricorda in particolare che la Gazzetta Ufficiale del 7 giugno 1930 ufficializza l'entrata in vigore del R.D.L. n. 682 del 3 aprile 1930 dal titolo "Nuove nome tecniche ed igieniche di edilizia per le località asismiche", che in particolare aggiorna il dimensionamento delle armature per le strutture cementizie per gli edifici di civile abitazione.
4. Partecipano alla stesura del testo di legge, il D.L. n. 25 del 4 marzo 1973, anche gli avvocati Rodolfo Baldelli, Cleto Boldrini, Nicasio Luigi Kogoj e Rino Pirani. La legge amplia le potenzialità del D.L. n. 522 del 6 ottobre 1972 e in particolare l'art. 14, che prevede tra l'altro la Commissione Tecnica Speciale composta per gran parte da politici e tecnici locali.
5. Alla redazione del piano approvato nel 1976 partecipano, al fianco di Campos Venuti, gli urbanisti Romeo Ballardini, Giovanni Zani e, limitatamente alle prime fasi, anche Silvano Tintori.

6. Lavorano tra il 1972 e il 1988 a fianco dell'architetto Trincanato gli architetti Romeo Ballardini, Giuseppe Cristinelli e Benito Paolo Torsello.
7. Gli ingegneri Aquilino, Gallo Curcio e Piccarreta saranno operativi nella Facoltà di Ingegneria di Ancona fino al 1978 per poi essere stabilmente inquadrati alla Facoltà di Architettura di Roma, dove porteranno avanti ricerche e pubblicazioni fondamentali per le questioni inerenti il recupero strutturale di monumenti ed edifici storici.
8. L'Ufficio Centro Storico viene istituito con l'obbiettivo di curare il progetto di recupero di aree peculiari della città operando in piena autonomia dalla fase di indagine fino alla conclusione degli interventi.

Filippo Busato, Marco Noro

Storia delle pompe di calore: principi, tecnologie, applicazioni

History of heat pumps: principles, technologies, applications

Sommario
Negli ultimi venti anni il mercato delle pompe di calore ha avuto un continuo, anche se altalenante, trend di crescita, legato agli incentivi economici ed alla legislazione. Fino ad allora, si trattava di una tecnologia ai più sconosciuta. Il motivo risiedeva sostanzialmente nel maggior costo di investimento e nella maggior complessità realizzativa rispetto al tradizionale generatore di calore a combustione, e non certo nell'efficienza di conversione dell'energia impiegata. Tale valore supera quello del primo principio della termodinamica (limite invalicabile per una caldaia). Dai primi sviluppi, a partire dalla macchina frigorifera, della pompa di calore a compressione meccanica e di quella termoelettrica della prima metà dell'800, fino al più recente sviluppo delle pompe di calore ad assorbimento, la storia è sorprendente. Inizialmente la ricerca è stata indirizzata ai fluidi impiegati per il miglioramento dell'efficienza, e più recentemente alla riduzione dell'impatto ambientale. E proprio le caratteristiche vantaggiose in termini di efficienza energetica e basso impatto ambientale stanno spingendo negli ultimi anni il legislatore, e quindi l'utente finale, ad una scelta consapevole verso questa tecnologia. Vengono ripercorsi la tecnologia e le applicazioni che nella storia si sono succedute fino al recente ed in divenire successo della pompa di calore.

Abstract
In the last twenty years, the heat pump market has had a continuous, albeit fluctuating, growth trend, linked to economic incentives and favorable legislation. Until then, heat pump was a technology unknown to most people. The reason was substantially due to the higher investment cost, and to the greater manufacturing complexity compared to the traditional combustion heat generator. It was certainly not due to the energy conversion efficiency, as this value exceeds that of the first Law of thermodynamics (that can't be exceeded by a boiler), and it tends to that of the second From the early stages, based on refrigeration units, of the mechanical compression heat pump and

the thermoelectric heat pump in the first half of the 19th century, till the most recent development of absorption heat pumps, the history is fascinating. At the beginning, research aimed to new and more efficient fluids, while later the target become the reduction of the environmental impact. As a matter of fact, the advantageous features in terms of energy efficiency and low environmental impact in the recent years have been pushing the legislator, and therefore the end user, to make a conscious choice towards this technology. The paper runs through the history of technology and applications until the recent and in becoming successful of the heat pump.

Introduzione: qualche considerazione di termodinamica

Come è noto, la pompa di calore è una macchina termodinamica a ciclo inverso che, durante il funzionamento, produce entrambi gli effetti utili, quello frigorifero Q_F a temperatura T_F all'evaporatore e quello termico Q_C a temperatura T_C al condensatore, come mostrato in Figura 1. In effetti, la nascita e lo sviluppo delle pompe di calore sono fortemente connessi con l'esigenza pratica di produrre ghiaccio, come si vedrà nel paragrafo successivo.

Ci si potrebbe chiedere da dove sia nata l'esigenza di costruire delle macchine di tipo termodinamico per produrre energia termica a temperatura superiore a quella ambientale, quando allo stesso fine esisteva già da tempi remoti una tecnologia semplice, affidabile e relativamente poco costosa: la combustione. La risposta sta nella ricerca di una maggiore efficienza nell'utilizzo delle fonti energetiche, che ha da sempre indirizzato la ricerca scientifica e tecnologica in quest'ambito, con vantaggi nell'economia di esercizio ma anche dal punto di vista delle emissioni inquinanti. Se l'energia termica viene prodotta dalla pompa di calore utilizzando energia elettrica da fonte di origine non fossile, ad esempio idroelettrica, fotovoltaica o eolica, i vantaggi sono evidenti. In realtà, il limite della tecnologia legata alla combustione diretta è proprio il rendimento energetico unitario, rispetto al potere calorifico superiore del combustibile utilizzato. Tale limite è dato dal principio teorico di funzionamento del generatore: la combustione diretta del combustibile e la sua trasformazione in energia termica, con la conseguente fortis-

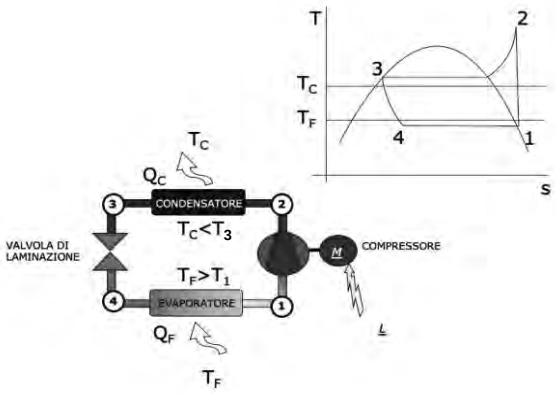


Fig. 1 – Schema della macchina frigorifera / pompa di calore e ciclo termodinamico inverso (Grassi, 2018).

sima degradazione della "qualità" dell'energia (contenuto exergetico, inteso come la massima quantità di lavoro meccanico che si può ottenere quando questa viene scambiata con l'ambiente naturale a fissata temperatura e pressione). Di fatto, si può dimostrare che, con le tecnologie attuali, la pompa di calore è oltre tre volte (in senso exergetico), ovvero quasi due volte (in termini di consumo di energia primaria non rinnovabile a parità di energia termica utile prodotta) più efficiente della caldaia.

Refrigerazione prima delle macchine a compressione di vapore

La nascita e lo sviluppo delle pompe di calore, in quanto macchine termodinamiche basate su un ciclo inverso, sono fortemente connessi con la storia della refrigerazione artificiale. Lo sviluppo di entrambi è stato stimolato a partire dalla prima metà del 1800 dalla crescita di un mercato per il ghiaccio come oggetto di lusso utilizzato dalle classi agiate, ma anche dalle esigenze del settore dei trasporti marittimi per conservare la carne e i prodotti alimentari durante i lunghi viaggi oceanici.

Durante la prima metà del 1800, con lo sviluppo del commercio mondiale, alcune terre del nord si resero conto di avere un'enorme risorsa nel loro ghiaccio invernale, che poteva essere trasportato nelle stive delle navi isolate con segatura o paglia, con perdite fino a 1/3. Nel 1879, l'industria del ghiaccio americano era stimata in 8 milioni di tonnellate raccolte all'anno, con 5 milioni di tonnellate che riuscivano a raggiungere il consumatore (Weightman, 2003).

Al culmine del commercio (intorno al 1900), l'importazione annuale del Regno Unito dalla Norvegia era di circa 500.000 tonnellate (Weightman, 2003).

Refrigerazione artificiale: i primi studi teorici e sperimentali

Anche prima che fosse inventata la macchina frigorifera venivano impiegate altre tecniche per produrre un effetto frigorifero artificiale. Ad esempio, era noto da tempo che un liquido volatile, come etere o alcool, produceva un effetto di raffreddamento quando evaporava. Già nei secoli passati in Medio Oriente e India era nota la tecnica del raffreddamento evaporativo, ad esempio per produrre granite di ghiaccio da stagni poco profondi, oppure tramite l'utilizzo di vasi o contenitori in terracotta, che è un materiale poroso, durante le notti a bassa umidità (Weightman, 2003).

Dal 1748, quando lo scozzese William Cullen dimostrò l'effetto frigorifero all'Università di Glasgow, fino al 1902, quando Richard Mollier creò le prime rappresentazioni grafiche delle proprietà termodinamiche dei fluidi frigorigeni, vi è stato un approfondito e ampio sviluppo della scienza termodinamica, passando per Carnot, Mayer, Joule, Clausius, Kelvin, Boltzmann e Gibbs. Tra i padri fondatori della refrigerazione e quindi della macchina a ciclo inverso a compressione meccanica, non si può non citare Carl von Linde, il quale in un lavoro del 1871 stabilì, sulla base di un confronto termodinamico, che i sistemi a compressione meccanica risultavano più efficienti dei sistemi basati sull'assorbimento.

Lo sviluppo della pompa di calore: la fase pioneristica (prima del 1875)
Già nel 1852 Lord Kelvin ebbe un'intuizione riguardo alla pompa di calore, affermando che il "motore termico inverso" poteva essere utilizzato non solo per il raffreddamento ma anche per il riscaldamento, ed evidenziando che un tale dispositivo di riscaldamento avrebbe necessitato di meno energia primaria a causa dell'estrazione di energia termica dall'ambiente (Thomson, 1852; Ostertag, 1946).

Tuttavia, prima di arrivare ad avere sul mercato le prime macchine dedicate al riscaldamento degli ambienti ci vollero ancora molti decenni. Nel periodo precedente al 1875, l'interesse verso le macchine a ciclo inverso era dato, oltre che dalla necessità di produrre ghiaccio in modo artificiale, anche dall'utilizzo nei processi industriali di distillazione, concentrazione o di essiccazione (nella versione "macchina a compressione a ciclo aperto") (Zogg, 2008).

Un primo passo "preparatorio" allo sviluppo successivo della pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti fu l'introduzione dell'acqua in fase liquida al posto del vapore negli impianti di riscaldamento centralizzati degli edifici.

Jacob Perkins, un inventore americano che viveva in Inghilterra, costruì nel 1834 la prima macchina a compressione meccanica di vapore per la produzione di ghiaccio. Utilizzava, con una carica di etere dimetilico come refrigerante, i quattro componenti principali usati ancora oggi nelle moderne macchine: un compressore, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore. Successivamente, altri inventori, ingegneri e scienziati si dedicarono alla costruzione di macchine a compressione meccanica per la produzione di freddo. La prima macchina costruita dal tedesco Linde nel 1875 utilizzava l'etere metilico come refrigerante, installata due anni dopo in un birrificio in Italia (Linde, 2004). Nel 1866 fu introdotta l'anidride carbonica come refrigerante dall'americano Thaddeus S.C. Lowe, che inventò un compressore a CO_2. Il sistema ottenne un buon successo soprattutto sulle navi dopo il 1890, dove sostituì le macchine ad aria. In America, un impianto di produzione di ghiaccio a compressione di vapore di ammoniaca fu costruito da John Beath nel 1868.

Riguardo alle macchine ad assorbimento, nel 1851 il francese Ferdinand Carré progettò il primo assorbitore ad ammoniaca di un certo successo commerciale, capace di produrre da 0,5 a 2 kg di ghiaccio a ogni operazione. Tuttavia, il costo, le dimensioni e la complessità del sistema, insieme alla tossicità dell'ammoniaca, impedirono la diffusione dell'assorbitore per un uso domestico. Le versioni successive, più evolute perché comprendevano anche il generatore di calore a combustione e il rettificatore a valle, furono brevettate nel 1859 e 1860 in Francia.

Lo sviluppo della pompa di calore: la fase di industrializzazione (1875-1920)
In questo periodo le macchine frigorifere di tipo prototipale realizzate nella fase pioneristica furono sostituite da sistemi più affidabili sulla base di un rapido progresso delle conoscenze scientifiche e della capacità produttiva industriale.

La pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti rimase tuttavia una sorta di "visione" di alcuni ingegneri, visionari appunto, del tempo. Ad esempio, l'ingegnere esperto di turbine Heinrich Zoelly della *Escher Wyss* fu il primo a proporre una pompa di calore ad azionamento elettrico che utilizzasse il terreno come sorgente termica per la produzione di calore a bassa temperatura (Wirth, 1955).

Una delle ragioni principali del predominio dei sistemi ad assorbimento fino al 1890 circa fu l'uso diretto del vapore come energia termica in ingresso, dato che a quel tempo l'energia elettrica veniva prodotta da impianti a vapore con rendimenti molto bassi.

Per quanto riguarda i componenti, in questo periodo il compressore a pistoni trascinato da un motore a vapore, in Figura 2, era la soluzione largamente più ricorrente; il motore elettrico era ancora agli albori del proprio sviluppo se si pensa che negli USA nel 1914 si produceva il 90% della forza motrice tramite macchina a vapore. La velocità di rotazione media per un compressore da 350 kW, intorno al 1890, era di 40 giri/min, ma sarebbe aumentata fino a 220 giri/min nel 1916.

Altre tipologie di compressore videro la luce, almeno dal punto di vista concettuale, in questo periodo: il principio di funzionamento del compressore a vite fu brevettato da Heinrich Krigar in Germania nel 1878. Una delle prime macchine a palette fu l'aspiratore Lemielle, inventato in Francia all'inizio del 1880, mentre i primi turbocompressori furono prodotti all'inizio del 1900, originariamente sviluppati dai produttori di turbine a vapore, ma presentavano forti limiti. Sarebbero passati decenni prima che la tecnologia permettesse di realizzare turbocompressori ad alta efficienza. Fu l'americano Willis Carrier (1876-1950) che per primo lavorò sui turbocompressori radiali, dal 1911 applicati alle macchine frigorifere per gli impianti di climatizzazione. Il principio del compressore scroll fu brevettato nel 1905 dal francese Leon Creux ma non ebbe successo commerciale fino all'inizio degli anni 1980, quando sono diventate disponibili le stazioni di lavorazione meccaniche di alta precisione necessarie a produrre le spirali orbitanti in grandi numeri e con costi concorrenziali. Infine, l'idea del compressore ermetico, ovvero di racchiudere compressore e motore nello stesso involucro sigillato, nacque dall'osservazione di un consumo di una quota notevole

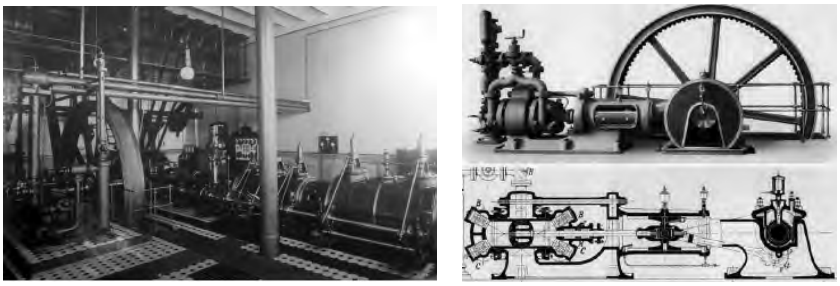


Fig. 2 – Compressore a pistoni trascinato da un motore a vapore attorno al 1905 (per cortesia della Sulzer).

di energia meccanica da parte del premistoppa (che necessita di assistenza periodica per prevenire il rischio di fughe del fluido refrigerante e di perdite di lubrificante.) soprattutto nelle piccole macchine. Fu il francese Marcel Audiffren a inventare questa soluzione tecnica nel 1905, ma il motore elettrico dell'epoca, a spazzole e collettore e con un isolamento elettrico ancora non troppo efficace, non si prestava alla concreta realizzazione dell'idea, che divenne una proposta commerciale solo dopo la prima guerra mondiale (Thevenot, 1979; Cashflo, 2007; Nagengast et al., 2006).

Alla fine di questo periodo l'ammoniaca era il refrigerante dominante, soprattutto grazie all'invenzione da parte di Linde di un compressore con cilindro orizzontale a doppio stadio, in Figura 2, che ebbe un enorme successo e fu brevettato e realizzato su licenza da numerose aziende nel mondo (Thevenot, 1979; Kläy, 1994; Nagengast et al., 2006; Friotherm, 2008).

Tuttavia, altre sostanze naturali furono utilizzate: l'anidride carbonica, molto utilizzata sulle navi britanniche per il trasporto delle merci deperibili ma anche in applicazioni industriali, e l'anidride solforosa, che ebbe un discreto successo grazie al compressore di Raoul Pictet (1876) soprattutto nelle piccole taglie, mentre nelle applicazioni di grossa taglia di tipo industriale venne poi gradualmente sostituita dall'ammoniaca; il cloruro di metile, o clorometano fu utilizzato principalmente in Francia per applicazioni di piccole e medie dimensioni, mentre altri fluidi furono usati in misura più limitata, ad esempio gli idrocarburi propano e isobutano (Thevenot, 1979; Fischer, 2004).

Lo sviluppo della pompa di calore: la fase di sviluppo competitivo (1920-1950)

È il periodo in cui la macchina frigorifera utilizzata come pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua calda sanitaria evolve dai primi rari prototipi verso una soluzione che diverrà sempre più efficiente, affidabile ed economicamente fattibile.

La messa a punto dei refrigeranti sintetici fu la svolta per le macchine a ciclo inverso, in quanto con essi si risolsero le principali problematiche legate all'infiammabilità e alla tossicità dei fluidi naturali. A partire dal 1930, sotto il nome commerciale Freon della multinazionale *DuPont*, i primi clorofluorocarburi, i CFC R11 e R12, fecero il loro ingresso sul mercato. Si tratta di molecole derivanti dal metano e dall'etano per sostituzione degli atomi di idrogeno con atomi di alogeni quali cloro e fluoro. Dal 1945 l'economicità di produzione di questi idrocarburi alogenati si estese anche fuori dagli Stati Uniti.

La svolta per il componente "compressore" si realizzò a partire dagli anni 1920 e fu il motore elettrico sincrono direttamente collegato al compressore, senza trasmissione a cinghia. Altre tipologie di compressore, oltre a quello volumetrico a pistoni, cominciarono ad essere sviluppate e prodotte con sempre maggiori efficienze ed affidabilità: nel 1920 Rolaff introdusse il compressore a rotore eccentrico mentre *Escher Wyss* nel 1936 realizzò il cosiddetto "Rotasco", in Figura 3, utilizzato poi per la realizzazione della prima pompa di calore europea nel municipio di Zurigo.

Sempre in quel periodo, la *General Electric* iniziò la produzione in serie di compressori ermetici per frigoriferi domestici, mentre la svizzera *Sulzer* iniziò la produzione in grandi volumi del compressore a due cilindri per ammoniaca e anidride carbonica.

Il compressore a palette scorrevoli, precedentemente utilizzato per l'aria, iniziò a essere utilizzato per i refrigeranti a partire dal 1920, per la prima volta in Germania, negli Stati Uniti e in Svizzera. *Brown Boveri*, che dal 1988 è l'*Asea Brown Boveri-ABB*, si concentrò sui turbocompressori e nel 1926 produsse una macchina per l'ammoniaca con compressori da 9,3 MW, seguita da una con compressori di potenza pari a 17,4 MW nel 1927. Lo sviluppo portò a velocità periferiche sempre maggiori, e dopo il 1960 la tendenza è stata un aumento dei compressori monostadio con velocità periferiche vicine al sonico.

Nel 1923, Willis Carrier costruì un prototipo di refrigeratore a turbocompressore radiale utilizzando tetracloruro di carbonio e dicloroetilene, successivamente sostituiti dai CFC R11 e R12. Nel 1934 lo svedese Alf Lysholm sviluppò un profilo praticabile delle viti, curando anche gli aspetti relativi alla fabbricazione e alla lavorazione accurata dei rotori. Ci sarebbero voluti altri quattro decenni per rendere competitiva la tecnologia del compressore a vite.

I piccoli compressori per uso domestico si svilupparono solo 50 - 60 anni dopo il comparto industriale, quando anche il controllo automatico cominciò a diventare sempre più preciso e affidabile.

Dal punto di vista della componentistica, è opportuno citare l'introduzione dello scambiatore a piastre, nel 1923, da parte di Richard Seligman dell'*Aluminium Plant & Vessel Company Limited-APV*. L'innovazione, grazie alle positive caratteristiche dello scambiatore in riferimento all'elevato rapporto tra la superficie di scambio termico e il volume occupato e agli ottimi coefficienti di scambio termico, portò una rivoluzionaria riduzione delle dimensioni e del contenuto di refrigerante nella macchina, anche se con un possibile aumento delle perdite di carico (Hesselgreaves, 2016). Nello stesso periodo fu inventata a Parigi, da E. Diffinger dell'*Etablissement P. Colombier Fils*,

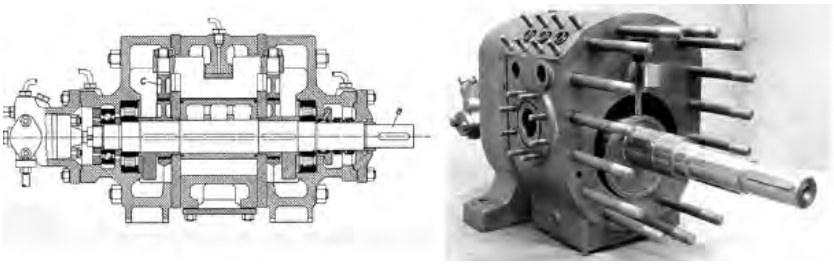


Fig. 3 – Sezione trasversale del compressore Rotasco della Escher Wyss (a sinistra); compressore Rotasco installato nella pompa di calore presso la City Hall di Zurigo nel 1938 (a destra) (Egli, 1940).

la prima valvola di espansione termostatica migliorata da successivi brevetti. Quattro anni dopo, T. Carpenter inventò il tubo capillare come organo di laminazione.

Per quanto concerne infine la macchina ad assorbimento, un forte impulso alla diffusione della tecnologia fu dato dalla svedese *Electrolux* che, nel 1925, acquistò i brevetti di Carl Munters e Baltazar von Platen per la costruzione di un frigorifero ad acqua e ammoniaca. Tra gli aspetti positivi la silenziosità, in quanto funzionava senza parti in movimento, l'utilizzo di gas, cherosene ed elettricità come fonte energetica, e il prezzo basso rispetto a quello degli altri sistemi esistenti.

Sulle piccole taglie, la competizione con le macchine a compressione di vapore cominciò ad essere più difficile con l'arrivo sul mercato di compressori ermetici sempre più economici, silenziosi ed efficienti, che usavano i nuovi refrigeranti sintetici. Iniziò a diffondersi l'interesse per l'uso del calore di scarto in ambito industriale nella refrigerazione ad assorbimento. Nacquero quindi le prime installazioni negli Stati Uniti, in Germania e in Francia; nel 1932, G. Maiuri introdusse in Gran Bretagna la macchina multistadio e nel 1937, Kathabar utilizzò la miscela cloruro di litio-acqua in un sistema ad assorbimento aperto. L'innovazione maggiore nelle macchine ad assorbimento di questo periodo fu lo sviluppo della coppia bromuro di litio-acqua come fluido operativo: Carrier realizzò nel 1945 la prima macchina da 430 kW alimentata a vapore, e nel 1960 aveva già consegnato 1500 macchine di grande taglia. Negli U.S.A. del 1965, il 30% delle macchine frigorifere era del tipo ad assorbimento (Thevenot, 1979; Burget et al., 1999; Nagengast et al., 2006).

Nel periodo a cavallo tra i due conflitti mondiali, fu la Svizzera uno dei primi Paesi a sviluppare l'utilizzo come pompa di calore della macchina a ciclo inverso. Tra il 1938 ed il 1945 furono realizzati 35 impianti a pompa di calore, principalmente da 3 costruttori: Sulzer (Winterthur), Escher Wyss (Zurigo) e Brown Boveri (Baden), utilizzando come sorgenti termiche principalmente acqua di lago, acqua di fiume, acqua di falda e calore di scarto (Thevenot, 1979; Bauer, 1944). I dati salienti di alcuni tra i più importanti impianti realizzati a Zurigo sono riportati in Tabella 1 e in Figura 4.

Anche in Nord America vi fu, a partire dagli anni 1930, un rapido sviluppo: nel 1932, Carrier installò la prima pompa di calore presso la sede principale dell'utility UJI in Giappone. Fino al 1940 negli U.S.A furono installate altre 40 pompe di calore nella fascia di potenza da 25 kW a 1200 kW che, oltre al raffrescamento estivo, offrivano un sistema di riscaldamento invernale che però non aveva ancora un'efficienza molto elevata (Ostertag, 1946; Thevenot, 1979; Groff, 2005). Intorno al 1945, Robert C. Webber ebbe l'idea di utilizzare l'energia termica del sottosuolo, interrando 152 m di tubi di rame a 2 metri di profondità per far evaporare il refrigerante CFC della sua pompa di calore. Nacquero così la pompa di calore geotermica e il sistema a espansione diretta. Un grosso impulso alle pompe di calore negli Stati Uniti fu dato, infine, dalla domanda di condizionatori d'aria monoblocco da finestra per il raffrescamento e il riscaldamento senza fiamma: nel 1947, erano già state vendute 43.000 unità (Nagengast et al., 2006).

Tab. 1 – Dati di impianti con pompa di calore realizzati a Zurigo tra il 1938 ed il 1945 (Zogg, 2008).

	City Hall	*Piscina comunale*	*Impianto di teleriscaldamento Walche*	*Comune*
Anno di avvio	1938	1941	1942	1943
Potenza termica totale (kW)	100	1025	5860	1750
Potenza termica unità (kW)	100	325 / 700	2 · 2000 / 1860	1750
Tipo di funzionamento	Riscaldamento Raffrescamento	Riscaldamento	Riscaldamento	Riscaldamento
Tipo di sorgente termica	Acqua di fiume	Recup. termico Acqua di lago	Acqua di fiume	Acqua di fiume
Temperatura della sorgente termica (°C)	7	23 / 7	9 / 9	7
Temperatura del pozzo termico (°C)	60	45 / 50	71 / 71	50
COP		8.0 / 3.5	2.58 / 2.73	4.0
SPF	2.16			
Tipo di compressore	Pistoni	Pistoni	Radiale / pistoni	Pistoni
Refrigerante	R12	NH3	R12 / NH3	NH3
Produttore della pompa di calore	Escher Wyss	Escher Wyss	Brown-Boveri / Sulzer	Escher Wyss

In Europa, val la pena citare la Gran Bretagna, che vide il primo climatizzatore residenziale in pompa di calore realizzato da T.G.N. Haldane nel 1927-28 per riscaldare il suo ufficio di Londra e la sua casa scozzese, e successivamente la *Festival Hall* a Londra, riscaldata tramite una pompa di calore che utilizzava l'acqua del Tamigi come sorgente termica e che era azionata da un turbogas alimentato da gas di città (Thevenot, 1979). In Germania invece l'interesse di K. Nesselmann e W. Niebergall fu rivolto soprattutto alle macchine ad assorbimento funzionanti in pompa di calore, alcune installate a partire dal 1947 per il riscaldamento di liquidi di processo e il riscaldamento degli edifici (Thevenot, 1979).

Lo sviluppo della pompa di calore: la fase del petrolio a prezzi bassi (1950-1972)
Gli anni 1950 e 1960 furono caratterizzati da un prezzo del petrolio in continua diminuzione. Di fatto, questo ebbe l'effetto di rallentare drasticamente tutte le attività

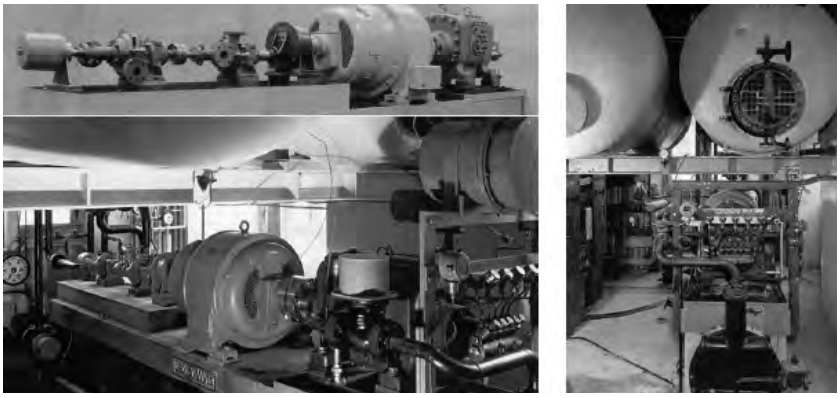


Fig. 4 – Gruppo compressore/motore della pompa di calore sul banco di prova e installata presso la City Hall di Zurigo (a sinistra), rispettivamente in alto e in basso; il gruppo con condensatore aperto, accumulo termico ed evaporatore (a destra) (Zogg, 2008).

di R&D e quindi la penetrazione nel mercato della pompa di calore nei climi più freddi. Tuttavia, nei climi più miti, dove si presentavano entrambi i fabbisogni di raffrescamento e riscaldamento, le pompe di calore continuarono il loro sviluppo. In quel periodo si iniziò a utilizzare il condizionamento nei veicoli.

Dal punto di vista tecnologico, gli sviluppi in questo periodo furono caratterizzati:

- dall'introduzione dei compressori a vite: grazie all'iniezione di olio fu possibile un aumento significativo del rapporto di compressione, rendendo tale tecnologia maggiormente competitiva. Però solo a partire dagli anni 1980 si ebbe una larga diffusione della tecnologia della vite;
- da miglioramenti significativi negli altri tipi di compressore: nel 1956 la *Sulzer* realizzò il primo compressore a pistoni a labirinto senza olio. I turbocompressori raggiunsero velocità tangenziali della girante intorno a Mach unitario, con un rapporto di compressione di un singolo stadio pari a 8;
- dalla continuazione del successo degli idrocarburi alogenati;
- dall'avvento dei computer tra la fine degli anni 1960 e l'inizio degli anni 1970, utilizzati per la progettazione.

Il periodo fu caratterizzato anche dalle prime attività di ricerca e sperimentazione degli impianti con sonde geotermiche di tipo orizzontale, con la determinazione dei primi valori guida dei coefficienti di scambio termico globali, lunghezza e diametro dei tubi e distanza tra loro. Si intuì anche l'importanza della rigenerazione estiva e degli accumuli di calore latente per incrementare il COP medio stagionale (Ostertag, 1955; Baumann et al., 2007).

In Europa, l'impianto di riscaldamento tipico degli edifici era costituito da radiatori con temperature di mandata e ritorno pari a 80 °C / 60 °C, quindi poco adatto

all'impiego al servizio delle pompe di calore data l'elevata temperatura richiesta di produzione dell'energia termica. In Francia nel 1973 esistevano circa 200 impianti a pompa di calore, mentre in Germania la tecnologia non ebbe diffusione se non per l'uso simultaneo di freddo e caldo nella climatizzazione dei grandi magazzini (Ostertag, 1955; Adolph, 2004; Dienel et al., 2004).

Negli U.S.A. vi fu un lento e graduale sviluppo della pompa di calore, soprattutto nelle medie capacità (12 - 35 kW). Negli anni 1950 le pompe di calore per la produzione di acqua calda sanitaria a 65 °C con accumulo integrato da 300 litri cominciarono a entrare nel mercato. A partire dal 1950 anche in Giappone iniziò a svilupparsi un solido mercato di impianti di climatizzazione con pompa di calore; nel 1957 la potenza totale installata era di 11,6 MW.

Per quanto riguarda la tecnologia dell'assorbimento, nonostante l'ormai prevalere della compressione meccanica, essa mantenne un proprio mercato rivolto, ad esempio, ad applicazioni sensibili al rumore come camere d'albergo e camper, o, in generale, dove fosse disponibile energia termica proveniente da reflui. I bassi prezzi del petrolio favorirono questa tecnologia, che raggiunse il picco negli U.S.A. intorno al 1970 con il 25% del mercato dei refrigeratori.

Lo sviluppo della pompa di calore: la fase dell'entusiasmo e della disillusione (1973-1990)

Il 1973 segnò una svolta nella storia del secolo scorso: la crisi petrolifera innescata dall'embargo dei paesi arabi dell'OPEC verso il resto del mondo causato dalla guerra del *Kippur* fece prendere coscienza alle nazioni del cosiddetto primo mondo della necessità di imparare a vivere con meno energia in generale, e a ripensare la loro dipendenza dai combustibili fossili. Nacque, in altre parole, il seme della cultura del risparmio energetico, delle fonti energetiche rinnovabili e della sostenibilità, concetti di estrema attualità. La tendenza a un uso più razionale dell'energia fu poi ulteriormente accelerata dalla seconda crisi petrolifera del 1979, dovuta alla guerra tra Iran e Iraq. Fu di questa fase la nascita dell'Agenzia internazionale dell'energia (IEA) e quindi della rinascita dell'interesse verso la tecnologia della pompa di calore (Groff, 2005). Tuttavia, la rapida crescita del mercato ebbe come conseguenza anche l'entrata di diversi attori che non avevano sufficiente esperienza e competenza, anche nel segmento della progettazione ed installazione, con conseguenti efficienze d'impianto decisamente inferiori al dato nominale. Questa fu una delle ragioni, assieme al calo del prezzo del petrolio dopo il 1982, del crollo del mercato europeo alla fine degli anni 1980.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnologici, le principali novità furono:

– il successo dei compressori scroll e di quelli a vite, grazie agli enormi sviluppi dei centri di lavorazione meccanica in termini di precisione dei processi di fresatura, rettifica, ecc.;

– il graduale bando dei CFC, determinato dalla scoperta del loro potenziale di distruzione dello strato di ozono, con il conseguente inizio di un processo di sviluppo di nuove molecole che è in atto ancora oggi;
– il successo degli scambiatori di calore a piastre, anch'esso dovuto agli enormi sviluppi dei centri di lavorazione meccanica nel corso degli anni 1970. La sostituzione delle guarnizioni in elastomero con la saldobrasatura a partire da metà degli anni 1980 consentì un ulteriore enorme tasso di diffusione di tale tecnologia (Frommann, 2004);
– la diffusione del microprocessore: tale innovazione consentì non solo di diffondere il controllo di tipo PID, ma anche di poter utilizzare più sensori e attuatori, e quindi di poter controllare molte più variabili e in maniera più precisa.

Nel 1979, il numero stimato di macchine reversibili a compressione meccanica installate nel mondo era di 4 milioni di unità in funzionamento freddo/caldo, e 800.000 unità in modalità solo pompa di calore, comprensive delle macchine per la sola produzione di acqua calda, installate per il 90% negli Stati Uniti, mentre solo il 6,5% era installato in Europa: 6.600 in Svizzera, 13.000 in Francia, 30.000 in Germania, 2.000 in Austria e solo 100 in Italia (Barclay et al. 1978; IEA, 1980).

Per quanto riguarda le macchine ad assorbimento, alcune problematiche tecniche e i costi elevati non convinsero il mercato statunitense ed europeo. Diversa la situazione in Giappone, dove il continuo perfezionamento delle macchine a doppio effetto di grossa taglia portò, nel 1975, il mercato dei refrigeratori ad assorbimento a superare quello delle macchine a compressione meccanica.

Lo sviluppo della pompa di calore: la fase del successo (1990-oggi)

È la fase dello sviluppo moderno del mercato delle pompe di calore, che diventano sempre più economiche, efficienti e affidabili. La sempre maggior presa di coscienza del cambiamento climatico e dell'inquinamento atmosferico sono dei booster importantissimi per lo sviluppo del mercato, supportato anche dalla nascita dei primi sistemi di incentivazione e da una maggior cultura di questi sistemi anche da parte di progettisti ed installatori.

Dal punto di vista dello sviluppo tecnologico, vi è il superamento dei compressori ermetici scroll su quelli a pistoni sulle piccole/medie taglie. Motori elettrici sempre più efficienti, tra cui i nuovi motori a magneti permanenti, contribuiscono a un ulteriore aumento dell'efficienza. Vi è una forte riscoperta dei refrigeranti naturali, soprattutto a causa del continuo processo di phase-out di CFC e HCFC e dei nuovi sostituti, gli HFC, che, pur avendo generalmente un ottimo comportamento dal punto di vista dell'efficienza energetica del ciclo termodinamico, presentano un elevato potenziale di riscaldamento globale e una elevata persistenza in atmosfera dei prodotti della loro decomposizione (Singh Gaur et al., 2021).

L'ulteriore diffusione dello scambiatore a piastre, l'introduzione dei microcomputer, la nascita e la diffusione di Internet con la conseguente possibilità di monitoraggio e controllo da remoto delle macchine e degli impianti, assieme alle sempre più frequenti attività di ricerca e sviluppo in collaborazione tra università ed industria, hanno consentito il moderno sviluppo della pompa di calore.

Conclusioni: uno sguardo al futuro

Il 2020 è stato l'ottavo anno di crescita consecutiva, il sesto a due cifre, del mercato europeo delle pompe di calore, arrivando a 1,5 milioni di unità vendute. L'esperienza da diversi mercati nazionali mostra che la crescita a doppia cifra è compatibile con la capacità produttiva e di installazione dell'industria del settore, il che è fondamentale per il raggiungimento, da qui ai prossimi anni, degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO_2 e aumento della quota di energia da fonti rinnovabili. Il futuro potrebbe riservare:

– passaggio a un nuovo modello di business: l'attuale modello (produttore della pompa di calore che vende all'installatore che vende all'utilizzatore finale, il quale è il proprietario dell'impianto e ne paga anche i costi operativi) potrebbe essere utilmente sostituito in futuro da un modello che preveda, da parte dell'utente finale, l'acquisto (a una tariffa flat) del "servizio caldo/freddo", che verrebbe fornito da un soggetto che si occuperebbe in toto della progettazione e fornitura dell'impianto/macchina;
– sviluppo di sistemi "intelligenti" e integrati con la rete, con il sistema edificio/impianto che, grazie all'inerzia e agli accumuli, potrebbe fornire servizi "ancillari" per la regolazione del sistema elettrico nazionale e contribuire alla riduzione dei costi per il servizio di dispacciamento.

Tutto questo ovviamente presuppone l'utilizzo di tecnologie avanzate, ma già disponibili, relative ai sensori e alle reti di telecomunicazione (Internet Of Things). Alcune possibili criticità legate a una massiccia diffusione delle pompe di calore, quali ad esempio l'incremento della domanda di potenza elettrica negli edifici e la diminuzione della prestazione energetica in presenza di basse temperature dell'ambiente esterno, potranno essere fronteggiate mediante, rispettivamente, un ulteriore incremento della diffusione delle rinnovabili e l'utilizzo di impianti di produzione termica ibridi.

Bibliografia

Adolph U. 2004. Die Kältetechnik und das Energieproblem: die 1970er Jahre. In: *Der DKV und die Geschichte der deutschen Kälte- und Klimatechnik* (H.L. Dienel, E. Prandner, M. Pühl M. eds.), 105-137. Stuttgart: Alfons W. Gentner.

Barclay J.A. 1978. The Design and Performance of a Magnetic Refrigerator and Heat Engine. In: Progress in Refrigeration Science and Technology, Proceedìngs of the 15th International Congress of Refrigeration, Venise, 1, 1-7.

Bauer B. 1944. Das Wärmepump-Ergänzungswerk des Fernheizkraftwerkes (FHK) der ETH. Schweizerische Bauzeitung, 123(5), 52-55.
Baumann M., Laue H.-J., Müller P. 2007. Informationspaket Wärmepumpe – Heizen mit Umweltwärme, 4th ed., BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe.
Burget L.W., Byars M.D., Schultz K. 1999. Absorption Systems: The Future, more than a Niche?. In: Proceedings of the International Sorption Heat Pump Conference, Munich, 13-24.
Cashflo. 2007. *The History of Some Compressor Types*, www.cashflo.co.uk.
Dienel H.-L., Prandner E., Pühl M. (ed.) 2004. *Der DKV und die Geschichte der deutschen Kälte- und Klimatechnik*. Stuttgart: Alfons W. Gentner.
Egli M. 1940. Die Wärmepumpen-Heizung des renovierten zürcherischen Rathauses. Schweizerische Bauzeitung, 116(6), 59-64; 116(7), 73-75.
Fischer B. 2004. *Die Kältetechnik und der DKV 1909-1945* In: *Der DKV und die Geschichte der deutschen Kälte- und Klimatechnik* (H.L. Dienel, E. Prandner, M. Pühl M. eds.), 11-56. Stuttgart: Alfons W. Gentner.
Friotherm. 2008. *History from Sulzer Brothers to Friotherm*, www.friotherm.com and private communications, Andreas Rindisbacher, Friotherm, CH-8401 Winterthur.
Frommann A. 2004. Das Um*weltproblem und die Suche nach neuen Geschäftsfeldern: die 1980er Jahre* In: *Der DKV und die Geschichte der deutschen Kälte- und Klimatechnik* (H.L. Dienel, E. Prandner, M. Pühl M. eds.), 138-159. Stuttgart: Alfons W. Gentner.
Grassi W. 2018. *Heat Pumps. Fundamentals and Applications*. Berlin: Springer.
Groff G.C. 2005. Heat Pumps – who Uses them and why?. In: Proceedings of the 8th IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, IEA Heat Pump Centre.
Hesselgreaves et al. 2016. *Compact Heat Exchangers*, Elsevier (Buterworth-Heinemann).
IEA. 1980. *Common Study on Advanced Heat Pump Systems*, Final report, International Energy Agency, Paris.
Kläy H.R. 1994. *Franz Burckhardt und August Burckhardt – Maschinenbauer aus Basel*. Meilen: Verein für wirtschaftshistorische Studien.
Linde. 2004. 125 Jahre Linde – eine Chronik. Linde AG, Wiesbaden, www.linde.com.
Nagengast B., Groff G.C., Kraus E. 2006. Air Conditioning and Refrigeration Chronology. Atlanta: ASHRAE.
Ostertag A. 1946. Die Wärmepumpe für Raumheizung in den U.S.A. Schweizerische Bauzeitung, 127(20), 249-251.
Ostertag A. 1955. Über die Anwendung der Wärmepumpe zur Raumheizung, editorial contribution. Schweizerische Bauzeitung, 73(7), 88-90.
Singh Gaur A., Fitiwi D.Z., Curtis J. 2021. Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. Energy Research & Social Science, 71, 101764.
Thevenot R. 1979. A History of Refrigeration Throughout the World. Paris: IIR.
Thomson W. 1852. On the Economy of Heating and Cooling of Buildings by Means of Currents of Air. Proceedings of the Philosophical Society, 3, 269-272.
Weightman G. 2003. *The Frozen Water Trade*. London: Harper Collins.
Wirth E. 1955. Aus der Entwicklungsgeschichte der Wärmepumpe. Schweizerische Bauzeitung, 73(52), 647-650.
Zogg M. 2008. *History of Heat Pumps. Swiss Contributions and International Milestones*. Technical report. Berne: Swiss Federal Office of Energy.

Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano

Storia degli strumenti per la misura della pioggia: dall'orinale di Benedetto Castelli ai radar e ai sistemi satellitari

History of rain measuring instruments: from"orinale" by Benedetto Castelli to radar and satellite systems

Sommario

Notizie sui primi rilevamenti di pioggia si hanno in India nel IV secolo a.C. e in Palestina nel II secolo a.C. È della metà del XIV secolo il primo strumento di misura "standardizzato", realizzato in Corea; nello stesso periodo fu realizzata una rete di pluviometri rimasta attiva fino al 1907. L'esistenza di questi strumenti non era nota in Europa dove nel Seicento padre B. Castelli iniziò per primo lo studio scientifico delle piogge e nel 1639 progettò un semplice dispositivo per la misura della pioggia. Nel 1663 C. Wren introdusse importanti modifiche realizzando un pluviometro molto simile a quelli attuali. Alla fine del XVIII secolo vennero proposti svariati strumenti meccanici per misurare sia la quantità di pioggia e la durata dell'evento piovoso, sia la quantità d'acqua precipitata nell'unità di tempo. Nei secoli molte tipologie di pluviometri con caratteristiche tecnologiche diverse, quali quelli a pesata e a sifone, sono state sviluppate. Alla fine del XIX secolo i pluviometri iniziarono a essere realizzati secondo standard fissati internazionalmente. Nel XX secolo si ebbe un ulteriore sviluppo delle tecniche costruttive mediante l'utilizzo di microprocessori e sensori di nuova concezione. Con queste tecnologie sono stati realizzati strumenti per affinare le misure dell'evento piovoso e delle sue caratteristiche. Nella seconda metà del XX secolo, con la nascita del Radar, del LIDAR e con il lancio dei satelliti meteorologici, anche la misura della pioggia rientra nelle grandezze misurabili con il telerilevamento.

Abstract

Rain is one of the most "early" measured meteorological quantities in the world. Information on the measurement of rainfall can be found in India (4th century BC), Palestine (2nd century BC) and China (13th century). In Korea, in the middle of the 15th century, the first "standardized" rain gauge was carried out, the use of which was probably linked to the cultivation of rice; in the same period a network of rainwater

stations was implemented which remained active until 1907. These instruments were unknown to Father B. Castelli, the first in Europe to begin the scientific study of rains with a more engineering interest; in 1639 he designed a simple device (jokingly called in italian *orinale*, urinal), for measuring rain. In 1663 important changes were introduced by C. Wren who designed rain gauge in which the water collected by a funnel passed into a "tipping bucket". At the end of the 18th century many mechanical instruments were developed to measure both the amount of rain and the duration of the rainy event (Landriani's chronohyograph, 1782), and the amount of water precipitated in the unit of time (Landriani's hyometrograph, 1782 and Hermann's hyetometrograph 1789). Over the centuries, many types of rain gauges have been developed with different technological "characteristics" (weighing, siphon, tipping bucket etc.). At 19th century's end, rain gauges, like other meteorological measuring instruments and systems, began to be made according to internationally established standards. In the 20th century there were further developments of assembly techniques using microprocessors and new concept sensors. The application of these technologies allowed the design of instruments to refine the measurements of the rainfall event and its characteristics such as: the microprocessor-based pluviointensimeter, the impactometer, an instrument for measuring the energy of rain, used in studies of erosive phenomena. In the second half of the 20th century, the measurement of rain entered the group of quantities measurable with remote sensing thanks to the birth of the Radar, LIDAR, and the launch of meteorological satellites.

Le origini e l'inizio degli studi scientifici in Europa

La pioggia è una delle grandezze meteorologiche più "precocemente" misurate in tutto il mondo. Si hanno notizie sul rilevamento della pioggia, a fini essenzialmente agricoli, in India, nel IV secolo a.C., in Palestina, nel II secolo a.C. e in Cina, nel XIII secolo. In Corea, a metà del XV secolo, fu realizzato il primo strumento di misura "standardizzato", il cui uso era probabilmente legato alla coltivazione del riso. Nel paese, verso la fine del regno del re Sejong il Grande (1397-1450), fu realizzata una rete di pluviometri che rimase attiva senza cambiamenti fino al 1907 (Knowles Middleton, 1969).

Questi strumenti erano ignoti in Europa dove lo studio scientifico delle piogge iniziò nel XVII secolo a opera di padre Benedetto Castelli (1578-1643), che ebbe da Papa Urbano VIII l'incarico di studiare le oscillazioni di livello del lago Trasimeno che con le sue piene provocava danni ingenti nei territori circostanti (Ubertini e Roda, 2009). Padre Castelli concepì allora l'idea di un dispositivo per la misura della quantità del precipitato durante un evento di pioggia, dispositivo che lui stesso, scherzosamente, chiamò "orinale". Fu così che nel 1639 vide la luce il "pluviometro" nell'accezione moderna. Lo strumento, in Figura 1, era un semplice contenitore

graduato con cui si misurava il volume d'acqua raccolto; questo, diviso per la superficie della bocca dell'orinale, forniva lo spessore della lama d'acqua precipitata nell'intervallo di tempo considerato (Benincasa et al., 2019). Nella sua versione più elaborata il contenitore utilizzato era un cilindro di vetro con la base e l'imboccatura metalliche; l'altezza era di circa un palmo (24 cm) e il diametro di circa mezzo palmo. Qualche tempo dopo Castelli pensò di adoperare lo stesso strumento per la misura della quantità d'acqua evaporata dal lago in un determinato intervallo di tempo, ideando così l'evaporimetro che descrisse in una lettera del 1639 a Galileo Galilei (Affronti, 1977).

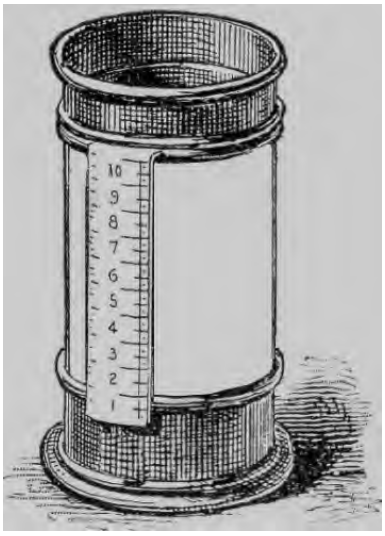


Fig. 1 – Pluviometro totalizzatore di Benedetto Castelli; nella versione del 1725 fatta da G. Poleni (rielaborazione da Whitney, 1889).

Strumenti del tipo di quello progettato da Castelli sono stati utilizzati fino ai nostri giorni (Benincasa et al., 1991), ad esempio il pluviometro totalizzatore. Questo dispositivo, per certi scopi agronomici, è tuttora in uso per la misura delle precipitazioni, data per lo più in millimetri raccolti in un'unità di tempo. In questo pluviometro l'acqua, attraverso un imbuto di raccolta, entra in un contenitore cilindrico in cui si accumula; una scala graduata, incisa su un lato del contenitore, permette la lettura diretta del livello raggiunto.

I pluviometri a vaschetta oscillante

Lo strumento ideato da Castelli e le sue versioni successive, come gli udometri (Cotte, 1788), si diffusero in Europa in tutto il Seicento; questo tipo di pluviometro se da una parte era di semplice realizzazione e gestione, d'altra presentava l'inconveniente che se l'operatore non effettuava la lettura subito dopo l'evento piovoso, si poteva avere una sottostima del precipitato a causa dell'evaporazione dell'acqua raccolta, in particolare nei mesi estivi. Anche per evitare questo inconveniente e per cercare di quantificare i singoli eventi piovosi, nel 1663 venne proposto dal fisico inglese Christopher Wren (1632-1723) un nuovo strumento che introduceva importanti modifiche rispetto a quello di Castelli. Nel pluviometro di Wren, mostrato in Figura 2, l'acqua raccolta da un imbuto passava in una vaschetta che, raggiunta una prestabilita quantità, si ribaltava svuotandosi; successivamente, un contrappeso la riportava nella posizione originaria. I dati misurati dallo strumento venivano registrati su di un nastro di carta, azionato da un meccanismo ad orologeria, tramite un punzone che forava il nastro a ogni svuotamento (Strangeways, 2010).

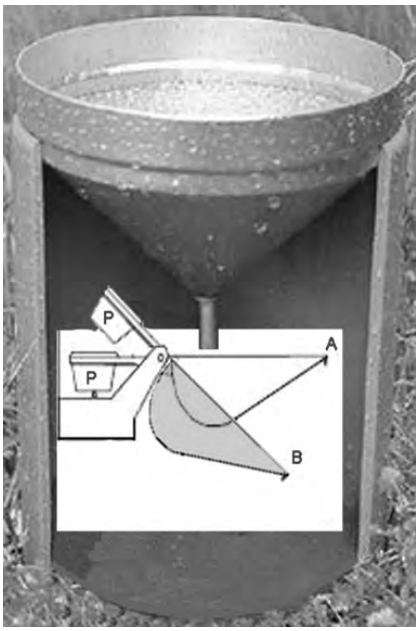


Fig. 2 – Pluviometro a singola vaschetta oscillante [rielaborazione da 1].

Fig. 3 – "Spaccato" di un moderno pluviometro a doppia vaschetta oscillante [rielaborazione da 1].

Nel 1829 l'inventore inglese Samuel Crosley integrò il pluviometro di Wren, sostituendo il contrappeso con una seconda vaschetta che si riempiva di pioggia mentre la prima si svuotava, migliorando così la precisione della misura; questo strumento, in Figura 3, è il pluviometro a doppia vaschetta oscillante, ancora oggi ampiamente utilizzato (Strangeways, 2010). Nel 1830 il fisico e astronomo svizzero Johann Kaspar Horner (1774 - 1834) propose un pluviometro a doppia vaschetta oscillante con un meccanismo a ruote dentate azionato dai ribaltamenti della vaschetta stessa, che consentiva il conteggio degli svuotamenti (Horner, 1830); questo dispositivo, sviluppato indipendentemente da quello di Crosley, non ebbe né ampia diffusione né ulteriori sviluppi.

Il pluviometro a vaschetta oscillante fu oggetto di perfezionamenti nella parte della registrazione dei dati nei decenni successivi, come nell'apparato realizzato da Negretti & Zambra, in Figura 4, a sinistra, nel quale la vaschetta oscillante azionava una camma a spirale che sollevava un braccio dotato di una penna che scriveva su un tamburo di carta mosso da un meccanismo ad orologeria (Meteorology Office, 1899). Altri successivi miglioramenti furono introdotti con l'utilizzo di apparati elettrici. In Figura 4, a destra, si mostra una versione del pluviografo meccanico in uso fino alla fine degli anni Settanta del Novecento, quando fu sostituito dal pluviometro elettronico.

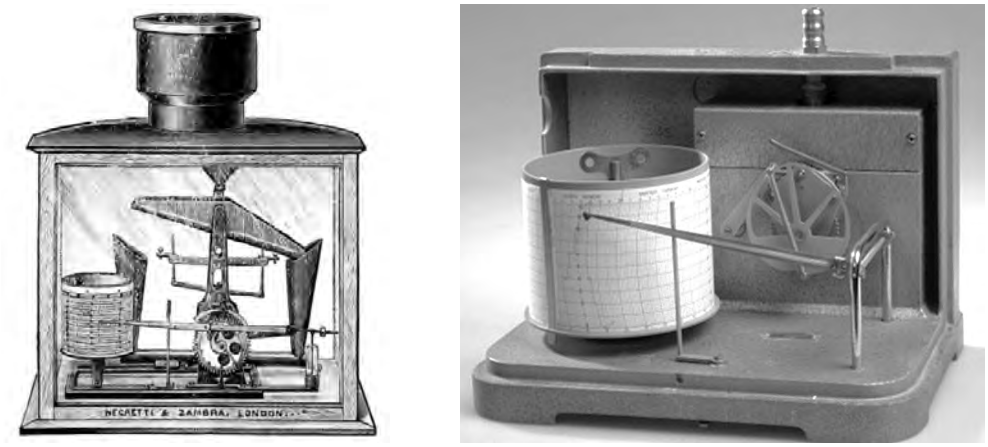


Fig. 4 – Pluviografo Negretti & Zambra registratore a doppia vaschetta oscillante (a sinistra) (Meteorological Office, 1899)*; pluviografo meccanico registratore del XX secolo (a destra)* (foto di G. Fasano).

Gli strumenti meccanici per la misura della durata della pioggia

Durante il Settecento, il crescente interesse per il rilevamento e la quantificazione degli eventi piovosi, fece sì che venissero proposti svariati strumenti per misurare sia la quantità di pioggia e la durata dell'evento piovoso, il Croniografo di Landriani del 1782, sia la quantità d'acqua precipitata nell'unità di tempo, lo Iometrografo di Landriani del 1782 e lo Ietometrografo di Hermann del 1789.

Il Croniografo di Landriani

Nel 1782 il fisico Marsilio Landriani (1751-1815) descrisse due strumenti: il croniografo, così chiamato dall'unione della contrazione delle parole crono, *cron*, n greco *crónos* = tempo, ieto, *io*, in greco *hyetós* = pioggia e grafico, *grafo*, in greco *graphikós* derivato da *gráphein* = scrivere, disegnare e l'iometrografo, dalla unione delle parole, derivate dal greco, pioggia, misura e grafico (Landriani, 1782).

Il croniografo, realizzato per l'osservatorio meteorologico del medico Pietro Moscati a Milano, era «[…] un pluviometro in grado di segnare oltre la quantità totale di acqua caduta in un dato tempo anche la durata della pioggia […]» (Moscati, 1790). Lo iometeografo, che Landriani aggiunse al precedente strumento (Landriani, 1782: 216), era uno strumento per misurare la quantità d'acqua precipitata nell'unità di tempo almeno di ora in ora.

Il croniografo, riportato in Figura 5, senza il cilindro AA, indicato nel Part. 5, e le funzioni ad esso connesse, era costituito da un imbuto, W, posto sul tetto dell'osservatorio che captava l'acqua piovana che, con un tubo arrivava a un vasetto conico

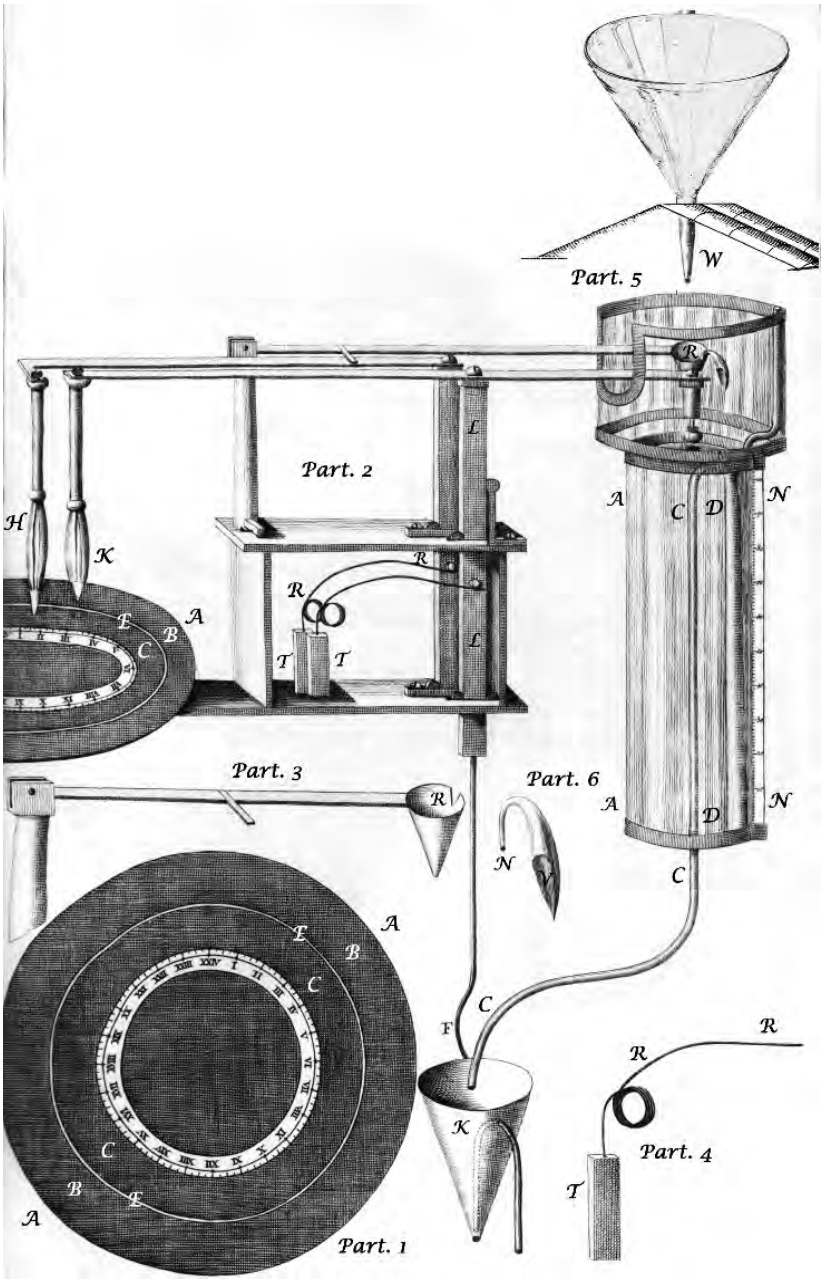


Fig. 5 – Iometrografo di Landriani con anche la funzione di croniografo (rielaborazione di G. Fasano da Landriani, 1782).

mobile R, nel Part. 3, il quale appesantendosi si abbassava e tramite un levismo spingeva una matita H contro un disco rotante AA, nel Part. 2, tracciando, nella zona periferica C di questo, un arco di cerchio per tutta la durata della pioggia. Il disco, che compiva un giro ogni 24 ore, divideva la circonferenza in 24 intervalli della stessa lunghezza, ciascuno diviso a sua volta in trenta parti. Al cessare della pioggia, un sifone NV, ingrandito nel Part. 6, provvedeva a svuotare completamente il vasetto conico R che risollevandosi per effetto della molla RR, nei Partt. 4 e 2, staccava la matita dal disco interrompendo il tracciato; si aveva così la traccia dell'intera durata, in ore e minuti, dell'evento di pioggia e le ore in cui esso era avvenuto. La quantità d'acqua raccolta durante l'evento e la durata di questo consentivano anche la valutazione dell'intensità media oraria della precipitazione; dato significativo, secondo il medico Moscati, per le patologie da lui studiate, ma insufficiente ai fini della fisica meteorologica, oggetto di studio di Landriani. Normalmente non è sufficiente determinare la quantità totale e la durata della pioggia in un determinato evento, ma è necessario conoscere la quantità d'acqua precipitata nell'unità di tempo. A questo fine Landriani aggiunse al croniografo altri elementi per "implementare" anche la funzione di iometrografo, in Figura 5, che nella sintesi più estrema consiste nel cilindro AA, nel Part. 5, che riceveva l'acqua scaricata dal vasetto conico R; il cilindro si riempiva tanto più rapidamente quanto più intensa era la pioggia. Quando l'acqua nel cilindro raggiungeva il massimo livello si innescava un sifone DD-CC che lo svuotava rapidamente riempiendo un cono K, nel Part. 6, che metteva in azione un sistema di leve LL, terminante in una matita K, nel Part. 2, che imprimeva una marca nella zona B sul disco rotante del croniografo, zona diversa da quella dove la matita H del croniografo segnava con continuità l'evento. Con lo svuotarsi del sifone la matita veniva risollevata fino al successivo svuotamento che faceva imprimere un'altra marca. In altre parole, il numero delle marche e la loro successione, più o meno ravvicinata, dava una indicazione dei momenti in cui la pioggia era stata più o meno intensa.

Le soluzioni di Landriani, pur avendo dato risultati eccellenti essendo tutte basate su sistemi meccanici, non ebbero seguito con l'avvento dei sistemi elettrici e più ancora con quelli elettronici; oggi esistono pluviointensimetri a microprocessore che consentono di conoscere il precipitato ogni minuto (Battista et al., 1990).

lo Ietometrografo di Hermann

Un altro tentativo per misurare la quantità di pioggia in un intervallo di tempo stabilito fu fatto dal pastore tedesco, studioso dilettante di agraria, Christian G. Hermann (1734-1792) che nel 1789 propose il suo ietometrografo (Hermann, 1789). Questo strumento era costituito da un disco diviso in dodici sezioni uguali in ognuna delle quali era inserito un imbuto, come mostrato in Figura 6. Il disco era mosso da un movimento a orologeria e compiva la sua rivoluzione in dodici ore. Il disco

con gli imbuti era protetto da un secondo cono, sovrastante, che aveva una apertura di superficie assolutamente uguale a quella di ciascun imbuto e che a consentiva all'acqua piovana di cadere nell'imbuto che in quel momento si trovava al di sotto e di essere raccolta in un contenitore graduato. Con la rotazione ciò si ripeteva per ogni imbuto che tornava a coincidere con l'apertura due volte nelle ventiquattro ore. La misura dell'acqua raccolta nei contenitori dava l'indicazione dell'entità della precipitazione oraria (Hermann, 1789). Pur essendo gli imbuti molto vicini l'uno all'altro si avevano momenti in cui in corrispondenza dell'apertura potevano esserne presenti due e quindi una parte del precipitato poteva essere persa oppure campionata erroneamente nei raccoglitori. Lo strumento risultò da subito del tutto inutile, poiché dal 1782 già esisteva lo iometrografo di Landriani, che non presentava questi inconvenienti.

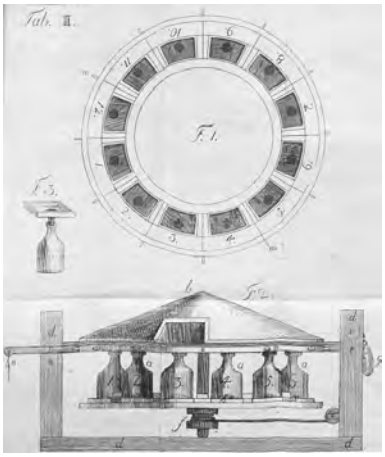


Fig. 6 – Ietometrografo di Hermann (rielaborata da Hermann C. 1789).

Altri strumenti

Nei secoli sono state proposte molte tipologie di pluviometri con caratteristiche tecnologiche diverse: a pesata, a sifone, ecc. Nel 1878 padre Francesco Denza (1834-1894) propose un anemopluviografo a doppia vaschetta oscillante per ovviare ad alcuni dei difetti degli strumenti esistenti e che fu a lungo utilizzato presso l'Osservatorio centrale del Real Collegio Carlo Alberto di Moncalieri -Torino (Agnoli e Bartelloni, 2013).

Di dieci anni più tardi è la realizzazione di un pluviografo a pesata da parte dello strumentista e meteorologo statunitense Sterling P. Fergusson (1869-1959), ovvero di uno strumento che registrava il peso della precipitazione man mano che cadeva (Rivosecchi, 1975). Il pluviografo fu progettato per soddisfare la necessità di avere uno strumento in grado di registrare le misure di precipitazioni di pioggia e di neve in particolari regioni a clima freddo e in località di difficile accesso, dove non era possibile installare strumenti registratori tradizionali. Trent'anni dopo, Fergusson ne presentò una versione migliorata (Fergusson, 1921). L'apparato, in Figura 7,

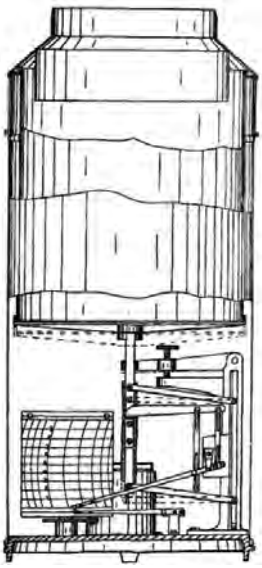


Fig. 7 – Nivo-pluviografo a pesata di Fergusson (rielaborata da Fergusson, 1921).

era costituito da una bocca di raccolta e da un contenitore posto su una bilancia a molla che tramite un levismo trasmetteva le variazioni di peso della precipitazione raccolta a un pennino scrivente su un tamburo di carta, azionato da un meccanismo a orologeria. L'autonomia dell'apparato poteva essere settimanale, mensile, annuale. Le varie configurazioni e gli adattamenti della struttura consentivano le misure su queste scale temporali e in condizioni climatiche avverse; l'autore sosteneva che lo strumento poteva essere impiegato per precipitazioni stagionali fino a 1000 mm (Fergusson, 1921). Uno dei problemi riscontrati nell'utilizzo di questo strumento era che la carta del registratore tendeva a inumidirsi rendendo illeggibile il tracciato.

Gli sviluppi del XX secolo

Nel XX secolo sono stati realizzati strumenti per misurare altre caratteristiche degli eventi piovosi, ad esempio il pluviontensimetro, ovvero uno strumento in cui la misura viene eseguita a intervalli prestabiliti al fine di risalire a una intensità "istantanea" della pioggia.

In Figura 8 è riportato un pluviointensimetro (Battista et al., 1990; Fasano et al, 1999), privato dell'involucro, in cui sono indicate le parti essenziali. La pioggia raccolta nel cono A passa attraverso la valvola B, normalmente aperta, e cade nel recipiente C che è vincolato su una cella di carico D che pesa l'acqua raccolta. Il sistema è gestito da un microprocessore che, con una cadenza temporale stabilita dall'utilizzatore, legge il peso dell'acqua raccolta in C e ne fa la differenza con la lettura precedente; così facendo si ha la quantità di acqua raccolta nell'intervallo di tempo prestabilito. Quando l'acqua raccolta in C raggiunge un peso limite si apre l'elettrovalvola E, normalmente chiusa, e si chiude la B. Il contenitore C si svuota e nel frattempo l'acqua si accumula nell'imbuto che non grava sulla cella di carico. Dopo il tempo necessario a svuotare C le elettrovalvole si commutano e l'acqua contenuta nell'imbuto passa rapidamente in C e ricomincia un altro ciclo di misura.

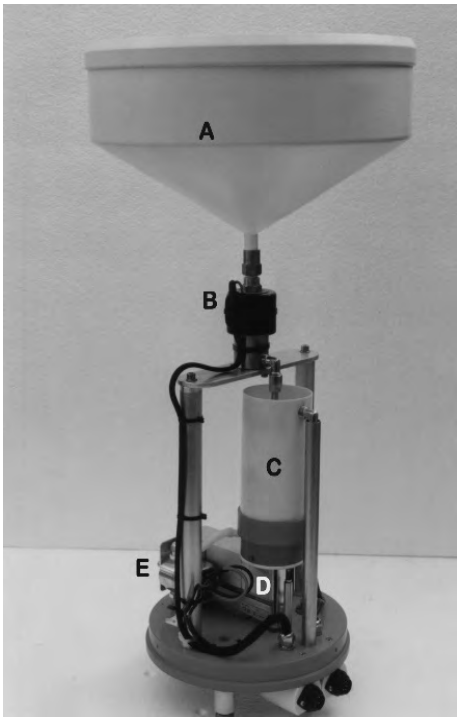


Fig. 8 – Pluviointensimetro a pesata, 1990. A: cono con bocca tarata 0,1 m²; B: elettrovalvola normalmente aperta; C: recipiente della pioggia; D: cella di carico; E: elettrovalvola normalmente chiusa. Realizzazione CNR-IBIMET (foto di G. Fasano).

Ovviamente, il pluviointensimetro, per ogni periodo di tempo stabilito, fornisce come il pluviometro la quantità di precipitazione ma, per effetto della sua scansione temporale, pone in evidenza i momenti in cui si sono avuti effetti acuti di precipitazione dei quali rileva l'entità e la durata.

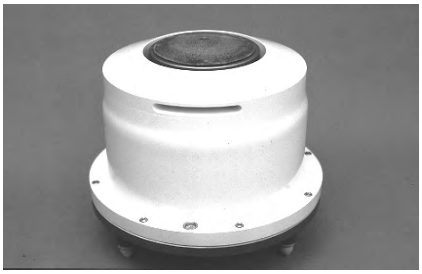


Fig. 9 – Impattometro (1994). Realizzazione CNR-IBIMET (foto di G. Fasano).

Negli ultimi decenni del secolo scorso furono realizzati strumenti per misurare l'energia della pioggia, impattometri, utili in particolari studi fenomeni erosivi (Battista et al., 1994; Fasano et al., 1999), ovvero strumenti che forniscono l'energia rilasciata dalla pioggia su una unità di superficie in un intervallo di tempo prestabilito. In Figura 9 è rappresentato un moderno impattometro: la superficie sensibile è di bronzo sinterizzato ed è leggermente convessa al fine di ridurre il rimbalzo delle gocce di pioggia, evitare ristagni o formazione di veli liquidi sulla superficie e favorire il drenaggio dell'acqua verso lo scarico. Le gocce urtando la superficie cedono la loro energia a questa, che a sua volta la trasmette a un trasduttore d'urto di tipo piezoelettrico, cui la superficie di bronzo è rigidamente vincolata. Il trasduttore fornisce un segnale di tensione proporzionale agli impulsi ricevuti istante per istante. La tensione erogata dal trasduttore è inviata a un integratore che produce una tensione proporzionale all'energia raccolta in un intervallo di tempo prestabilito (Battista et al., 1994; Fasano et al., 1999).

Oggi, grazie alla "rivoluzione elettronica", sono disponibili non solo gli strumenti per le misure tradizionali della pioggia di intensità e durata, ma si misurano anche la sua acidità, con lo ieto-pHmetro, e più in generale si misurano tutte le precipitazioni quali neve, grandine e polveri.

In Figura 10 è mostrato uno ieto-pHmetro (Benincasa et al., 1994) che raccoglie automaticamente precipitazioni umide e secche. Un pluviostato optoelettronico A si attiva all'inizio di un evento piovoso chiudendo il coperchio F del contenitore della deposizione secca E e contemporaneamente aprendo il coperchio D dell'imbuto C, che convoglia l'acqua al pHmetro B; viceversa, al termine dell'evento piovoso. Durante la pioggia lo strumento registra il valore del pH dei campioni di acqua sequenzialmente raccolti.

La pioggia come è noto è un parametro molto localizzato, la cui misura strumentale dipende sia dalla geometria della bocca di raccolta dello strumento, sia dalle caratteristiche geoambientali del luogo in cui viene installato lo strumento, come prevedono le indicazioni del WMO - *World Meteorological Organization* (WMO, 2018). Un ausilio per superare i limiti di queste misure è stato dato nella seconda metà del Novecento dalla nascita dei radar meteorologici e dal lancio dei satelliti meteorologici che hanno permesso alla misura della pioggia di rientrare nelle grandezze meteo-

rologiche stimabili con il telerilevamento. Nella sua forma più essenziale, un radar è un generatore di onde elettromagnetiche, di adeguata frequenza, che vengono lanciate nello spazio: laddove colpiscono un oggetto, di dimensioni coerenti con la loro frequenza, vengono riflesse formando una eco che porta con sé, nel tempo di ritorno al ricevitore e nella distorsione che subisce, le informazioni sull'oggetto colpito.

Già dai primi studi sulle applicazioni dei radar si vide che più alta era la frequenza delle onde elettromagnetiche emesse dallo strumento, più gli echi di ritorno erano disturbati da echi "spuri" prodotti dalle condizioni atmosferiche. Ciò era ovviamente un inconveniente per chi doveva, attraverso gli echi, rivelare navi o aerei: una tempesta di vento e pioggia poteva nascondere o confondere bersagli localizzati alla stessa distanza e allo stesso azimut e una piccola nube temporalesca isolata poteva, a grande distanza, essere interpretata come un velivolo. D'altra parte, come intuì Arthur E. Bent (Bent, 1946) del Laboratorio delle radiazioni del *Massachusetts Institute of Technology*, gli echi radar di pioggia, neve, grandine, sono di considerevole importanza per la ricerca meteorologica e per le previsioni del tempo (Skolnik, 1972). Sono stati pertanto realizzati radar per rilevare e misurare sia la quantità di pioggia precipitata in un dato periodo di tempo sia l'estensione spaziale dell'evento. È del 1946 lo studio di Edward V. Appleton (1892-1965) che determinò le prime relazioni tra condizioni dei bassi strati atmosferici e propagazione delle onde radio ultra-corte, aprendo così la strada alla radarmeteorologia. Questa tecnica di misura in pochissimi anni si è talmente sviluppata da divenire una branca autonoma della meteorologia.

Fig. 10 – Ieto-phmetro elettronico (1994) con campionatore sequenziale di pioggia e di deposizioni secche. A: pluviostato; B: contenitore del pHmetro e dell'elettronica di comando; C: imbuto convogliatore della pioggia; D: coperchio di C; E: raccoglitore deposizione secca; F: coperchio di E; G: pannello fotovoltaico. Realizzazione CNR-IBIMET (foto di G. Fasano).

Oggi il radar meteorologico è normalmente impiegato anche per ricerche a carattere idrologico per misurare le quantità di precipitazioni in un bacino imbrifero e il contenuto d'acqua liquida nelle nubi. Una evoluzione del radar meteorologico è il LIDAR-Light Detection and Ranging, che utilizza onde elettromagnetiche di frequenza così elevata da rientrare nel campo della radiazione luminosa (Affronti, 1977).

A partire dagli anni ’60 del Novecento, con il lancio dei primi satelliti meteorologici, altresì importante è stato l’utilizzo delle immagini satellitari per le previsioni meteorologiche. Con esse, si possono sia valutare i pericoli per il traffico aereo, come le nuvole basse, sia monitorare i temporali e l’evoluzione dei pennacchi di polvere. I sensori satellitari sono in continua evoluzione per fornire capacità di interpretazione e analisi delle immagini acquisite sempre maggiori e, in particolare, sia per stimare la distribuzione delle precipitazioni giornaliere, sia per identificare gli eventi potenzialmente estremi e fornire una allerta precoce (Ciabatta et al., 2017).

Conclusioni

Il pluviometro è uno degli strumenti che meglio evidenzia la complessità nell’evoluzione dei dispositivi di misura. La prima versione qui illustrata è quella di Padre Castelli, la cui estrema semplicità è stata ampiamente “compensata” dall’estrema complessità del radar-pluviometrico della prima metà del Novecento che oggi, per le innumerevoli informazioni che fornisce, prende il nome di radar meteorologico. Ovviamente, data la sua complessità, leggasi costo, il dispositivo è presente solo nelle reti meteorologiche più importanti, ad esempio quelle regionali, anche se ancora in modo non sufficiente a coprire tutto il territorio regionale di competenza di queste ultime.

L’impiego dei satelliti meteorologici ha permesso, a partire dagli ultimi decenni del Novecento, di avere stime sulla distribuzione degli eventi piovosi su grande scala. Per migliorare la qualità di queste informazioni, prossimamente EUMETSAT, l’*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*, metterà in orbita satelliti geostazionari [2] che consentiranno di osservare la superficie terrestre e inviare informazioni sulla distribuzione orizzontale, verticale e temporale della temperatura e del vapor d’acqua nelle strutture atmosferiche. Questo permetterà di ottenere informazioni più puntuali e affidabili in relazione ai cambiamenti climatici.

Bibliografia

Affronti F. 1977. *Atmosfera e meteorologia.* Modena: 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: La Fontana di Siloe.

Battista P., Benincasa F., Fasano G. 1990. Pluviointensimetro a microprocessore. Elettronica Oggi, 110, 123-132.

Battista P., Benincasa F., Materassi A. 1994. Progetto e realizzazione di un impattometro a microprocessore. Rivista di Ingegneria Agraria, 1, 27-33.

Benicasa F., De Vincenzi M., Fasano G. 2019. *Storia della strumentazione meteorologica, nella cultura occidentale*. CNR-Edizioni, Roma, 978-888080-326-3 (digitale).

Benincasa F., Fasano. G, Materassi A. 1994. *Ieto-pHmetro con campionatore di precipitazioni secche*. Rivista di Ingegneria Agraria, 4, 242-247.

Benincasa F., Maracchi G., Rossi P. 1991. *Agrometeorologia*. Bologna: Pàtron Editore.

Bent A. E. 1946. Radar detection of precipitation. Journal of Meteorology, 3(September), 78-84.

Ciabatta L., Marra A. C., Panegrossi G., Casella D., Sanò P., Dietrich S., Massari C., Brocca L. 2017. Daily precipitation estimation through different microwave sensors: Verification study over Italy. Journal of Hydrology, 545, 436-450.

Cotte L. 1788. *Memoires sur la meteorologie*. Paris: Imprimerie Royale.

Fasano G., Materassi A., Zara P. 1999. *Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia*. Quaderno n. 8 Collana tecnico-scientifica INAPA. Firenze: INAPA.

Fergusson S.P. 1921. *Improved gages for precipitation*. Monthly Weather Review, 49(7), 379-386.

Hermann C.G. 1789. *Mechanischer verbesserter Wind- Regen- und Trockenheitsbeobachter*. Freiberg & Annaberg: In der Crazischen Buchhandlung.

Horner J.C. 1830. Ein neuer Regenmesser. Journal für Chemie und Physik, 59, 36-43.

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

Landriani M. 1782. Descrizione di una macchina meteorologica, per mezzo della quale si determina di ora in ora la durata e quantità della pioggia. In: *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana*, Tomo I, 203-224. Verona: per Dionigi Ramazzini.

Meteorological Office 1899. Negretti and Zambra's self-recording rain gauge. Simmon's Meteorological Magazine, 34, 36-38.

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: per Dionigi Ramazzini.

Rivosecchi I. 1975. *Osservazioni e strumenti di meteorologia*. Vol. I, IFA DP n.5. Roma: CNR-IFA,

Skolnik M. I. 1972. *Introduzione ai sistemi radar*. Roma: Edizioni Bizzarri.

Strangeways I. 2010. A history of rain gauges. Weather, 65(5), 133-138.

Ubertini L., Roda C. 2009. Padre Benedetto Castelli, il pluviometro e il lago Trasimeno. GeoItalia, 27, 17-18.

Whitney W.D. 1889. *The Century Dictionary: An encyclopedic Lexicon of the English Language*. New York: The Century Co.

WMO. 2018. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Geneva: WMO.

Sitografia

[1] scientificsales
www.scientificsales.com/Rain101A-Rainfall-Data-Logging-System-p/rain101a.htm

[2] eumetsat
https://www.eumetsat.int/our-satellites/meteosat-series?sjid=future

[1] Marconi G. 1922. La radiotelegrafia.
https://www.fgm.it/_MG/scritti%20di%20marconi/la%20radiotelegrafia1922.pdf

Davide Pellecchia, Nicolò Vaiana, Pasquale Cesarano,
Luciano Rosati

Rocking behaviour and safeguard of freestanding art objects: an hystorical perspective

Comportamento oscillatorio e salvaguardia di oggetti d'arte non vincolati: una prospettiva storica

Abstract
This study aims to illustrate two recent seismic protection techniques of unanchored museum contents such as statues, amphorae, busts, etc. This topic has received significant interest over the last decade, given that the majority of contents contained in museums are still now not equipped to resist oscillations induced by earthquakes. Although such protection techniques are similar to the ones used to protect laboratory/hospital equipment and electrical transformers, they need to be customised for each artefact to properly account for the museum aesthetic demand.

Sommario
Questo studio ha lo scopo di illustrare due recenti tecniche di protezione sismica di contenuti museali non ancorati come statue, anfore, busti, ecc. Tale argomento ha riscosso un notevole interesse nell'ultimo decennio poiché la maggior parte dei contenuti presenti nei musei non sono attrezzati per resistere alle oscillazioni indotte da terremoti. Sebbene tali tecniche di protezione siano simili a quelle utilizzate per proteggere le apparecchiature di laboratorio/ospedaliero e i trasformatori elettrici, esse devono essere personalizzate per ogni manufatto in modo da tenere adeguatamente conto dei requisiti estetici richiesi da ciascun museo.

Introduction

Countries in Southern Europe, such as Italy, Greece, and Turkey have probably the most significant number of cultural heritage sites worldwide. Unfortunately, such countries are also known for their intensive seismic activity. According to Parisi and Augenti (2013), the frequency of natural disasters and the magnitude of earthquakes increased from 1975 to 2005. Consequently, in recent years, damages caused by earthquakes have been estimated by a total of 3.14 trillion USD.

Earthquake losses have shed light on the vulnerability of existing structures and infrastructures, above all those belonging to cultural heritage constructions. However, when a building shakes due to an earthquake, all elements, including the building contents, will be subjected to the earthquake's inertia forces. This means that the earthquake threatens not only the cultural heritage construction but also its contents. By this last term we mean all non-structural elements, such as machinery, storage units, display furniture and, in the case of museum buildings, collections and artworks. Usually, similarly to most non-structural elements, museum contents are not designed to resist earthquakes accelerations.

Generally, conservators in charge of protecting collections focus their attention on other important issues, such as fires, flooding due to rain, thefts, vandalism, etc. As a consequence, they are not prepared to prevent or mitigate the damage caused by earthquakes. Moreover, several museum artefacts are freestanding, that is they have little or no restraint, such as sculptures, statues, amphorae, etc. Accordingly, these objects are the most vulnerable ones to seismic excitations since, due to rocking and sliding, they can overturn or fall from the support. As a matter of fact even art objects anchored to larger masses such as pedestals could be severely damaged during an earthquake if their stability is not guaranteed.

Generally, museum buildings belonging to the cultural heritage are rather stiff masonry structures. Although these buildings are able to resist the effects of expected earthquakes, they are not necessarily adequate to host freestanding art objects. As a result, his could be the leading cause of collapse and damage to museum artefacts. Indeed, typical monumental buildings can filter the base seismic motion modifying its frequency and magnitude. The accelerations on the upper floors can be two to four times higher than the ones on the ground floor, as shown by Baggio et al., (2018). Consequently, a simple change of the art object's place, e.g. from the ground floor to the second one, will also require a preliminary study on the feasibility of relocation. In the worst case, it will be necessary to implement a seismic damage mitigation technique, as in the example of the two Riace's Bronzes (De Canio, 2012; Pellecchia et al., 2020).

Hence, art objects contained in museums are at significant risk of earthquakes, and their collapse and damage are potentially associated with significant human and economic losses. This is especially the case when the collection's value is greater than that of the museum building itself.

The earthquakes of L'Aquila (2009) (Fig. 1) and Emilia Romagna (2012) caused enormous damage to cultural heritage.

Significant cultural heritage damages due to earthquakes were also experienced in Greece; for instance, the Athens earthquake in 1999 is probably the worst natural disaster of modern Greek history, creating economic losses of 3 billion USD (Spyrakos, 2008). The Kos earthquake in July 2017 caused widespread damage to several archaeological sites and monuments, including the medieval Nerantzia Castle, sec-

Fig. 1 – Collapse of sculptures located in the Spanish Fortress of L'Aquila, Madonna in trono (left), Sant'Antonio Abate (right) (Parisi et al., 2013).

Fig. 2 – Kos Island: Earthquake damages, 2017. Kos Archeological site (left) [1], *Kos Archaeological Museum (right)* [2].

tions of the ancient agora, and the recently refurbished Archaeological Museum. Notably, of the 43 ancient sculptures on display, five fell from their pedestals, suffering severe damages (Fig. 2).

To highlight the topic's actuality, Fig. 3 shows some damages suffered by the Archaeological Museum in Zagreb due to the recent earthquake (occurred on the 22nd of March 2020).

Fig. 3 – Zagreb: Several collections of the Archaeological Museum were severely damaged during the earthquake in 2020 [3, 4].

The use of mitigation techniques towards seismic excitation regarding the safety of museum art objects is still scarce. In fact, the larger majority of seismic protection attention is currently given to the monumental buildings rather than to collections, even though some interest and awareness about protection of art objects is beginning to spread by means of workshops and conferences (Lowry et al., 2008).

The first publication on the protection of museum objects from earthquake damage is that associated with a 1987 visit to the Getty Museum by Mihran Agbabian, professor of civil engineering at the University of Southern California.

The research team coordinated by prof. Agbabian proposed to classify art objects and their supports according to their shape and seismic behaviour (Agbabian et al., 1990; 1991).

Augusti et al., 1992 suggested a few rules for the safeguard of art objects, such as allowing the sliding motion between the object and its support in order to reduce the inertial forces, lowering the object's centre of mass to increase its stability, and providing the object with a base isolation system.

Jerry Podany was probably the first cultural heritage conservator to worry about the seismic events and to work on mitigation measures for artefacts. His books and papers from workshops and symposiums represent an essential prerequisite to this study (Podany 1991; 2008; 2009; 2017).

In particular, the study of the dynamic responses of rigid bodies simply supported on horizontal planes has effectively made possible to address the protection of museum art objects. The first research to establish and solve the equations of motion

of a rigid body is due to Housner in 1963. His study was applied to understand the rocking behaviour of tall, slender structures, such as water tanks, subjected to horizontal ground motion. Housner discovered that there is a scale effect that makes this kind of structure more stable against overturning than might have been expected. Housner theory has also been recently applied to freestanding objects in multi-story buildings such as hospital equipment and computer servers (Petrone et al., 2017; Di Sarno et al., 2019), as well as, even more notably, to art objects in museums.

Several further analyses have been conducted in the past decades on the rocking response of rigid bodies. Aslam et al., (1978) carried out experimental tests and numerical analyses in which the rigid body was subjected to earthquake motion as well as to single pulse excitations. They concluded that the rocking problem is highly nonlinear and very sensitive to small changes, i.e. the rocking behaviour is very dependent on the boundary condition. Ishiyama, (1982) defined six types of motion, namely rest, slide, rotation, slide rotation, translation jump, and rotation jump. Overturning criteria were studied by considering frequency sweep tests with a variable amplitude as input. Ishiyama concluded that overturning criteria strictly depend on the peak ground velocity. Yim et al., (1980) studied the rocking response of rigid bodies subjected to earthquakes by means of a probabilistic approach. In particular, they numerically evaluated the rocking response by using artificially generated ground motions and also produced fragility curves. The study of the rocking behaviour of a freestanding rigid body under trigonometric pulses and near field ground motions was investigated in depth by Makris et al. (2000). They discovered that, as a matter of fact, a rigid body under sine-pulse can overturn during its free-vibration regime and not at the instant in which the pulse finishes, as assumed by Housner. Moreover, they found that smaller masses are more sensitive to the peak ground acceleration while larger blocks are prone to overturn because of the peak ground velocity. Zhang et al., (2001) established that a rigid body under cycloidal pulse can overturn by exhibiting either one or more collisions or without any collision. The former was called the first mode, whereas the latter the second mode. From the Overturning Acceleration Spectra, the authors deduced that the smaller is the frequency of the pulse to the rigid body's natural rocking frequency ratio, the bigger is the probability of the block to overturn by means of the first mode. On the contrary, a rigid body will overturn by way of the second mode. They concluded that the shape of this region strictly depends on the coefficient of restitution of the collisions and that the nonlinear nature of the problem complicates the development of a practical methodology to establish if a rigid body subjected to an earthquake survives or not. An in-depth study of the rocking response of rectangular rigid bodies under horizontal and vertical base acceleration was done by Taniguchi (2002). He considered four types of motion, namely rest, sliding, rocking, and slide-rocking, defining, for each type of motion, the initial and final conditions. In conclusion, Taniguchi realised

that the vertical component of the ground motion adds irregularities to the response and consequently it cannot be neglected. Peña et al., (2007) have carried out a total of 275 experimental tests on a shaking table in order to study the rocking response of four granite stones with different geometrical properties under free vibrations as well as harmonic and random motion. The main aim of their study was to compare the experimental results with two types of analyses, namely the method of complex coupled rocking rotations, and the discrete element method. Both models are extremely sensitive to the variation of the boundary conditions, mostly for the angle that measures the slenderness of the body. In fact, a small variation of this parameter produces huge differences in the responses. After a calibration of the experimental data with the theoretical parameters, the two kind of results agreed with each other. An extensive numerical investigation was done by Purvance et al., (2008). They analysed 34 symmetrical and 24 asymmetrical blocks subjected to 1440 excitations. The overturning fragility curves were compared with experimental tests using blocks having different aspect ratios and characterised by both simple and complex basal contact conditions. The results have shown that blocks with a complex basal contact condition are more fragile than the blocks with a simple basal contact. However, the nondestructive tests showed that blocks with complex basal overturn as well as the more slender blocks with simple contact conditions.

Although this is a well-known topic in the scientific literature, there have been many recent and significant developments, such as the derivation of closed-form solutions (Kounadis, 2015), the investigation on the role of the friction coefficient (Gesualdo et al., 2016; 2018a; 2018b), the influence of heavy masses on the rocking behaviour (Gesualdo et al., 2018c), the assessment of the existing protocols for shake table testing of freestanding objects (D'Angela et al., 2021a; 2021b), and the study of the seismic response of storage racks.

From the experimental point of view, recent researches aim at determining the friction coefficients between the rigid body and the base (Monaco et al., 2014) and the minimum horizontal acceleration required to activate rocking (Berto et al., 2021).

From the mathematical point of view, one can obtain a general estimation of an object's response to an earthquake-induced motion on the basis of Housner theory. The rocking response of freestanding art objects in a museum provides an essential guide to the design of damage mitigation measures, such as restraints and supports, known as mounts, since it allows one to classify the objects in generalised stability categories. The restraints and mounts have not only the function to securely hold an object in an unnatural pose, imposed for the sake of aesthetics or access, but also to prevent damage during an earthquake.

In the following sections, we show some ancient and modern techniques to protect freestanding art objects from seismic excitation, describing their advantages and disadvantages.

Restraint mechanisms and mounts

Assuming that rigid body's kinematics can generally describe the response of the building content, three basic response modes are experienced during an earthquake: moving with the support plane (known as full-contact), sliding and rocking. Obviously, a combination of these responses may also occur.

A large number of art objects belonging to collections can be considered as rigid bodies due to their limited height and deformability. The rocking response should be considered a failure mode because of the possible damages that collisions can cause to the art objects with the support. In addition, the rocking response can attain the limit state of overturning, what can lead to the collapse of the museum content. The sliding motion can also provide damage due to collisions with close objects, even if it is far easier to mitigate than rocking.

Since the building's response can often be controlled only to a limited extent, the best way to mitigate the seismic damage of the collection is to reduce the ground and building oscillations by means of strengthening, supporting, restraining or isolating the collection object. The response limitation of a freestanding object to earthquake motion is a well-known topic in protecting hospital equipment, electrical transformers, commercial store displays, etc.

Similar techniques in protecting museum artefacts by restraints and mounts are utilised. However, each artefact presents unique characteristics so that each technique must be customised to meet the aesthetic demands of exhibition environments.

Restraint mechanisms avoid sliding, rocking, and overturning of the freestanding museum object. However, in this way, the earthquake forces will be directly transferred to the object, and this could cause damage, depending on its degree of fragility. In some cases, if the object is too fragile, allowing it to slide without rocking or overturning, or introducing some form of base isolation, may be the preferred approach (Pellecchia et al., 2021a; 2021b). Sliding is achieved by lowering the coefficient of friction between the object and the support plane.

Restraining an object may also involve its connection to a larger and/or heavier mass so that the object assembly will have a more stable geometry and a favourably low centre of mass. An example is a large pedestal or a platform able to increase the footprint of a sculpture and hence increase the aspect ratio and lower the centre of mass of a small object. However, the vertical dynamic forces' magnitude will increase with the increasing object mass until it exceeds the compressive strength of the material or the object's structural integrity. Certainly, the restraint mechanisms need to be sufficiently strong to resist the dynamic forces of the earthquake event. In addition, they should be easily reversible whenever possible.

In this Section, we summarise some of the seismic mounts already described in (Podany, 2017). Consequently, the reader is asked to refer to the above-mentioned papers for a more comprehensive description and further details.

Stops and Clips

Stop restraints represent an easier way to avoid sliding of a small object having stable geometry, i.e. not prone to rocking and overturning. There must be at least three/four stop restraints with a sufficient height to restrict any tilt of the object as shown in Fig. 4, on the left, in which a vase restrained by three acrylic tabs is depicted. The use of acrylic may not be the best choice due to the stress concentration in the corner. Consequently, during earthquake motion, the restraints could be come loose, leaving the object unrestrained. For this reason, metal stop clips, padded at the object interface, would be preferable (Fig. 4, right).

Clips are tabs in which the shape is adapted to some part of the object to anchor, e.g. the foot rim of a vase or a statue support base, in order to restrain lateral and vertical movements. Placement, as well as the size and surface area of the clips, need to be designed to distribute the potential stresses to withstand the force imposed by the

Fig. 4 – Physical mounts and restrains: stops (left), clips (right) (Podany 2017).

Fig. 5 – Sculpture anchored by clips (Podany 2017).

object during the dynamic motion of the earthquake. In fact, failure of the object at the points where clips are located is the most significant potential damage. Medium- to large-scale sculpture can also be anchored using clips if the material's strength at the points where clips are located is esteemed to be sufficient, see e.g. Fig. 5.

Contour mounts

Contour mounts would be preferable when the stresses concentrated in the clips are too high due to the limited geometry. A contour mount is generally vertical, shaped to match the object's profile and has a padded surface to prevent abrasion.

The line's path should avoid sharp edges that could break during movements, and it should be in contact with an area of the object that is sufficiently strong. The mount's height should equal the centre of mass' height or a suitable point where the object can anchor with sufficient stability (Fig. 6, left). Clearly, the line needs to be sufficiently stiff to avoid any plastic deformation during the dynamic load. Two horizontal segments shaped to the circumference of the objects, named arms, can be used to limit the rotational movement around the vertical axis (Fig. 6, right).

Internal mounts

Mounts are designed to constrain the earthquake movement from the interior when the objects are hollow and there is sufficient space. Fig. 7 shows a complex stainless steel internal mount to support the cast bronze sculpture, distributing the gravity loads by the surfaces of the shoulders and, at the same time, constraining the sculpture's movement in all directions.

Fig. 6 – Contour mounts (Podany 2017).

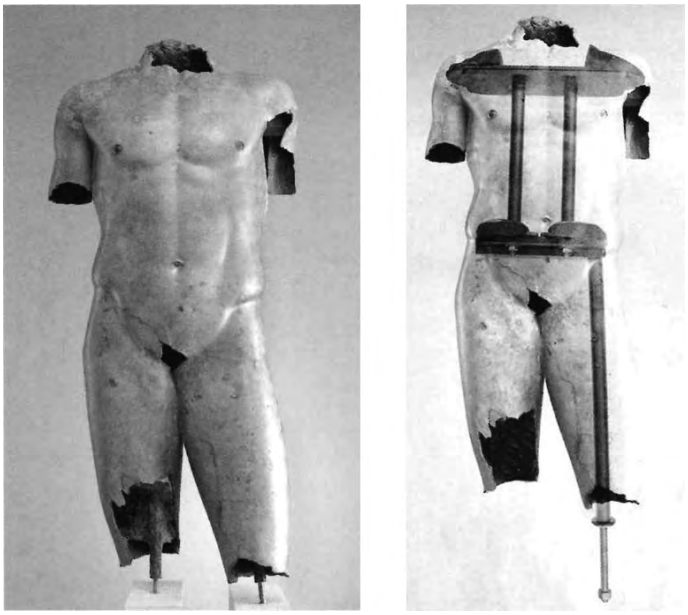


Fig. 7 – Internal mounts (Podany 2017).

Seismic isolation technique

The use of restraint mechanisms and mounts seen so far can avoid sliding, rocking motion or a combination of both. However, in the majority of cases, this technique cannot wholly eliminate the movements in all directions. A mount able to prevent movements in all directions would be so large and intrusive that it would compromise the aesthetic demand. In addition, the price to pay for the use of restraint mechanisms and mounts is that earthquake forces from the ground would be directly transferred to the object through the museum building structure. Hence, the art object needs to be sufficiently strong to resist seismic excitations. The base isolation technique can overcome this limit, protecting unstable or fragile art objects from earthquakes in all directions.

Base isolation is widely used in seismic engineering to protect civil structures and infrastructures from earthquakes. It limits the seismic energy transmitted to the building by eliminating the rigid connection between the ground and the building. Notably, some devices (named isolators) characterised by a reduced stiffness are added. In this way, the fundamental period of the isolated building will shift so as to not match the estimated dominant frequency content of the ground motion. The use of base isolation in museums in protecting freestanding art objects is currently unsatisfactory due to their costs and a lack of familiarity with the concept of isolation for small masses. However, the complete reversibility of base isolation and its lower

dependence on direct intervention on the object is of particular importance in the light of modern preservation ethics and guidelines.

Elastomeric isolators

Elastomeric isolators are one of the most popular types of isolation devices used for seismic protection. They have a circular or square cross section and are made of alternating layers of rubber and thin steel plates bonded together by a specific manufacturing process. The reinforcing elements prevent the lateral expansion of the elastomer due to the axial compressive load, whereas the elastomer material provides energy dissipation and flexibility.

The main categories of elastomeric bearings for seismic isolation applications are Low Damping Rubber Bearings, High Damping Rubber Bearings, and Lead Rubber Bearings. The last ones are generally characterised by one lead cylinder inserted in a vertical hole into the rubber bearings. The lead cylinder increases the horizontal stiffness in order to limit the horizontal displacements produced by the non-seismic horizontal loads, as well as the energy dissipation capacity.

High Damping Rubber Bearings are typically used in conjunction with other kinds of isolators (e.g. flat sliders, steel yielding devices, and viscous dampers), due to their limited damping capacity. These devices are used for the protection of some statues, such as the Greek bronze statue of the Dancing Satyr, made in the Hellenistic period, on display at the Dancing Satyr Museum (Mazara del Vallo, Italy), and the Roman bronze statue of the Emperor Germanico made in the 1st century AD and exposed at the archaeological Museum Edilberto Rosa (Amelia, Italy).

Anti-seismic marble basement

The Archeological Museum of Reggio Calabria has replaced the elastomeric isolators originally installed to protect the two Riace bronzes, known as “Bronze A the young” and “Bronze B the old”, with a complex anti-seismic marble basement *(De Canio, 2012)*. The need to replace the base isolation system is due to moving the two statues from the ground floor to the museum’s first floor due to the floor amplification of the earthquake accelerations. The new anti-seismic basement is made of marble from Carrara, composed of four spheres also made by marble and damping devices, known as Wire Rope Isolators, for horizontal displacement limitation. A vertical isolation system in the upper block of the basement is added since the system does not provide any isolation along the vertical direction, which is typical of most sliding-type designs (Fig. 8).

Conclusions

Generally, museum contents are not adequately protected from seismic excitations; hence, they can suffer extensive damages due to rocking and/or sliding and impact,

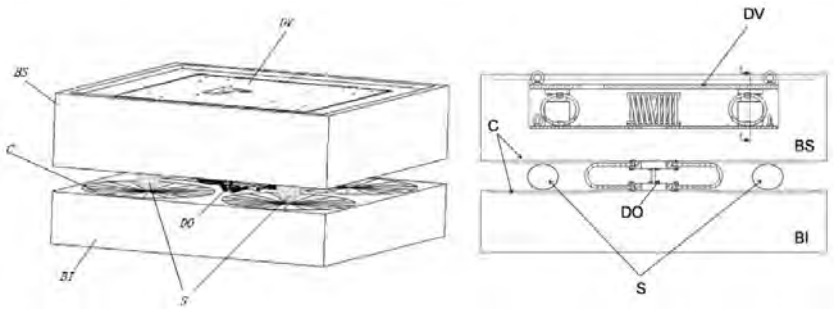


Fig. 8 – Marble anti-seismic basement. BI = marble lower block, S = marble spheres, DO= Horizontal displacement limitation and recentering device, BS = marble upper block, DV=vertical isolation device inserted in the BS upper block (De Canio, 2012).

what will result in significant losses. One of the primary causes of their collapse is the fact that they are freestanding, i.e. supported on a horizontal plane without any kind of constraints.

This paper has illustrated a documented review of the damage caused by some recent earthquakes to art objects preserved in museums. The first publications that have addressed this topic and a literature overview of the mathematical models generally used to describe art objects' behaviour have been reported.

The estimation of the rocking behaviour provides an essential guide to the design of damage mitigation measures. Consequently, this paper has presented some ancient and modern seismic mitigation techniques dedicated to artefacts that can reduce earthquakes' ground and building oscillations. Notably, we have first described some restraint mechanisms, such as restraints and supports, known as mounts, that can avoid sliding and rocking motion and then we have illustrated two typologies of base isolation, i.e. the Elastomeric Isolators described in a recent paper (Pellecchia et al., 2021) and the Anti-seismic marble basement used in the Archeological Museum of Reggio Calabria in protecting of the two Riace bronzes. Both isolation systems can overcome the limits of the restraint mechanisms without compromising the aesthetic demand required for art objects.

Bibliography

Agbabian M. S., Ginell W., Masri S. F., Nigbor R. 1991. Evaluation of earthquake damage mitigation methods for museum contents. Studies in Conservation, 36, 111–120.

Agbabian M. S., Masri S. F., Nigbor R. L. 1990. *Evaluation of seismic mitigation measures for art objects Getty seismic adobe project*. Los Anegles: J. Paul Getty Trust.

Aslam M., Godden W. G., Scalise D. T. 1978. Earthquake rocking response of rigid bodies (Tech. Rep. No. EERC 2003–07). Prepared for the Department of Energy under Contract W-7405-ENG-48.

Augusti G., Ciampoli M., Airoldi L. 1992. Mitigation of seismic risk for museum contents: an introductory investigation. In: *Proceedings of 10th World Conference on Earthquake Engineering*, 5995–6000.

Baggio S., Berto L., Rocca I., Saetta A. 2018. Vulnerability assessment and seismic mitigation intervention for artistic assets: from theory to practice. Engineering Structures, 167, 272-86.

Berto L., Meroi E., Rocca I., Saetta A. 2021. Rocking activation of free standing elements in real conditions: A safe experimentally based acceleration limit. Engineering Structures, 226(2), 111331.

D'Angela D., Magliulo G., Cosenza E. 2021a. Towards a reliable seismic assessment of rocking components. Engineering Structures, 230, 111673.

D'Angela D., Magliulo G., Cosenza E. 2021b. Seismic damage assessment of unanchored nonstructural components taking into account the building response. Structural Safety, 93, 102126.

De Canio G. 2012. Marble devices for the Base isolation of the two Bronzes of Riace: a proposal for the David of Michelangelo. In: *Proceedings of 15th World Conference on Earkquake Engineering*.

Di Sarno L., Magliulo G., D'Angela D., Cosenza E. 2019. Experimental assessment of the seismic performance of hospital cabinets using shake table testing. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 48(1), 103–123.

Gesualdo A., Iannuzzo A., Guadagnuolo M., Guerriero A., Monaco M., Savino M., Guadagnuolo M. 2016. Numerical analysis of rigid body behaviour. Applied Mechanics and Materials, 847, 240–247.

Gesualdo A., Iannuzzo A., Minutolo V., Monaco M. 2018a. Rocking of freestanding objects: Theoretical and experimental comparisons. Journal of Theoretical and Applied Mechanics (Poland), 56, 977–991.

Gesualdo A., Iannuzzo A., Monaco M. 2018b. Rocking behaviour of freestanding objects. Journal of Physics: Conference Series, 1141, 012091.

Gesualdo A., Iannuzzo A., Monaco M., Penta F. 2018c. Rocking of a rigid block freestanding on a flat pedestal. Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, 19(5), 331–345.

Housner G.W. 1963. The behavior of inverted pendulum structures during earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 53(2), 403–417.

Ishiyama Y. 1982. Motions of rigid bodies and criteria for overturning by earthquake excitations. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 10(5), 635–650.

Kounadis A. N. 2015. On the rocking sliding instability of rigid blocks under ground excitation: Some new findings. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 75, 246–258.

Lowry M., Armendariz D., Farrar B.J. and Podany J. 2008. Seismic mount making: a review of the protection of objects in the J. Paul Getty Museum from earthquake damage. In: *Advances in the Protection of Museum Collections from Earthquake Damage: Papers from a Symposium Held at the J. Paul Getty Museum at the Getty Villa*; Los Angeles: J.Podany, Getty Publications.

Makris N. and Roussos Y. S. 2000. Rocking response of rigid blocks under near-source ground motions. Géotechnique, 50(3), 243–262.

Monaco M., Guadagnuolo M., Gesualdo A. 2014. The role of friction in the seismic risk mitigation of freestanding art objects. Natural Hazards, 73(2), 389–402.

Parisi F., Augenti N. 2013. Earthquake damages to cultural heritage constructions and simplified assessment of artworks. Engineering Failure Analysis, 34, 735-760.

Pellecchia D., Sessa S., Vaiana N., Rosati L. 2020. Comparative Assessment on the Rocking Response of Seismically Base-Isolated Rigid Blocks. Procedia Structural Integrity, 29, 95-102.

Pellecchia D., Lo Feudo S., Vaiana N., Dion J-L., Rosati L. 2021a. A procedure to model and design elastomeric-based isolation systems for the seismic protection of rocking art objects. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1–18.

Pellecchia D., Lo Feudo S., Vaiana N., Dion J-L., Rosati L. 2021b. Seismic protection of cultural heritage artefacts by means of elastomeric isolators: a case study. In: *Proceedings of 8th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, 2446-2455.

Peña, F., Prieto, F., Lourenço, P. B., Campos Costa, A., and Lemos, J. V. 2007. On the dynamics of rocking motion of single rigid-block structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36(15), 2383–2399.

Petrone C., Di Sarno L., Magliulo G., Cosenza E. 2017. Numerical modelling and fragility assessment of typical freestanding building contents. Bulletin of Earthquake Engineering, 15(4), 1609–1633.

Podany J. 1991. Safeguarding a collection and building from natural hazards, in Perspectives on Natural Disaster Mitigation. In: *Proceedings of American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works Workshop* (J.K. Hutchins and B.O. Roberts), 51-67.

Podany J. 2008. Advances in the Protection of Museum Collections from Earthquake Damage. Papers from a Symposium Held at the J. Paul Getty Museum at the Getty Villa, Los Angeles: Getty Publications.

Podany J. 2009. *Never Forever: Assembly of Sculpture Guided by the Demands of Disassembly*. London: british Museum/Archetype Publications.

Podany J. 2017. *When Galleries Shake: Earthquake Damage Mitigation for Museum Collections*. Los Angeles: Getty Publications.

Purvance, M. D., Anooshehpoor, A., & Brune, J. N. 2008. Freestanding block overturning fragilities: Numerical simulation and experimental validation. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37, 791–808.

Spyrakos C.C., Maniatakis Ch.A., Taflampas I.M. 2008. *Assessment of seismic risk for museum artifacts*. In: *Proceedings of 14th World Conference on Earkquake Engineering*.

Taniguchi T. 2002. Non-linear response analyses of rectangular rigid bodies subjected to horizontal and vertical ground motion. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 31(8), 1481–1500.

Yim C.S., Chopra A. K., Penzien J. 1980. Rocking response of rigid blocks to earthquakes. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 8(6), 565–587.

Zhang J., Makris N. 2001. Rocking response of free-standing blocks under cycloidal pulses. Journal of Engineering Mechanics, 127(5), 473–483.

Webgraphy

[1] www.archaeologynewsnetwork.blogspot.com
[2] www.greece-is.com
[3] www.twitter.com/bestinheritage
[4] www.culturetourist.com

Marco Filippi

Genesi e sviluppo della disciplina "Fisica Tecnica Ambientale". 1975-2015

Genesis and development of the "Fisica Tecnica Ambientale" discipline. 1975-2015

Sommario
Fin dall'origine, con la legge Casati del 1859 che istituiva i Politecnici, nei corsi di studi in ingegneria-architettura fu prevista la presenza dell'insegnamento di "Fisica Tecnologica" o "Fisica Industriale". La disciplina contemplava originariamente nozioni e applicazioni di elettrotecnica, termodinamica e trasmissione del calore; solo successivamente, con la separazione dell'elettrotecnica, si consolidò la nuova denominazione di "Fisica Tecnica" e in essa trovarono spazio, oltre alla termodinamica e alla trasmissione del calore, anche l'acustica e l'illuminazione. Nella seconda metà degli anni '70 del Novecento iniziò a crescere in tutto il mondo occidentale la sensibilità verso una edilizia a basso consumo energetico e maturarono le condizioni per arricchire di contenuti la disciplina Fisica Tecnica, fino alla genesi di un nuovo settore scientifico-disciplinare, denominato "Fisica Tecnica Ambientale". In tale settore trovarono notevole sviluppo non solo i temi del risparmio energetico, del comfort termico e degli impianti di climatizzazione negli edifici, ma anche quelli della fisica dell'edificio, fra cui le tematiche di acustica e illuminazione fino ad allora relativamente trascurate nel contesto delle attività di ricerca e di insegnamento disciplinare. In questo lavoro l'Autore intende ripercorrere il cammino di crescita della Fisica Tecnica Ambientale nel periodo 1975-2015 non solo per narrarne la progressiva evoluzione e mettere in luce le peculiarità che le hanno consentito di assumere una precisa identità sul piano scientifico e didattico, ma anche per evidenziare che essa è divenuta sede di un insieme organico di conoscenze indispensabili per affrontare le tematiche della progettazione, della costruzione e della gestione degli edifici.

Abstract
Since the Casati law of 1859 established the polytechnic institutes, the courses of engineering-architecture studies included the teaching of "Technological Physics" or "Industrial Physics". Originally the discipline contemplated notions and applications

of electricity, thermodynamics and heat transfer; only later, with the separation of electrical engineering, the new name of *Fisica Tecnica* was consolidated and also issues of acoustics and lighting found room in it, in addition to thermodynamics and heat transfer. From the second half of the 70s of the twentieth century the sensitivity towards low energy consumption buildings began to grow throughout the Western world, the conditions for enriching the *Fisica Tecnica* discipline with new contents matured, up to the genesis of a new scientific-disciplinary sector, called *Fisica Tecnica Ambientale*. In this sector, therefore, not only the issues of energy saving, thermal comfort and HVAC systems in buildings found considerable development, but also those of building physics, acoustics and lighting, sectors until then relatively neglected in the context of research and disciplinary teaching activities. In this work the Author intends to retrace the path of *Fisica Tecnica Ambientale* in the period 1975-2015 not only to highlight its progressive evolution and the peculiarities that have allowed it to assume a precise identity on a scientific and didactic level, but also to highlight that it has become the seat of an organic set of knowledge indispensable for addressing the issues of design, construction and management of buildings.

Le radici della Fisica Tecnica Ambientale

Con la legge Casati del 1859, che istituì i Politecnici, fu introdotto nei corsi di studi in ingegneria-architettura l'insegnamento di "Fisica Tecnologica" o "Fisica Industriale", considerato insegnamento fondamentale per coloro che dovevano essere costruttori di infrastrutture e di edifici e dovevano essere formati al progetto, alle verifiche di calcolo e all'esecuzione delle opere. La disciplina contemplava originariamente nozioni e applicazioni di elettrotecnica, termodinamica e trasmissione del calore; solo successivamente, nel 1889, con la separazione dell'elettrotecnica, si consolidò la nuova denominazione di "Fisica Tecnica" e in essa trovarono spazio, oltre alla termodinamica e alla trasmissione del calore, anche l'acustica e l'illuminazione.

Ciò che caratterizzò fin dalle origini la metodologia scientifica della Fisica Tecnica è espresso a chiare lettere in (Cocchi, 2019), laddove si afferma che «…la natura va anche letta, interpretata, interrogata, per scoprire le leggi che ne governano i fenomeni, o meglio le proporzioni matematiche fra di essi. Per ottenere questo risultato, occorre associare ad ogni fenomeno un numero: per fare ciò in maniera non arbitraria è necessario quindi procedere alla quantificazione dei fenomeni stessi, cioè eseguire misurazioni sperimentali. Misura e controllo sperimentale delle correlazioni ottenute utilizzando lo strumento matematico costituiscono proprio la base della metodologia di ricerca scientifica che in seguito si svilupperà anche in tutti i gabinetti italiani di Fisica Tecnica».

Nel secondo dopoguerra del secolo scorso, grazie all'interazione con diverse altre discipline caratterizzanti gli studi e le ricerche nel settore dell'ingegneria industriale,

dell’ingegneria civile e dell’architettura, la disciplina Fisica Tecnica si arricchì di diversificati sviluppi applicativi e proporzionalmente crebbe il numero di professori e ricercatori.

Dalla seconda metà degli anni ’70, a seguito della crisi di approvvigionamento petrolifero del 1973, iniziò a crescere in tutto il mondo occidentale la sensibilità verso una edilizia a basso consumo energetico e maturarono le condizioni per arricchire di contenuti la disciplina Fisica Tecnica, fino alla genesi di un nuovo settore scientifico-disciplinare, denominato “Fisica Tecnica Ambientale”, particolarmente dedicato ad approfondire argomenti riguardanti prima il risparmio energetico in edilizia e poi, dall’inizio degli anni ’90, più in generale la sostenibilità energetica e ambientale degli edifici. In tale settore trovarono notevole sviluppo non solo i temi dell’energetica edilizia, del comfort termico e degli impianti di climatizzazione, ma anche quelli della fisica dell’edificio, fra cui le tematiche di acustica e illuminazione fino ad allora relativamente trascurate nel contesto delle attività di ricerca e di insegnamento disciplinare.

Una importante occasione di aggregazione a scala nazionale e di sviluppo della ricerca scientifica fisico tecnica fu certamente costituita dalla partecipazione ai programmi finalizzati del Consiglio Nazionale delle Ricerche-CNR, quali il Progetto Finalizzato Energetica, che si svolse in due successive edizioni, il PFE1 dal 1976 al 1981, e il PFE2 dal 1983 al 1989 e, sia pure in misura minore, il Progetto Finalizzato Edilizia, dal 1989 al 1995. In tali progetti vennero forniti contributi assai importanti in termini sia qualitativi che quantitativi e all’interno del settore scientifico disciplinare venne a formarsi una comunità di ricercatori particolarmente interessati alle applicazioni connesse all’ingegneria civile e all’architettura, oltre che all’ingegneria meccanica nelle sue applicazioni rivolte all’edilizia, specificamente l’impiantistica per la climatizzazione.

La partecipazione ai progetti finalizzati fu accompagnato dalla pubblicazione di numerosi contributi scientifici apparsi su riviste nazionali e internazionali, oltre alla produzione di migliaia di documenti. Le attività di ricerca riguardarono le fonti energetiche rinnovabili e non (carbone, biomasse, residui e rifiuti, biotecnologie, energia solare, energia eolica, energia idraulica, energia geotermica), l’impatto ambientale, l’agricoltura e la zootecnia, il risparmio di energia negli edifici e nell’industria, il teleriscaldamento, le turbine e i compressori, l’energia elettrica, gli aspetti giuridici e normativi.

In tale contesto, larga parte del finanziamento fu dedicata al risparmio energetico negli usi finali, intesi come edifici, industria e altri usi terziari, nonché al teleriscaldamento e ai problemi di trasporto e accumulo dell’energia. Così come affermò Mario Silvestri nella sua relazione sugli esiti del Progetto Finalizzato Energetica del 1991, per quanto riguarda il risparmio di energia negli edifici (sottoprogetto RERE) «È stato costruito un esauriente quadro generale del consumo energetico nel processo costruttivo degli edifici, premessa necessaria per avviare l’opera di sensibilizzazione

degli operatori al risparmio. Per l'analisi energetica del processo gestionale sono stati esaminati circa 2.500 edifici, costituenti un campionario rappresentativo del settore residenziale in Italia. Dall'insieme dei dati sono state ricavate indicazioni quantitative per l'aggiornamento della normativa italiana cogente e volontaria. Per quanto riguarda gli edifici bioclimatici è stata effettuata una dettagliata analisi tecnica ed economica di quelli finora costruiti in Italia; sono stati sviluppati codici di simulazione pronti per l'utilizzo da parte degli operatori del settore. Per quanto attiene all'isolamento termico è stato affrontato il problema del risanamento energetico degli edifici esistenti anche con il supporto di verifiche al calcolatore delle prime stime di risparmio conseguiti. Sono state inoltre condotte ricerche sul risparmio di energia nell'illuminazione, negli elettrodomestici, nel ricambio d'aria degli edifici. Sono stati infine condotti studi su componenti di impianto e impianti sperimentali avanzati: caldaie a condensazione, pompe di calore ad alta efficienza, bruciatori fibroceramici, recuperatori di calore innovativi, scambiatori di calore atmosferici in gomma, dispositivi di regolazione e contabilizzazione del calore ecc.» (Silvestri, 1991).

Alla fine degli anni '80 al settore scientifico disciplinare della Fisica Tecnica si trovavano ad afferire ricercatori con interessi di ricerca alquanto differenziati cui corrispondevano insegnamenti specifici con diverse denominazioni, quali, prevalentemente: Termodinamica Applicata, Trasmissione del Calore, Energetica, Impianti Termotecnici, Misure Termiche, Tecnica del Controllo Ambientale, Tecnica del Freddo, Acustica Applicata, Illuminotecnica.

Da un lato era riconoscibile un settore di ricerca "industriale" che raggiungeva importanti risultati soprattutto nel campo energetico, in tema di trasformazioni e processi di conversione energetica, e nel campo della trasmissione del calore, in tema di modelli agli elementi finiti, studi sulla turbolenza, coefficienti di scambio termico dei fluidi bifase, intensificazione dello scambio termico in scambiatori di calore, raffreddamento dei componenti elettronici e nuovi materiali per l'isolamento termico. Dall'altro era invece riconoscibile un settore di ricerca "ambientale" che approfondiva le problematiche percettive dell'essere umano in ambienti termici, acustici e luminosi, la qualità dell'aria negli edifici, le tecniche di controllo delle grandezze fisiche in ambienti confinati, la conservazione dei beni culturali, le problematiche energetiche connesse alle costruzioni edilizie e alle loro dotazioni impiantistiche.

Nacquero così i settori scientifico disciplinari della Fisica Tecnica Industriale e della Fisica Tecnica Ambientale, pur mantenendo intatta l'unità dei due ambiti disciplinari nel contesto di un solo settore concorsuale, a memoria e conferma della stessa matrice culturale.

La sviluppo della Fisica Tecnica Ambientale

Qui di seguito si evidenziano sinteticamente i principali argomenti di ricerca che, progressivamente, sono andati a caratterizzare la disciplina della Fisica Tecnica Am-

bientale nel periodo temporale considerato (1975-2015): l’energetica edilizia, la fisica dell’edificio, il rapporto fra l’uomo e l’ambiente circostante, la conservazione dei beni culturali, l’acustica e l’illuminazione, nonché le tecnologie edilizie e impiantistiche ad essi correlate.

L’energetica edilizia e la fisica dell’edificio

Alla fine degli anni ’70 in Italia, in conseguenza del rialzo dei prezzi sul mercato petrolifero avvenuto dopo il 1973, si arrivò a stabilire, quale vincolo di legge, la massima potenza termica installabile per il riscaldamento invernale degli edifici in funzione del loro volume e del loro rapporto di forma e, di conseguenza, cominciarono ad avere un significativo sviluppo gli studi per migliorare l’isolamento termico degli involucri edilizi, nuovi ed esistenti, per determinare le prestazioni termiche in laboratorio e in opera dei materiali isolanti, nonché per individuare soluzioni atte a evitare i problemi di condensazione interstiziale nelle pareti multistrato e i dannosi effetti dei ponti termici provocati dall’impiego di involucri edilizi isolati termicamente in parete corrente.

Successivamente, nell’ambito dei già citati progetti PFE1 e PFE2, non pochi ricercatori si dedicarono ad approfondire le tematiche del risparmio energetico riguardanti il riscaldamento e la ventilazione degli edifici e, più in generale, a investigare le soluzioni impiantistiche ritenute appropriate per un controllo ambientale a basso consumo di combustibili fossili e a basse emissioni di gas climalteranti. Allo scopo furono sviluppati e testati modelli numerici sempre più complessi, utili per interpretare i fenomeni di trasmissione del calore in geometrie bi- e tri-dimensionali, e si raggiunsero interessanti risultati nello sviluppo di software per la previsione dei fabbisogni energetici e per la simulazione termoenergetica dei sistemi edificio-impianto di climatizzazione. Iniziò dunque un intenso lavoro di normazione nel settore dell’energetica edilizia, di cui furono testimonianza le pubblicazioni di guide ai dati climatici, ai parametri caratteristici degli involucri edilizi e alla progettazione energetica degli edifici.

A partire dalla fine degli anni ’80, grazie allo sviluppo dei suddetti software, avvenne un importante e irreversibile cambiamento nelle modalità di calcolo energetico degli edifici: si passò dal calcolo della potenza termica per riscaldamento invernale in condizioni di progetto, espressa in kilowatt, in coerenza con la pratica progettuale relativa al dimensionamento dell’impianto di riscaldamento, al calcolo del fabbisogno termico annuo previsto per climatizzazione invernale ed estiva, espresso in kilowattora, al netto degli apporti energetici gratuiti di origine endogena ed esogena, e, successivamente, al calcolo, in forma analitica, di altri fabbisogni energetici annui come quelli termici per produzione di acqua calda sanitaria e quelli elettrici per ventilazione e illuminazione. Così si arrivò a prevedere la domanda energetica complessiva di un edificio in esercizio.

A partire dagli anni ’90 risultò ancora più evidente il contributo che la neonata Fisica Tecnica Ambientale poteva dare al settore dell’edilizia: in collaborazione con i produttori di involucri edilizi, i ricercatori fisico tecnici si dedicarono a studiare il comportamento termoenergetico e luminoso di involucri edilizi vetrati a doppia pelle e ventilati, di coperture verdi, di schermature solari statiche e dinamiche e di componenti di involucro edilizio “reattivi”, anche noti come *responsive*, e integrati con i sistemi di climatizzazione; mentre, in collaborazione con i produttori di pannelli solari termici e fotovoltaici e di pompe di calore con sorgenti a bassa temperatura aerotermiche, idrotermiche o geotermiche, essi contribuirono in modo determinante a definire le modalità di valutazione degli apporti energetici di tali dispositivi anche alla luce del del D.Lgs. 28/2011 che stabiliva obblighi relativi alle percentuali di fabbisogno energetico degli edifici che dovevano essere coperte da impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili.

Si gettarono così le fondamenta culturali, oltre che tecniche, per arrivare ad introdurre, prima nella direttiva europea e poi nella legislazione italiana con il D.M. 26 giugno 2015 del Ministero dello Sviluppo Economico, il concetto di *nearly Zero Energy Building*, un edificio progettato per consumare pochissima energia per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione e in grado di soddisfare i propri fabbisogni energetici quasi esclusivamente grazie all’apporto di energie rinnovabili. Con tale definizione, oltre ai limiti sul consumo di energia dell’edificio e sulle trasmittanze termiche degli elementi disperdenti, si introdussero vincoli sugli indici di prestazione termica utile da confrontare con i valori limite dell’edificio di riferimento, sul coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione dell’involucro, sull’area solare equivalente estiva per unità di superficie utile e sui rendimenti degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva e di produzione dell’acqua calda sanitaria.

Il rapporto fra l’uomo e l’ambiente e la conservazione dei beni culturali

«L’uomo è la misura di tutte le cose» (Platone, 2011) e ciascun essere umano è misura delle sue sensazioni, siano esse di natura termica, visiva, acustica, gustativa, olfattiva o tattile.

La comprensione delle modalità con cui l’essere umano valuta le caratteristiche fisiche del mondo empirico da lui percepite, la temperatura di un ambiente, un rumore, un odore o il colore di un oggetto, è stata fin dalle origini al centro degli interessi della disciplina Fisica Tecnica che nel suo evolversi ha definito teorie generali e adottato nuove unità di misura, dal decibel al lumen, nell’ottica di elaborare una metrologia del benessere in grado di traslare i valori delle grandezze fisiche che descrivono l’ambiente fisico che circonda un individuo in valori di intensità di sensazione[1].

Le ricerche riguardanti le condizioni ambientali per il comfort termico e la qualità dell’aria negli ambienti costruiti ebbero un significativo sviluppo proprio a partire dalla metà degli anni’70, quando Fanger (Fanger, 1972) propose una teoria raziona-

le del comfort termico nel suo fondamentale volume *Thermal Comfort*, teoria che relazionò in modo geniale i valori delle grandezze fisiche caratterizzanti l’ambiente termico con la sensazione di caldo o di freddo provata dall’essere umano.

Da allora alcuni ricercatori italiani orientarono le proprie ricerche nel verificare la validità della teoria di Fanger e nell’approfondirne i vari aspetti con essa correlati. Essi svilupparono tecniche di misura sperimentale delle grandezze ambientali in ambienti vissuti, prevalentemente scuole, università, ospedali e ambienti a uso ufficio, elaborarono e somministrarono questionari per il rilevamento della qualità percepita dagli occupanti e contribuirono a elaborare la normativa europea in tema di ergonomia degli ambienti termici, dalla strumentazione per la misurazione delle grandezze fisiche alla definizione delle scale di giudizio soggettivo, dalla determinazione dell’isolamento termico e della resistenza evaporativa dell’abbigliamento all’interpretazione degli indici di benessere termico.

Analoghe approfondite attività di ricerca furono svolte con riferimento al problema della qualità dell’aria negli ambienti interni, in relazione alle tematiche di salubrità e di percezione degli odori, e negli anni ’90 gli studi sulla concentrazione degli inquinanti indoor, unitamente a quelli sulle condizioni per il comfort termico, svolsero un ruolo importante nell’indirizzare l’evoluzione dei sistemi impiantistici per la climatizzazione e per la ventilazione degli ambienti. Ne trassero profitto, ad esempio, le tecniche per la diffusione dell’aria negli ambienti, dalla perfetta miscelazione alla *displacement ventilation*, e quelle per il riscaldamento e il raffrescamento, dai terminali convettivi ai pannelli radianti, tecniche che furono validate anche attraverso l’impiego di modelli numerici termo-fluidodinamici sempre più evoluti e con esiti caratterizzati da suggestive rappresentazioni grafiche tridimensionali.

Quasi spontaneamente l’esperienza che man mano si accumulò negli strumenti e nelle tecniche di misura di grandezze fisiche quali la temperatura, l’umidità relativa e la concentrazione di inquinanti nell’aria in ambienti costruiti portò a una riflessione sull’effetto che i valori assunti da tali grandezze avevano sulla conservazione nel tempo dei manufatti di varia natura conservati in musei, archivi e biblioteche, trovando favorevole accoglienza da parte dei responsabili delle collezioni e degli storici dell’arte[2]. Si studiarono dunque i fenomeni di degrado dei materiali che li costituivano, le condizioni ambientali ottimali per rallentare il degrado in base alle indicazioni provenienti dai responsabili delle collezioni e le tecniche passive e attive atte a conservare i beni culturali mobili in vetrine e bacheche.

Le attività di ricerca in argomento non furono limitate alla conservazione dei beni culturali mobili collocati in luoghi dedicati al deposito e all’esposizione al pubblico, ma si estesero anche alla conservazione di affreschi, pitture murali, reperti archeologici ed elementi edilizi di pregio presenti in edifici religiosi e dimore di valore storico-artistico e, più in generale, alla conservazione delle costruzioni antiche e alle soluzioni per il controllo del clima che in esse si verifica[3].

L'acustica

Negli stessi anni ebbero grande vantaggio dallo sviluppo dei modelli di calcolo numerico anche i settori dell'acustica e dell'illuminazione.

Fece passi da gigante l'acustica architettonica, che ebbe la possibilità non solo di arrivare a calcolare con precisione i parametri caratteristici dell'ascolto della parola e della musica in tutti i tipi di ambienti, da un auditorium a un ambiente produttivo, ma anche di visualizzare nella fase di progetto, con rappresentazioni tridimensionali, la propagazione del suono e gli esiti della messa in opera di superfici interne con diverse caratteristiche di assorbimento acustico e di *scattering* e, soprattutto, grazie alle tecniche di auralizzazione, di riprodurre in fase progettuale le sensazioni di ascolto che gli uditori avrebbero avuto nell'ambiente reale.

A scala territoriale lo sviluppo di metodi e di strumenti di modellazione numerica consentì di verificare l'impatto acustico di impianti industriali, ferrovie, autostrade e di studiare l'efficacia di barriere acustiche allo scopo progettate.

Nel contempo furono realizzate strutture sperimentali utili sia per la valutazione del fonoisolamento di pareti e solai multistrato sia per la valutazione del disturbo sonoro prodotto da componenti impiantistici.

La strumentazione acustica diventò sempre più precisa, ma anche facile da usare e più economica. L'analisi dei segnali ebbe una notevole evoluzione, con il risultato che la caratterizzazione acustica degli ambienti divenne più rapida, sostituendo, ad esempio, con lo *sweep* in frequenza, cioè un segnale composto da un tono puro la cui frequenza aumenta nel tempo con un certo andamento, il tradizionale metodo di misura del tempo di riverberazione di un locale mediante un rumore stazionario interrotto.

L'illuminazione

Nel quarantennio preso in considerazione notevole evoluzione ebbero anche le attività di ricerca nel settore dell'illuminazione.

Lo sviluppo di modelli di calcolo numerico e le misure effettuate sia in ambienti reali che in modelli in scala portarono alla messa a punto di software per la simulazione dinamica dell'illuminazione naturale su base annua e consentirono, da un lato, di valutare il fenomeno dell'illuminazione naturale nei suoi aspetti energetici, in connessione con la tematica dell'energetica edilizia, e, dall'altro, di introdurre nuove metriche di valutazione dell'illuminazione naturale negli edifici, in connessione con la tematica della percezione visiva.

La diffusione dei modelli di calcolo numerico consentì anche di definire e normalizzare modelli di cielo per lo studio dell'illuminazione naturale, di determinare formati standard per la digitalizzazione dei dati fotometrici di sorgenti e apparecchi luminosi e quindi di introdurre algoritmi di rappresentazione tridimensionale basandosi su tecniche di *ray tracing*, un metodo che si basa sul calcolo del percorso fatto dalla luce seguendo i raggi e considerando la loro interazione con le diverse superfi-

ci, e di tecniche basate sulla *radiosity*, un metodo di calcolo agli elementi finiti che considera le superfici perfettamente diffusive, trasferito a metà degli anni ’80 dagli studi sulla trasmissione delle radiazioni termiche.

Degni di evidenza sono anche gli studi che riguardarono la relazione luce-essere umano: da quelli sulla prestazione visiva che hanno portato allo sviluppo di modelli di prestazione visiva relativa e alla valutazione del fenomeno dell’abbagliamento molesto con l’indice Unified Glare Rating-UGR o causato dalla luce naturale con l’indice Daylight Glare Probability-DGP), a quelli più recenti che, a seguito dell’individuazione di nuovi fotoricettori che determinano effetti non visivi, hanno aperto nuovi filoni di ricerca riguardanti gli effetti dell’illuminazione su salute e benessere visivo.

Il consolidamento della disciplina Fisica Tecnica Ambientale a livello nazionale e internazionale

Di fatto nei quarant’anni anni trascorsi fra il 1975 e il 2015 si è assistito in Italia a una entusiasmante e stimolante “esplosione culturale” della disciplina Fisica Tecnica Ambientale che, uscita dalle università e dai centri di ricerca dove ha continuato e continua) a crescere, è divenuta una delle anime del processo di innovazione che negli stessi anni ha riguardato la cultura progettuale della costruzione edilizia, cioè la sostenibilità energetica e ambientale.

Peraltro gli argomenti trattati in tale disciplina hanno trovato una progressiva sistematizzazione, anche perché i ricercatori italiani hanno avuto modo di confrontarsi con i colleghi di altri Paesi europei ed extra-europei nei quali si è assistito, dalla seconda metà degli anni ’70, a un analogo sviluppo delle attività di ricerca e di formazione nel medesimo settore.

Grazie all’impressionante e costante sviluppo delle tecniche di modellazione numerica e delle tecniche di rappresentazione bi- e tri-dimensionale, dal 1985 si svolgono con cadenza biennale i convegni della International Building Performance Simulation Association-IBPSA, che riunisce ricercatori, professionisti e sviluppatori di software intorno al calcolo previsionale delle prestazioni energetiche degli edifici e alla simulazione dei fenomeni termici, acustici, luminosi e di diffusione dell’aria negli ambienti confinati.

Nel 1992 a Montreal, in Canada, si svolse la prima conferenza internazionale dell’associazione Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings-IAQVEC dedicata al miglioramento della qualità degli ambienti interni e all’efficienza energetica in edilizia; la prossima conferenza si svolgerà nel 2022 a Dalian, in Cina.

Nello stesso anno fu fondata l’International Society of Indoor Air Quality & Climate-ISIAQ, con lo scopo di supportare la realizzazione di ambienti interni salubri e confortevoli; nel 2021 si è tenuta a Oslo, in Norvegia, la conferenza biennale *Healthy Buildings Europe* che si alterna con la conferenza *Indoor Air*, la cui diciassettesima edizione si terrà nel 2022 a Kuopio, in Finlandia. La conferenza di Oslo ha riguardato

le tecniche per evitare la diffusione di inquinanti biologici negli edifici, anche alla luce della pandemia dovuta al virus SARS-CoV-2, la decarbonizzazione e i metodi di valutazione dell'energia e delle emissioni di gas con effetto serra nei materiali da costruzione, l'incremento dell'automazione e delle tecnologia IOT negli edifici nZEB, la regolamentazione edilizia finalizzata a migliorare la qualità dell'aria e il clima nelle città.

Nell'agosto del 2021 si è svolta a Copenhagen, sotto l'egida della *International Association of Building Physics*-IABP, l'ottava edizione della *International Building Physics Conference*, che dal 2000 riunisce con cadenza triennale ricercatori, professionisti e docenti di tutto il mondo; le sessioni plenarie di quest'ultima conferenza sono state dedicate a *Bio-based materials - benefits and challenges*, *How the COVID-19 pandemic will reshape the built environment* e *Circular economy and reuse of materials.*

Per non parlare delle periodiche conferenze organizzate dalle grandi associazioni internazionali che, nate nei primi anni del secolo scorso, raccolgono ricercatori e professionisti specializzati nei settori dell'illuminazione e dell'acustica quali l'*Illuminating Engineering Society*-IES, dal 1906, la *Commission Internationale de l´Eclairage*-CIE, dal 1913, e l'*Acoustical Society of America*-ASA, dal 1929.

La stessa Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, l'AiCARR, nata nel 1960 come associazione di tecnici e accademici interessati alle problematiche impiantistiche, le associazioni europee consorelle riunite nella federazione europea REHVA e l'equivalente associazione statunitense, l'*American Society of Heating Refrigeration Air conditioning Engineers*-ASHRAE, hanno man mano esteso il loro campo di interesse dai soli impianti di climatizzazione ai sistemi edificio-impianto e attualmente tali associazioni propongono seminari e convegni incentrati, oltre che sull'innovazione delle tecnologie impiantistiche, anche sulle tecnologie edilizie e sulla riqualificazione energetica degli edifici esistenti ai fini del risparmio energetico, sull'utilizzo delle fonti rinnovabili e, più in generale, sul benessere negli ambienti confinati a largo spettro. La vision di ASHRAE è oggi così dichiarata:«*A healthy and sustainable built environment for all*» [1].

In relazione alla tumultuosa crescita delle attività di ricerca nel settore della Fisica Tecnica Ambientale, a partire dagli anni '90 sono nate e hanno trovato rapida diffusione numerose riviste internazionali che hanno accolto i lavori dei ricercatori, fra esse si possono citare, a solo titolo di esempio: *Building and Environment*, *Indoor Air, Indoor and Built Environment*, *Journal of Building Physics* per la Fisica dell'edificio; *Energy and Buildings*, *Solar energy*, Journal of *Building Performance Simulation* per l'Energetica edilizia, il Comfort termico e la Qualità dell'aria interna; *Acta Acustica*, *Applied Acoustics*, *Journal of Acoustical Society of America* per l'Acustica; *Light Research and Technology*, *Leukos* per l'Illuminazione.

Parallelamente i risultati della ricerca sono stati traslati in un articolato insieme di testi normativi che hanno avuto la funzione di vincolare i livelli di prestazione degli

edifici e degli impianti al loro servizio, come, ad esempio, il corpus di norme europee connesse alla *Energy Performance of Buildings Directive*-EPBD, gli standard dell’*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*-ASHRAE, ma anche i protocolli di certificazione dedicati alla sostenibilità nelle costruzioni edilizie come, ad esempio, BREEAM-*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*, LEED-*Leadership in Energy and Environmental Design* e *WELL Building Standard*-WELL.

A solo titolo di esempio della diffusione mondiale, fra i numerosi e prestigiosi centri di ricerca che coltivano gli argomenti propri della Fisica Tecnica Ambientale, se ne citano tre, uno europeo, uno statunitense e uno cinese, che hanno svolto un ruolo significativo negli anni presi in considerazione:

– l’unità *Building Physics & Services-BPS*, presso l’Eindhoven University of Technology, che studia in particolare gli edifici a bassissimo consumo energetico e a bassissime emissioni di gas climalteranti, gli *energy-neutral and climate-neutral buildings* con l’obiettivo di supportare lo sviluppo di insediamenti edilizi con generazione di energia in prossimità dell’utente finale, combinando la produzione di energia da fonti rinnovabili con l’accumulo di energia e le tecnologie di controllo smart. Il programma di ricerca dell’ente è articolato su sei settori di ricerca interdisciplinare: *Building Acoustics*, *Building Lighting*, *Building Materials*, *Building Performance*, Building Physics (compresi *Urban Physics and Building Physics of Monuments*) e Building Services (compreso *Integral Design*);
– l’unità *Indoor Environment* al Lawrence Berkeley National Lab-LBNL, che si occupa prevalentemente di ricerche finalizzate alla salubrità e al miglioramento dell’efficienza energetica negli ambienti costruiti. In particolare il laboratorio lavora su una più approfondita conoscenza delle fonti di inquinamento interne agli edifici e delle loro dinamiche, studiando soluzioni innovative di ventilazione e di purificazione dell’aria con un approccio multidisciplinare. Le aree di ricerca su cui l’ente è focalizzato sono: *Healthy Homes*, *Commercial Buildings*, *Health and Productivity*, *Ventilation and Air Cleaning*, *Pollutant Sources and Exposures*, *Smoking and Vaping*, *Air Quality Sensors*, *Chem-Bio Preparedness*, *Cookstove*;
– il *Department of Building Technology and Science* presso la Tsinghua University, nato nel 2000 unendo le competenze facenti capo alla tecnologia edilizia, all’energetica edilizia e all’ingegneria della climatizzazione, che ha assunto in Cina un ruolo guida negli studi riguardanti argomenti quali l’efficienza energetica degli edifici, la qualità degli ambienti confinati e le costruzioni sostenibili.

Conclusione

L’evoluzione della disciplina Fisica Tecnica nei quarant’anni trascorsi a partire dalla metà degli anni ’70 del secolo scorso hanno dimostrato non solo la forza della disciplina stessa in termini metodologici, ma anche la sua vitalità e versatilità in termini applicativi.

In particolare, la gemmazione da essa della Fisica Tecnica Ambientale è stata di fondamentale importanza per la formazione universitaria degli ingegneri e degli architetti che si occuperanno nella loro vita professionale di progettare, costruire e gestire gli edifici e i sistemi urbani, poiché non vi è dubbio alcuno che i metodi di previsione del comportamento in opera di opzioni tecnologiche diverse, le procedure di modellazione fisico-matematica dei problemi ai fini di un approccio razionale e deterministico e le procedure per l'analisi strumentale del costruito ai fini di una valutazione oggettiva degli esiti del processo edilizio costituiscono un quadro sistematico di conoscenze che garantisce la visione di insieme, la duttilità nell'interpretazione dei fenomeni e l'attenzione nei confronti delle diverse valenze dell'operare progettuale.

L'attuale declaratoria del settore scientifico disciplinare ING-IND 11 "Fisica Tecnica Ambientale" è la seguente: «Fondamenti e applicazioni della Fisica Tecnica negli ambiti dell'ingegneria civile, edile ed ambientale, dell'architettura, della pianificazione territoriale e del disegno industriale. L'approfondimento scientifico caratteristico riguarda i fondamenti della termodinamica, della termofluidodinamica, della trasmissione del calore, dell'illuminazione e dell'acustica, nonché l'uso razionale dell'energia, l'impiego delle fonti energetiche rinnovabili e le tecniche di gestione dei servizi energetici negli edifici e nei contesti urbani. In particolare vi trovano corretta collocazione studi e sperimentazioni relativi alla fisica degli edifici e degli ambienti confinati, al rilevamento ed elaborazione dei dati ambientali, all'energetica edilizia, alla termofluidodinamica ambientale, alle tecniche e alle tecnologie per l'illuminazione naturale e artificiale, all'acustica edilizia e ambientale, alle problematiche di comfort ambientale e di conservazione dei beni culturali, alle strategie passive e attive di controllo ambientale, agli impianti di climatizzazione. Sono attinenti al sottosettore le tematiche fisico-tecniche correlate alla pianificazione energetica ed ambientale, nonché le metodologie di diagnosi e le tecniche di mitigazione degli impatti ambientali, inclusi quello luminoso e quello acustico».

La Fisica Tecnica Ambientale fornisce dunque gli strumenti conoscitivi necessari per la comprensione degli aspetti funzionali dei sistemi edificio-impianti che sono alla base del concetto di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici, infatti

- viene studiato il rapporto fra l'uomo e l'ambiente fisico al fine di determinare le condizioni che ne preservano la salute e ne garantiscono il benessere, considerando gli aspetti termici, acustici, visivi e di qualità dell'aria;
- vengono studiati i fenomeni termofluidodinamici, acustici, luminosi che si verificano negli ambienti confinati, anche in presenza di climatizzazione e di illuminazione artificiale;
- vengono studiate le tecnologie edilizie e impiantistiche finalizzate a minimizzare i consumi di energia e a promuovere l'impiego di energie rinnovabili;
- vengono sviluppate le competenze per la misura delle grandezze energetiche e ambientali caratterizzanti l'ambiente costruito e per la gestione dell'energia negli edifici.

Bibliografia

Andreini P.A. 1994. Il contributo culturale della Associazione Termotecnica Italiana e del Comitato Termotecnico Italiano. In: *La termodinamica e la termocinetica nelle scuole di ingegneria,* Atti dell’Accademia delle Scienze di Torino, 128(supp. 2), 113-124.

Cocchi A. 2019. La Fisica Tecnica e il suo Gabinetto nell’ateneo bolognese: le origini, la struttura, le ricerche gli uomini. In: *Nascita e sviluppo dell’Ingegneria all’Università di Bologna*, 91-110, Bologna:, Bononia University Press.

Codegone C. 1970. Contributo alla storia della fisica tecnica in Italia. Atti del XXV Congresso Nazionale dell’Associazione Termotecnica Italiana, 21-21 settembre, Trieste, 31-37.

Fanger P.O. 1972. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill.

Latrofa E.M. 2006. *La Biblioteca storica della Fisica Tecnica Italiana*. Pisa: Edizioni Plus-Pisa University Press

Mattarolo L. 1994. L’evoluzione della fisica tecnica nelle facoltà di ingegneria. In: *La termodinamica e la termocinetica nelle scuole di ingegneria,* Atti dell’Accademia delle Scienze di Torino, 128(supp. 2), 95-105.

Parolini G. 1975. *Considerazioni generali su alcuni aspetti interdisciplinari di Fisica Tecnica, lezioni tenute al Politecnico Federale di Zurigo nell’A.A. 1974-75*. Roma: Sistema s.r.l. grafico editoriale.

Platone. 2011. *Teeteto* (traduzione di F. Ferrari). Segrate: Rizzoli.

Pointer M.R. 2003, *Report to the National Measurement System Directorate, Department of Trade and Industry: New Directions—Soft Metrology—Requirements for support from Mathematics, Statistics and Software Support for Metrology programme 2004-2007*. NPL Report. CMSC 20/03. 2003

Silvestri M. 1991. *Alcune considerazioni sul Progetto Finalizzato Energetica*. La Termotecnica, 1, pagg. 33-39.

Sitografia

[1] ASHRAE
https://www.ashrae.org/about/mission-and-vision.

Note

1. Nel 2003 compare per la prima volta, in un rapporto al National Measurement System Directorate da parte del National Physical Laboratory inglese (Pointer, 2003), il termine “*soft metrology*” definito come «measurement techniques and models which enable the objective quantification of properties which are determined by human perception. The human response may be in any of the five senses: sight, smell, sound, taste and touch». Inoltre il Bureau International des Poids et Mesures ha recentemente messo in circolazione la bozza della nuova edizione del Vocabolario Internazionale di Metrologia, il VIM 4, con il quale si cerca di mettere ordine nella misura di “cose” fondamentalmente diverse dalle familiari grandezze fisiche codificate nel Sistema Internazionale, per esempio introducendo le definizioni di scale di misura nominali e ordinali , in cui collocare misure diverse dalle misure di grandezze fisiche, come, ad esempio la misura delle percezioni umane. Le metrologie del comfort termico, acustico e visivo adottate nell’ambito della Fisica Tecnica Ambientale si collocano nel contesto della *soft metrology* e il giudizio sulla condizione di comfort è l’esito di un processo cognitivo che coinvolge aspetti fisici, fisiologici e psicologici.

2. Nelle sue sei lezioni tenute nell'anno accademico 1974-75 al Politecnico di Zurigo Parolini, professore all'Università di Roma La Sapienza, affronta alcuni aspetti interdisciplinari della Fisica Tecnica proprio relazionando gli studi sui rapporti fra l'organismo umano e l'ambiente circostante in tema di sensazioni termiche, luminose e acustiche con gli studi sulle cause di degrado delle opere d'arte, associando ad essi alcune interessanti riflessioni sulla termodinamica dei processi irreversibili (Parolini, 1975).
3. Già nel 1970, a seguito dell'alluvione di Firenze avvenuta nel novembre 1966, le esperienze di collaborazione tra esperti con differenti competenze scientifiche misero in luce l'esigenza di creare organismi di ricerca dedicati allo studio su basi scientifiche del deterioramento del patrimonio culturale e sulle modalità per conservarlo. Nacquero così, nel 1970, a Roma, Firenze e Milano i centri del Consiglio Nazionale delle Ricerche denominati "Cause di deperimento e metodi di conservazione delle opere d'arte" e i ricercatori di Fisica Tecnica collaborarono con essi attivamente, specialmente con il centro romano. Di rilievo è anche l'attività del Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali (CIBeC) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, costituito nel 1992 per iniziativa di Salvatore D'Agostino, con il fine di contribuire allo sviluppo delle ricerche nel campo della conservazione e del recupero dei beni di interesse storico, artistico e culturale e in cui operano attivamente ricercatori afferenti al settore scientifico disciplinare della Fisica Tecnica Ambientale.

Raffaele Mauro, Anna Maragno

La Storia dell'Ingegneria in Italia e in alcuni Paesi oggi: una prima rassegna

Between structural engineering and industrial design in second post-war in Italy

Sommario
Oggetto di questa nota è il recente diretto impegno di ingegneri di diversa estrazione in attività storiografiche dedicate all'ingegneria. Si riporta quindi una parziale rassegna per ampie aree di interesse della produzione in Italia e in alcuni altri Paesi in tema di evoluzione storica dell'ingegneria. A partire dalle informazioni raccolte e dall'esame delle stesse si presentano prime considerazioni sulle caratteristiche prevalenti di tali attività pubblicistiche e didattiche e sul ruolo che esse possono avere nella costruzione di una nuova consapevolezza della collocazione dell'ingegneria e degli ingegneri nelle «attuali condizioni di società e di storia» (Labriola, 1964).

Abstract
The paper deals with the recent engagement of engineers from various backgrounds in historiographical activities on engineering. The first step is therefore to carry out a partial enquire by topics of the Italian and international production in the field of the historical evolution of engineering. Starting with the collection and examination of data, an initial critical assessment is briefly developed on the main characteristics of these activities, and the role they may play in shaping a new awareness of the role of engineering and engineers in today's society and history.

Introduzione

Negli ultimi decenni si assiste anche in Italia, e non solo in ambiti accademici, a un rinnovato interesse per la Storia dell'Ingegneria. Le manifestazioni della crescente attenzione per la Storia della Tecnica e, quindi, di riflesso, dell'ingegneria, sono oggi molteplici. Tra esse si ricordano, da un lato, la divulgazione sui temi della scienza e delle sue applicazioni veicolata dai media, spesso di notevole qualità contenutistica, espositiva e comunicativa, dall'altro, la presenza non episodica nel dibattito culturale attuale del discorso su "essenza dell'uomo e essenza della tecnica" (Severino,

1994) che, in tutte le declinazioni teoretiche, permea come problema centrale la riflessione filosofica e il pensiero politico contemporanei.

È nel contesto appena brevemente delineato che si registra il diretto impegno di ingegneri di varia formazione, ma anche di tecnici di altra estrazione, in studi e in insegnamenti universitari dedicati all'ingegneria nel suo sviluppo storico. Queste attività risultano variamente caratterizzate, sul piano pubblicistico e didattico, per le finalità ispiratrici, per gli argomenti prescelti e trattati, per i metodi di analisi adottati, per le fonti privilegiate e per la portata dei risultati conseguiti.

Già da questi pochi cenni risulta chiaro che le questioni inerenti alla pratica storiografica e all'insegnamento della Storia dell'Ingegneria risultano rilevanti in sé, ma anche per le possibili ricadute sulla formazione degli ingegneri e sul loro lavoro professionale e, quindi, meritevoli di attenzione e di studio.

In questa direzione, ai punti che seguono si riferisce di una prima rassegna sulla Storia dell'Ingegneria contemporanea in Italia e in alcuni altri Paesi come passo preliminare per l'approfondimento delle questioni appena sopra prospettate.

Storia e Storiografia

Per rendere esplicito in quali accezioni storia e storiografia sono adoperate nella presente nota è sufficiente quanto segue.

Al termine storia si attribuiscono, in genere, tre distinti prevalenti significati[1]: la realtà storica, intendendo con essa il complesso dei fatti umani e quanto da questi esita, ovvero, ciò che agli uomini è ascrivibile di materiale e immateriale, nonché tutto ciò che li condiziona, nello spazio e nel tempo, il tempo storico, che consideriamo; la scienza storica, cioè l'insieme delle ricerche sulla realtà storica come appena assunta, alle quali si richiede di essere critiche, rette da un metodo e non limitate alla registrazione di singoli avvenimenti, ma, tra l'altro, orientate all'analisi dei processi che li provocano; la storia come narrativa, un racconto non necessariamente veritiero, se non addirittura fantastico, di vicende che riguardano gli uomini.

La storiografia, invece, designa sia le ricerche storiche nel significato prima richiamato, risultando così, di fatto, sinonimo di scienza storica, sia i prodotti di queste indagini.

Ne segue che le attività di studio, pubblicistiche e didattiche di Storia dell'Ingegneria, per essere storiografiche, necessitano dei caratteri della disamina critica e di principi di metodo per essere finalizzate alla più vasta conoscenza storica nella sua distinzione dalla realtà storica.

Di tali aspetti si terrà conto nel seguito.

L'insegnamento universitario della Storia dell'Ingegneria

Fino all'ultimo Ottocento, le discipline umanistiche, non ultima la Storia, e le nascenti scienze sociali hanno trovato un proprio spazio nella formazione accademica degli ingegneri[2]. Nel Novecento si afferma e consolida la tendenza a fornire una

preparazione unicamente tecnico-scientifica sempre più specialistica. Il predominio assoluto di tale impostazione formativa è, certo, conseguenza della divisione sociale del lavoro e della evoluzione dei modi di produzione. Le conseguenze dirette delle circostanze appena richiamate sono state, di fatto, l'assunzione di ruoli definiti e circoscritti per gli ingegneri all'interno della società contemporanea, quasi a prefigurarne impieghi, dalle attività scientifiche a quelle professionali, strettamente circoscritti a funzioni meramente tecniche.

Il più ampio clima culturale, cui si è fatto cenno nella premessa, ha agito anche nello stimolare gli ingegneri verso una ritrovata consapevolezza del proprio ruolo e del proprio lavoro anche attraverso lo studio della propria disciplina.

In Italia è il Politecnico di Torino a istituire il primo corso di Storia dell'Ingegneria negli anni Ottanta del Novecento, seguito anni dopo dal Politecnico di Milano (Di Leo, 2007). Sulla loro scia si registrano iniziative anche minori da parte delle Università di Padova, Firenze e Salerno. Esse rimangono, tuttavia, esperienze circoscritte ed episodiche all'interno dei Corsi di Studio[3].

La mancanza di un programma organico relativo all'insegnamento della Storia dell'Ingegneria, e più in generale della Tecnica e della Tecnologia, nel contesto accademico italiano appare confermata anche in anni più recenti. Emblematico è il caso del Politecnico di Milano che nell'A.A. 2009/2010 offre i corsi di Storia ed epistemologia delle scienze elettromagnetiche, Storia del Politecnico e dell'Industrializzazione Elettrica in Italia, Storia dei trasporti, Storia della Matematica, Storia della Tecnica e del processo di modernizzazione e Storia della Meccanica, soppressi a partire dall'A.A. 2011/2012. Solo nell'attuale anno accademico 2021/2022 sono nuovamente proposti alcuni insegnamenti di carattere storico, come si evince dalla Tabella 1, che contiene analoghe informazioni anche relative all'Università di Torino e di Padova. In essa, accanto ai titoli degli insegnamenti e ai rispettivi settori scientifico disciplinari, sono riportati i Corsi di Studio ai quali gli insegnamenti possono essere diretti e il relativo livello di laurea, nonché i nomi dei docenti, così come deducibili dalle informazioni oggi divulgate. La ricerca estesa anche agli Atenei di Salerno, Napoli Federico II, Firenze, L'Aquila, Genova, Palermo, Roma Tre, Roma Tor Vergata, Sapienza Università di Roma, Trento e Politecnico di Bari, ha consentito di constatare, all'attualità, la non attivazione presso tali Università di corsi dal taglio di quelli riportati nella Tabella 1.

Variegato appare anche il panorama straniero sintetizzato nella Tabella 2, con riferimento ad alcune importanti università. Infatti, anche in Europa, negli ultimi decenni, si registrano diverse esperienze didattiche negli ambiti che qui si esaminano; tuttavia, nella maggior parte dei Paesi considerati si osserva un'offerta formativa significativamente diversa da quella italiana. Da analoga ricerca per altri Atenei stranieri (e.g. École Polytechnique de Paris, University of King's College London, Universidad Politecnica de Madrid) si evidenzia, all'attualità, la mancata attivazione di corsi analoghi a quelli consegnati nella Tabella 2.

Tab. 1 – Insegnamenti di Storia dell'Ingegneria e affini offerti nell'A.A. 2021/2022 dai Politecnici di Milano, di Torino e dall'Università di Padova. Le informazioni sono state raccolte dai siti web delle Università.

Insegnamento	*Settore scientifico-disciplinare*	*Corso di Studio*	*Livello*	*Docente (Formazione)*
Politecnico di Milano				
Social history of technology and digital infrastructures	SPS/08 Sociologia dei processi culturali e comunicativi	Aeronautical Engineering	Magistrale	Paolo Bory (sociologo)
		Space Engineering	Magistrale	
		Engineering Physics	Magistrale	
		Electrical Engineering	Magistrale	
		Nuclear Engineering	Magistrale	
History of Industrial technological innovation	M-STO/04 Storia contemporanea	Automation & Control Engineering	Magistrale	da definire
		Electrical Engineering	Magistrale	
		Energy Engineering	Magistrale	
		Nuclear Engineering	Magistrale	
		Engineering Physics	Magistrale	
		Food Engineering	Magistrale	
Politecnico di Torino				
Storia futura dell'energia	ING-IND/19 Impianti nucleari	Ing. Energetica, Ing, Meccanica, Ing. dell'Autoveicolo, Ing. Informatica, Ing. Elettronica e delle Comunicazioni, Ing. dei Materiali, Ing. Elettrica, Ing. Aerospaziale, Ing. Chimica e Alimentare, Ing. Civile, Ing. Edile, Ing. per l'Ambiente e il Territorio, Matematica per l'Ingegneria, Ing. Elettronica, Ing. Informatica, Ing. Fisica, Ing. del cinema e dei mezzi di comunicazione, Ing. Gestionale	-	Massimo Zucchetti (ingegnere)
Storia delle cose. Anatomia e antropologia degli oggetti	M-STO/05 Storia della scienza e delle tecniche	Ing. Energetica, Ing, Meccanica, Ing. dell'Autoveicolo, Ing. Informatica, Ing. Elettronica e delle Comunicazioni, Ing. dei Materiali, Ing. Elettrica, Ing. Aerospaziale, Ing. Chimica e Alimentare, Ing. Civile, Ing. Edile, Ing. per l'Ambiente e il Territorio, Matematica per l'Ingegneria, Ing. Elettronica, Ing. Informatica, Ing. Fisica, Ing. del cinema e dei mezzi di comunicazione, Ing. Gestionale	-	Sandro Caparrini (matematico)

segue Tab. 1 – Insegnamenti di Storia dell'Ingegneria e affini offerti nell'A.A. 2021/2022.

Insegnamento	*Settore scientifico-disciplinare*	*Corso di Studio*	*Livello*	*Docente (Formazione)*
Politecnico di Torino				
Antropologia della Tecnica	N/A	Gestione, Produzione e Design	PhD	Vittorio Marchis (ingegnere)
	N/A	Ingegneria Informatica e dei Sistemi	PhD	
	N/A	Ingegneria Energetica	PhD	
	N/A	Ingegneria Aerospaziale	PhD	
	N/A	Ingegneria Chimica	PhD	
	N/A	Fisica	PhD	
	N/A	Scienza e Tecnologia dei Materiali	PhD	
	N/A	Architettura. Storia e Progetto	PhD	
	N/A	Beni Architettonici e Paesaggistici	PhD	
	N/A	Ingegneria Meccanica	PhD	
	N/A	Bioingegneria e Sc. Medico-Chirurgiche	PhD	
	N/A	Urban And Regional Development	PhD	
	N/A	Matematica Pura e Applicata	PhD	
	N/A	Metrologia	PhD	
	N/A	Ing. Elettrica, Elettronica e delle Comunicazioni	PhD	
	N/A	Ingegneria Civile e Ambientale	PhD	
	N/A	Intelligenza Artificiale	PhD	
Università degli Studi di Padova				
Storia della Tecnologia della Informazione	FIS/08 Didattica e storia della Fisica	Ingegneria dell'Informazione	Triennale	Giulio Peruzzi (fisico)
Storia della Tecnologia	ING-IND/31 Elettrotecnica	Ingegneria dell'energia elettrica	Magistrale	Massimo Guarnieri (ingegnere)
Histoire et patrimoine de l'ingenierie	ICAR/10 Architettura tecnica	Tecniche, Patrimonio, Territori dell'Industria (Techniques, Patrimoine, Territoires de l'Industrie)	Magistrale (Erasmus Mundus)	-
Informatique et histoire des technique	L-ART/04 Museologia e critica artistica e del restauro	Tecniche, Patrimonio, Territori dell'Industria (Techniques, Patrimoine, Territoires de l'Industrie)	Magistrale (Erasmus Mundus)	-
Histoire des techniques	M-STO/05 Storia della scienza e delle tecniche	Tecniche, Patrimonio, Territori dell'Industria (Techniques, Patrimoine, Territoires de l'Industrie)	Magistrale (Erasmus Mundus)	-

Tab. 2 – Insegnamenti di Storia dell'Ingegneria e affini nell'A.A. 2021/2022 dall'Ecole des Ponts ParisTech, École Polytechnique Fédeérale de Lausanne (EPFL), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Oxford University, University of Manchester, Technische Universität München. Le informazioni sono state raccolte dai siti web delle Università.

Insegnamento	*Corso di Studio - Dipartimento*	*Livello*	*Docente*
Ecole des ponts ParisTech			
Histoire des sciences: le cas de la mécanique	Département Sciences Humaines et Sociales	Bachelor	Konstantinos Chatzis (ingegnere)
Histoire des transports et des mobilités	Transport et Développement Durable	Master	Vincent Guigueno (ingegnere)
École Polytechnique Fédeérale de Lausanne			
Histoire des sciences et des techniques	Sciences humaines et sociales	Bachelor	Jérôme Baudry (storico)
Histoire des énergies et des transports A	Sciences humaines et sociales	Bachelor	Cédric Humair (storico, letterato)
Histoire des énergies et des transports B	Sciences humaines et sociales	Bachelor	Cédric Humair (storico, letterato)
Experimental history of science I	Sciences humaines et sociales	Master	Ion-Gabriel Mihailescu, Simon F. Dumas
Experimental history of science II	Sciences humaines et sociales	Master	Ion-Gabriel Mihailescu, Simon F. Dumas
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich			
Einführungskurs Technikgeschichte	Science in Perspective (SiP) Department of Humanities, Social and Political Sciences	Bachelor	David Gugerli (storico)
Technikgeschichte	Science in Perspective (SiP) Department of Humanities, Social and Political Sciences	Master	David Gugerli (storico)
Technikgeschichte	Science in Perspective (SiP) Department of Humanities, Social and Political Sciences	PhD	David Gugerli (storico)
Oxford University			
Vari	History of Science, Medicine and Technology - Faculty of History	Master	Vari
		MPhil	Vari
University of Manchester			
Vari	History of Science, Technology, and Medicine	B/M	Vari
Vari	History of Science, Technology, and Medicine	PhD MPhil	Vari

segue Tab. 2 – Insegnamenti di Storia dell'Ingegneria e affini nell'A.A. 2021/2022

Insegnamento	*Corso di Studio - Dipartimento*	*Livello*	*Docente*
Technische Universität München			
History of Science and Technology	Mechanical Engineering	-	Felix Mauch (storico e geologo)
	Science and Technology Studies	B/M	
	TUM School of Life Sciences	-	
History of science in physics	Agricultural Economy	Master	Andreas Kratzer (estrazione culturale non reperibile)
	Biomedical Engineering and Medical Physics	Master	
	Building Technology	Master	
	Electrical Engineering and Information Technology	Master	
	Health and Care Science	Master	
	Mathematics	Master	
	Metal Engineering	Master	
	Nutritional Science and Home Economics	Master	
	Physics	Bachelor	
	Physics (Applied and Engineering Physics, Biophysics, Condensed Matter Physics, Nuclear, Particle and Astrophysics)	Master	
	Quantum Science & Technology	Master	
	Wirtschaftspädagogik II	Master	
History of technology in the 19th and early 20th century	Automotive Software Engineering	Master	Karin Zachmann economista)
	Biomedical Computing	Master	
	Biomedical Engineering and Medical Physics	Master	
	Data Engineering and Analytics	Master	
	Informatics: Games Engineering	B/M	
	Informatik	B/M	
	Information Systems	B/M	
	Physics	Bachelor	
	Physics (Applied and Engineering Physics, Biophysics, Condensed Matter Physics, Nuclear, Particle and Astrophysics)	Master	
	Political Science	Bachelor	
	Quantum Science & Technology	Master	
	Robotics, Cognition, Intelligence	Master	
	Wirtschaftspädagogik II	Master	

L'attività pubblicistica

Anche le monografie di argomenti tecnico-scientifici censibili nel contesto internazionale sono un rilevante indicatore dell'attuale rinnovato interesse verso la Storia dell'Ingegneria.

Tale attività editoriale, data in modo non episodico a partire dagli anni Cinquanta del Novecento per consolidarsi nei decenni successivi, si concretizza in testi ancora fondamentali che tutt'oggi fungono da riferimento per lo studio e l'insegnamento universitario.

Una scelta di questi è consegnata nella Tabella 3.

Considerando inoltre la bibliografia ragionata proposta dall'A.I.S.I. [1], le monografie possono essere sistematizzate secondo diverse macrocategorie, tra le quali le principali risultano Storia dell'Ingegneria Gestionale, Storia dell'Ingegneria dell'Informazione, Storia dell'Ingegneria Civile, Storia dell'Ingegneria Meccanica, Storia dell'Ingegneria Chimica, Storia dell'Ingegneria Elettronica.

In ultimo, si osserva che l'attività pubblicistica di tipo non monografico-trattatistico, cioè articoli, report e comunicazioni a convegni, si trova compresa spesso in opere collettanee raccolte in collane o in atti di convegni, ad esempio quelli riportati nel sito A.I.S.I. [1].

Infine, le collane di volumi editi negli altri Paesi considerati e che qui, per motivi di spazio non si elencano, si presentano con caratteristiche diverse. Ad esempio, negli Stati Uniti e in Inghilterra le monografie convergono spesso in collane dall'ampio respiro tematico, a volte generalistico, quali le: *Cambridge Studies in the History of Science*, *Inside Technology* e *Historical Perspectives on Technology, Culture, and Society*. La tendenza ad associare la Storia dell'Ingegneria alla storia di altre discipline, quali la Matematica o la Fisica, si riscontra anche, tra gli altri, nel contesto francese, con le collane *Quadrige* (Presses Universitaires de France) e *Encyclopédie de la Pléiade* (Gallimard) che si presentano ricche di numerosi titoli.

Alcune considerazioni conclusive

Gli autori di questa nota non hanno una formazione di tipo storico, ma solo un interesse per le scienze umane: non possono quindi prodursi in giudizi di sorta sulle valenze storiografiche degli elementi del quadro di insieme descritto ai punti precedenti.

Questo contributo è stato composto con materiali provenienti da una prima rassegna, molto parziale per quanto riguarda il contesto internazionale, ristretto a pochi Paesi e presentata, tra l'altro, solo negli aspetti salienti perché il limitato spazio disponibile non consente di riferirne nella sua interezza.

Ciò premesso, è di seguito riportato solo quanto è di per sé evidente del diretto impegno di ingegneri civili, industriali e dell'informazione in studi dedicati allo sviluppo storico dell'ingegneria in Italia e negli altri Paesi considerati.

Tab. 3 – Elenco di alcune monografie di Storia dell'Ingegneria e della Tecnologia. Le informazioni sono state tratte da [1] e dai riferimenti bibliografici proposti per i corsi riportati in Tabella 2.

Autore	*Titolo*	*Editore*	*Anno*	*Formazione dell'autore*	*Nazionalità editore*
Todhunter I., Pearson K.	A History of the Theory of Elasticity and of the Strength of Materials (vol. I e II)	Cambridge University Press	1886-1893	Matematico Matematico	Inglese
Timoshenko S.P.	History of Strength of Materials	McGraw-Hill	1953	Ingegnere e matematico	Statunitense
Singer C., et al.	A History of Technology	Oxford Univ. Press	1954	Medico e zoologo	Inglese
Finch J.K.	The Story of Engineering	Anchor Books	1960	Ingegnere civile	Statunitense
Daumas M.	Histoire général des techniques	Presses Universitaires de France	1962-1968	Storico	Francese
Gille B.	Les ingénieurs de la Renaissance	Hermann	1964	Storico	Francese
Portoghesi P.	Infanzia delle macchine	Laterza	1981	Architetto	Italiana
Dunsheath P.	A History of Electric Power Engineering	MIT Press	1976	Ingegnere elettrico	Statunitense
Furter W.F.	History of Chemical Engineering	American Chemical Society	1980		Statunitense
Benvenuto E.	La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico An Introduction to the History of Structural Mechanics (v. in inglese)	Sansoni Springer	1981	Ingegnere civile	Italiana Tedesca-Svizzera
McNeil I.	An Encyclopedia of the History of Technology	Routedge	1990		Inglese
Picon A.	L'invention de l'ingénieur moderne. L'École des Ponts et Chaussées 1747-1851	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées	1992	Ingegnere e architetto	Francese
Marchis V.	Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica	Laterza	1994	Ingegnere meccanico	Italiana

Il complesso di tali studi risulta non poco variegato, tanto che i temi trattati, quando consegnati nelle comunicazioni a convegni, nelle monografie brevi, nelle brevi sillogi spaziano, ad esempio, dalla segnalazione di fonti documentali, alla narrazione aneddotica "storie e racconti di ingegneria"; dalla biografia di illustri ingegneri, alla dettagliata descrizione di innovazioni tecnologiche; da eventi circoscritti nello spazio e nel tempo quali quelli che riguardano la storia delle facoltà di Ingegneria, alla descrizione di grandi opere. Si è, pertanto, in presenza di una produzione pubblicistica prevalentemente evenemenziale, ovvero fattuale, cronachistica, incentrata sul racconto di avvenimenti non contestualizzati in modo problematico e interdisciplinare ad altri aspetti storicamente rilevanti: tutti esiti verosimili della poca familiarità degli autori con gli strumenti dell'indagine storiografica.

Invece, per i corsi universitari esplicitamente dedicati alla storia di varie discipline dell'ingegneria, riportati nelle Tabelle 1 e 2, dal semplice titolo degli insegnamenti e dall'esame dei rispettivi programmi non è, evidentemente, possibile risalire alla impostazione, evenemenziale o non evenemenziale, che i docenti adottano nell'impartirli. Risulta poi che detti insegnamenti di Storia dell'Ingegneria nelle università italiane afferiscono ai dipartimenti delle discipline STEM, sono tenuti da docenti di estrazione tecnico-scientifica e sono solo facoltativi. La situazione è diversa nelle università anglosassoni e in buona parte dell'Europa occidentale, nelle quali la Storia dell'Ingegneria e, più in generale, la Storia della Scienza e della Tecnica, è solitamente impartita da storici in specifici percorsi formativi.

Discorso a parte merita la produzione più propriamente monografica dove si reperiscono non raramente libri di tecnici, rilevanti per contenuti e impostazione storiografica. A tale categoria appartengono in Italia senz'altro i volumi di Paolo Portoghesi *L'infanzia delle macchine*, di Edoardo Benvenuto *La scienza delle costruzioni nel suo sviluppo storico,* poi pubblicato anche in inglese, e di Vittorio Marchis *Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*. Si tratta di tre studi accurati e originali, opere di tecnici che conoscono in profondità le discipline che trattano ma, anche, in modo rigoroso il metodo storiografico. Tali opere sono senz'altro paragonabili ai migliori lavori di Storia dell'Ingegneria presenti nella letteratura internazionale di settore quali, ad esempio, i ben noti volumi di Bertrand Gille *Les ingénieurs de la Renaissance* e *Histoire des techniques*.

Con tutti i limiti appena evidenziati, e ben ricordando l'asserzione di Croce che «scrivere storie non è scrivere di storia», è innegabile che i risultati dell'attività di studio e di insegnamento in tema di Storia dell'Ingegneria, così come ora prefigurati, costituiscono sia un rilevante *corpus* di materiali per una Storia dell'Ingegneria propriamente intesa, sia un fattore prezioso per indicare ai futuri ingegneri, già dai primi percorsi formativi, orizzonti più vasti nei quali collocare le discipline di loro specifico interesse, oggi come discenti, domani come professionisti o studiosi. Per siffatto ultimo aspetto, e per concludere, non può dirsi meglio di quanto ora si tra-

scrive: «L'ingegneria sarà sempre protagonista della crescita della Società, ma essa è sempre più chiamata a svolgere il proprio compito attraverso un dialogo critico con gli altri saperi. Di qui la forte esigenza di storia […]» (D'Agostino, 2006).

E, ancora: «La transizione dall'ingegneria come pratica all'ingegneria come scienza, pur essendo un passaggio necessario, non è tuttavia sufficiente, dato che appare oggi della massima urgenza che l'ingegneria sviluppi anche la capacità di relazionarsi con altre realtà sociali, con piena consapevolezza e responsabilità del proprio ruolo. In questo senso una maggiore presa di coscienza del proprio stato può giungere all'ingegneria da una più profonda conoscenza dei propri processi evolutivi, la quale al contempo può aiutare a meglio farsi conoscere e valutare al di fuori del proprio ambito specifico» (Marchis, 2006b).

Bibliografia

Abbagnano N. 1984. Storia. In: *Grande Dizionario Enciclopedico*. Torino: UTET.

Blanco L. (a cura di). 2000. *Amministrazione, formazione e professione: gli ingegneri in Italia tra Sette e Ottocento*. Bologna: il Mulino.

Cardone V. 2006. *Gli studi di ingegneria in età contemporanea*. In: *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia* (a cura di V. Cardone e F.P. La Mantia). 9-52. Fisciano: CUES.

Cardone V. 2007. Una nuova stagione per la storia dell'ingegneria. In: *L'Ingegneria e la sua storia. Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel XIX e XX secolo* (a cura di A. Di Leo). 9-11. Cava de' Tirreni: Marlin.

Cardone V. 2008. L'insegnamento delle discipline umanistiche e sociali nella formazione degli ingegneri. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 2° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino). I, 781-795. Napoli: Cuzzolin Editore.

D'Agostino S. 2006. Intervento del prof. Salvatore D'Agostino. In: *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia* (a cura di V. Cardone e F.P. La Mantia). 148-150. Fisciano: CUES.

D'Agostino S. 2010. Dalle Scuole di Applicazione al futuro: quale cultura per l'Ingegneria? In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 3° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino). 107-116. Napoli: Cuzzolin Editore.

D'Agostino S. 2014. Note di Storia dell'Ingegneria in Italia. In: *History of Engineering. Proceedings of the International Conference* (a cura di S. D'Agostino e G. Fabricatore). I, 45-68. Napoli: Cuzzolin Editore.

Di Leo A. 2007. Ingegneria e storia. Studi e linee evolutive. In: *L'Ingegneria e la sua storia. Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel XIX e XX secolo* (a cura di A. Di Leo), 23-36. Cava de' Tirreni: Marlin.

Finch J.K. 1962. *Storia dell'Ingegneria*. Firenze: Sansoni.

Galasso G. 2012. La storia e le storie. Prolusione di apertura del I Convegno di Storia dell'Ingegneria, Napoli, marzo 2006. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 4° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino), XVII-XXII. Napoli: Cuzzolin Editore.

Labriola A. 1964. *Saggi sul materialismo storico*. Roma: Editori riuniti.

Le Goff J. 1981. Storia. In: *Enciclopedia*, vol. XIII. Torino: Einaudi Editore.

Marchis V. 2006a. Dall'ingegneria come pratica, all'ingegneria come scienza. In: *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia* (a cura di V. Cardone e F.P. La Mantia). 53-103. Fisciano: CUES.

Marchis V. 2006b. Intervento del prof. Vittorio Marchis. In: *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia* (a cura di V. Cardone e F.P. La Mantia). 158-160. Fisciano: CUES.

Marchis V. 2006c. Per una Teoria e Storia dell'Ingegneria. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 1° Convegno Nazionale* (a cura di A. Buccaro, G. Fabricatore e L.M. Papa). I, 49-57. Napoli: Cuzzolin Editore.

Marchis V. 2008. Una 'sistematica' per la Storia dell'Ingegneria. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 2° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino), I, 25-34. Napoli: Cuzzolin Editore.

Portoghesi P. 2014. *Tecnica curiosa. Dall'infanzia delle macchine alle macchine utili*. Milano: Medusa.

Severino E. 1994. *Heidegger e la metafisica*. Milano: Adelfi.

Singer C., Holmyard E.J., Hall A.R., Williams T.I. (a cura di). 2012. *Storia della tecnologia*. Tomo primo. Torino: Bollati Boringhieri.

Sitografia

[1] A.I.S.I.
http://www.aising.eu/bibliografia/

Sitografia di riferimento per la consultazione

Politecnico di Bari
http://catalogoservizi.poliba.it/it/didattica/corsi-di-laurea.html

Politecnico di Milano
https://www4.ceda.polimi.it/manifesti/manifesti/controller/ricerche/RicercaPerInsegnamentoPublic

Politecnico di Torino
https://www.dimeas.polito.it/

Università degli Studi dell'Aquila
https://univaq.coursecatalogue.cineca.it/cerca-insegnamenti

Università degli Studi di Firenze
https://www.unifi.it/index.php?module=ofform2&mode=1&cmd=90&ric_1=101228

Università degli Studi di Genova
https://unige.it/off.f/ins/index/

Università degli Studi di Napoli Federico II
https://www.docenti.unina.it/#!/search

Università degli Studi di Padova
https://didattica.unipd.it/cerca

Università degli Studi di Palermo
https://offweb.unipa.it/offweb/public/insegnamento/searchInsLang.seam

Università di Roma Tre
http://uniroma3-public.gomp.it/Programmazioni/Catalogo/CatalogoErogata.aspx

Università degli Studi di Salerno
https://web.unisa.it/didatticaonline/attivita-didattiche/insegnamenti
Università di Tor Vergata
https://web.uniroma2.it/
Università degli Studi di Trento
https://www.unitn.it/ateneo/16/didattica
La Sapienza Università di Roma
https://www.uniroma1.it/it/pagina/scheda-insegnamento
Ecole des Ponts ParisTech
http://gede.enpc.fr/
École Polytechnique de Paris
https://www.ip-paris.fr/en/course-finder
École Polytechnique Fédeérale de Lausanne (EPFL)
https://www.epfl.ch/schools/ic/education/courses-catalogue/
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)
https://www.tg.ethz.ch/en/
Oxford University
https://www.hsmt.ox.ac.uk/home#/
Technische Universität München
https://www.tum.de/en/studies/during-your-studies/organizing-your-studies/course-offerings
University of King's College
https://ukings.ca/area-of-study/history-of-science-and-technology/
University of Manchester
https://www.chstm.manchester.ac.uk/
Universidad Politecnica de Madrid
http://www.upm.es/internacional/Researchers/Research%20Activities%20and%20Publications/Courses
John Hopkins University
https://host.jhu.edu/
University of Wisconsin-Madison
https://history.wisc.edu/fields-programs-and-working-groups/history-of-science-medicine-and-technology/
MIT di Cambridge (USA)
https://history.wisc.edu/fields-programs-and-working-groups/history-of-science-medicine-and-technology/

Note

1. Sul significato di Storia qui assunto si vedano (Le Goff, 1981; Abbagnano, 1984).
2. Il percorso di studio proposto nel 1775 dalla prima scuola di Ingegneria, l'*École des Ponts et Chaussées*, prevede corsi di matematica, idraulica, disegno, cartografia, architettura civile, chimica, fisica, idrodinamica, scienze naturali, a cui si affiancano successivamente corsi di calligrafia, lingua, equitazione, nuoto e filosofia. La prima cattedra di storia per gli studenti di Ingegneria è invece istituita nel 1862 presso l'*École Polytechnique*, l'università francese fondata da Gaspard Monge nel 1794, modello per le successive scuole politecniche italiane (Cardone, 2008).

3. «La Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova ha attivato per alcuni anni un corso di storia dell'ingegneria dell'informazione e sulla storia della fisica, poi disattivato con la morte del docente. La Facoltà di Ingegneria di Firenze ha attivato, sperimentalmente per l'a.a. 2003-2004, un insegnamento di Storia dell'Ingegneria, opzionale […]. A partire dall'a.a. 2005-2006 la Facoltà di Ingegneria di Salerno ha attivato un corso di Storia dell'industria meridionale, rivolto agli studenti delle classi di ingegneria industriale» (Cardone, 2008).

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Mario Como

Costruzione e Progetto dei ponti di grande luce negli ultimi due secoli

Construction and Design of long span bridges in the last two centuries

Sommario
Il lavoro tratta l'evoluzione della costruzione dei ponti di grande luce negli ultimi due secoli. Due sono le categorie di ponti esaminati: quella dei ponti strallati e quella dei ponti sospesi. Il racconto si muove lungo due strade tra loro compenetranti: la storia della costruzione e quella della relativa conoscenza strutturale. Il lavoro si conclude con l'illustrazione dei ponti stradali e ferroviari di massima luce nel mondo.

Abstract
The work deals with the evolution of the construction and design of long span bridges over the last two centuries. Two categories of bridges have been examined: the cable stayed bridge and the suspension bridge. The paper moves along two interpenetrating paths: the history of the construction and that of the structural knowledge. The illustration of the road and rail bridges of maximum span ends the paper.

Introduzione

Oggetto del lavoro è l'analisi della storia e del progetto dei ponti di grande luce. Il lavoro non prende in considerazione la costruzione dei ponti in cemento armato e in cemento armato precompresso e, pur senza che si entri nel merito, è in esso sempre latente la problematica, frequentemente posta in Italia, relativa all'ambizioso attraversamento aereo dello Stretto di Messina.

L'evoluzione della costruzione dei ponti di grande luce è avvenuta lentamente, incrementando la lunghezza degli attraversamenti stradali e ferroviari sulla base delle esigenze dello sviluppo economico presente nelle varie regioni del mondo. In circa duecento anni la massima luce dei ponti si è decuplicata passando, dai circa 200 m del ponte sullo stretto di Menai nel Regno Unito, ai circa due chilometri del ponte Akashi in Giappone (Timoshenko, 1983; Singer et al., 1965). A partire dai

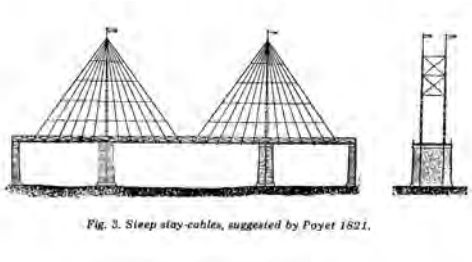


Fig. 3 – Schema strallato di Bernard Poyet, 1821 (Harris, 1996).

Fig. 2 – Ponte sul Menai (1826); L = 168 m [1].

primi dell'Ottocento due diverse tipologie caratterizzano i ponti di grande luce: il ponte strallato e il ponte sospeso, realizzati prima in ferro e poi in acciaio. Il primo ha travata sostenuta da cavi rettilinei che si dipartono dalla testa delle pile e si agganciano alla travata, come mostrato in Figura 1; il secondo ha travata sostenuta da cavi che si appoggiano sulle pile e si ancorano a terra. Stralli e cavi erano realizzati prima componendo segmenti in ferro con occhielli e perni e poi con funi in acciaio.

La storia della costruzione di questi ponti fu segnata inizialmente da molti insuccessi (Singer et al., 1965). Molti crollarono poco dopo la costruzione, così come il ponte sul Menai in Figura 2; a crollare furono soprattutto i ponti strallati, tanto che la loro costruzione fu bandita in tutta Europa per oltre un secolo e riprese solo a partire dalla metà del Novecento. Di conseguenza, si sviluppò innanzitutto la tipologia del ponte sospeso, che fu caratterizzato da brillanti soluzioni. Si ricordano tra queste il ponte sospeso sul Garigliano di Giura del 1838, con L = 80 m, e quello costruito sull'Avon, vicino a Bristol, con una luce di 214 m e una larghezza di 9,5 m, che si eleva a 75 metri sopra il fiume; progettato nel 1830 da Brunel, geniale ingegnere inglese, venne completato nel 1864.

Nella Figura 3 è riportato un disegno del ponte sulle cascate del Niagara, che fu progettato da Roebling, un ingegnere tedesco stabilitosi negli Stati Uniti, e che aveva una travata in ferro con luce di 251 m. Roebling non utilizzò le tradizionali catene formate da pesanti barre in ferro, tra loro collegate alle estremità con occhielli e perni, ma quattro funi con stralli aggiuntivi, tutti realizzati per la prima volta in acciaio. Il Niagara Bridge è stato il primo ponte sospeso a sistema di sospensione misto, a funi e stralli, e con travata a due livelli: uno per il traffico ferroviario e uno per il traffico tradizionale. Travi metalliche di irrigidimento erano disposte tra i due piani di percorrenza e i tiranti verticali erano associati a stralli disposti a ventaglio che si dipartivano dalla testa delle torri in muratura. Lo schema statico di tale ponte venne poi utilizzato dallo stesso Roebling per la costruzione del ponte di Brooklyn, sull'East River a New York. Completato nel 1883, il ponte riproduce lo stesso sistema misto a cavi di sospensione e stralli di quello sul Niagara ed è il primo ponte tutto in

Fig. 3 – Il ponte di Roebling sulle cascate del Niagara, litografia di Charles Parson 1856, dettaglio.

Fig. 4 – Il ponte di Brooklyn di Roebling [1].

acciaio: ha una luce di 486 m ed è stato a lungo tempo il ponte sospeso con campata più lunga al mondo. Dalla curvatura dei cavi, in Figura 4, si riconosce che gli stralli sostengono le fasce laterali della travata, mentre le funi la zona centrale (Singer et al.,1965). Questa soluzione, dovuta alle intuizioni creative di Roebling, presentava incertezze sulla ripartizione del carico tra stralli e funi di sospensione e in seguito fu utilizzata molto raramente.

I primi approcci per la formulazione della statica del ponte sospeso

La statica della fune era stata studiata nel Settecento (Benvenuto, 1981) e nella progettazione del ponte sospeso si utilizzavano, sia pure empiricamente, tali conoscenze. Era noto che il punto debole del cavo era la sua incapacità di sostenere i carichi antisimmetrici in quanto in questo caso non si produce nessun allungamento del cavo e quindi nessun contrasto, come mostrato in Figura 5.

A tale insufficienza del cavo si doveva provvedere incrementando empiricamente la rigidezza flessionale della travata. A quell'epoca, infatti, la progettazione del ponte sospeso veniva effettuata con la teoria di Rankine (1858): alla fune veniva affidato il sostegno dei carichi uniformemente distribuiti e alla travata tutti gli altri carichi non uniformi, per cui i momenti flettenti nella travata risultavano estremamente elevati. Un esempio di ponte costruito con questo criterio è il Williamsburg bridge, in Figura 6: è evidente il sovradimensionamento della travata.

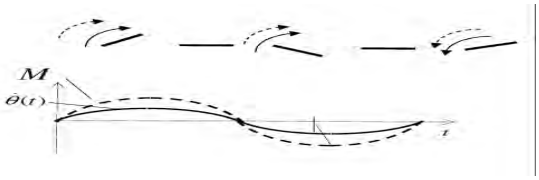


Fig. 5 – Deformata antisimmetrica priva di estensione della fune (disegno di M. Como).

Fig. 6 – Il Williamsburg bridge [1].

La formulazione della statica del ponte sospeso

Melan nel 1888 riuscì a formulare la teoria esatta della statica del ponte sospeso, le cui ipotesi erano le seguenti (Melan, 1888):

- pendini di sospensione e cavi inestensibili;
- eguaglianza tra gli spostamenti verticali dei cavi e quelli della travata

Nello schema in Figura 7 y(x) definisce la configurazione iniziale dei cavi sotto il carico fisso g(x), complessivo del peso dei cavi e della travata. Il carico addizionale sulla travata è p(x). L'incremento degli abbassamenti del cavo e della travata, dovuto all'azione del carico accidentale p(x), è v(x). Il tiro dei cavi sotto il peso g(x) è H, mentre h è il tiro addizionale dovuto all'azione di p(x). La prima equazione di Melan esprime l'equilibrio flessionale della travata di rigidezza flessionale EI:

$$EIv^{iv} - (H + h)v''(x) = p(x) - \frac{gh}{H} \tag{1}$$

La travata è quindi alleggerita dal carico gh/H ed è tenso-inflessa in quanto sottoposta a una forza di trazione ($H+h$), come illustrato in Figura 8.

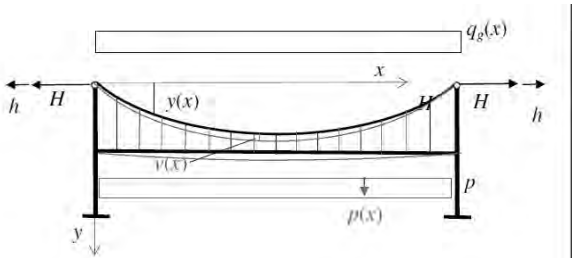


Fig. 7 – Lo schema statico di Melan (disegno di M. Como).

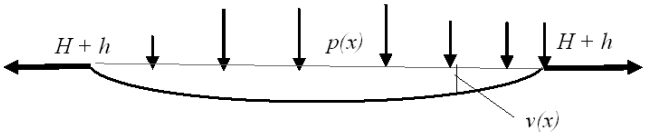


Fig. 8 – Le azioni agenti sulla travata (disegno di M. Como)

La seconda equazione di Melan esprime l'eguaglianza tra l'allungamento estensionale dei cavi e la loro variazione di lunghezza dovuta agli spostamenti verticali:

$$\frac{h}{EA}\cdot\int_0^L (1+y'^2)dx = \frac{g}{H}\cdot\int_0^L v(x)dx \qquad (2)$$

Se i cavi possono essere considerati inestensibili la (2) si semplifica in:

$$\int_0^L v(x)dx = 0 \qquad (3)$$

Da tali risultati si evince che l'effetto dell'inflessione della travata determina una maggiore azione di sostentamento da parte dei cavi, per effetto del tiro ($H + h$), rendendo meno determinante la rigidezza flessionale EI della travata. Tale risultato, come risulta dalle figure che seguono, produsse una graduale riduzione di rigidezza della travata nella successiva costruzione dei ponti sospesi. Tale aspetto, pienamente giustificato dalla teoria di Melan, determinò però nuove gravi problematiche che all'epoca non potevano essere comprese.

Carichi eccentrici sul ponte. Flesso-torsione del ponte sospeso

La teoria statica del ponte sospeso viene completata da Moisseif e Lienhard (1933), che determinarono le equazioni che reggono l'equilibrio torsionale del ponte. Queste consentirono di valutare le sollecitazioni e le deformazioni delle funi e della travata dovute alla presenza di carichi eccentrici sul ponte e si sono rilevate fondamentali nello studio del comportamento aeroelastico del ponte. Come mostrato in Figura 9, la sezione della travata subisce una deformazione torsionale aggiuntiva e le funi, che subiscono abbassamenti diversi, con i loro tiri contribuiscono all'assorbimento della coppia torsionale agente sul ponte.

Con tale estensione della teoria di Melan la statica del ponte sospeso è completa. Il grande sviluppo dei computer che si verificò successivamente, consentì poi di implementare la nuova teoria in efficienti programmi di calcolo.

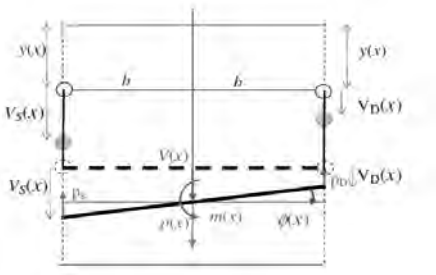


Fig. 9 – La deformazione trasversale delle funi e della sezione della travata (disegno di M. Como).

Primi ponti sospesi eseguiti secondo la teoria di Melan

Uno dei primi ponti realizzati applicando la teoria di Melan è quello di Manhattan sull'East River, del 1901, con una luce di 448 m. La travata è a 2 livelli: quello superiore con 4 corsie stradali; quello inferiore con 3 corsie stradali e 2 linee della metropolitana.

Un ponte successivo è il George Washington Bridge, costruito nel 1931, realizzato sull'Hudson con una luce di 1066 m. La travata è a due livelli, entrambi destinati a traffico stradale: quello superiore è a 8 corsie e quello inferiore a 6 corsie. La travata, con una larghezza di 36 m, ha struttura reticolare in acciaio a sezione chiusa con h = 18,5 m; il rapporto h/L è quindi uguale a 1/58. In Figura 10 è riportata la fotografia dell'altro ponte costruito sull'East River nel 1939: il Whitestone bridge, con una luce di 700 m e sei corsie di traffico. L'impalcato è sostenuto da due travi in acciaio dell'altezza di 3,40. La travata del ponte, realizzata applicando pienamente la teoria di Melan, era molto snella con un rapporto h/L =1/120; venne poi successivamente irrigidita con una idonea struttura reticolare in acciaio.

Il ponte di Tacoma, in Figura 11, fu costruito sul Tacoma Narrows nel 1940 e fu aperto al traffico il primo luglio dello stesso anno. Il ponte, con 853 m di campata centrale, aveva un impalcato in acciaio con due travi metalliche longitudinali e travi trasversali. La travata, della larghezza di 12 m e con una altezza di 2,40 m, presentava il più piccolo rapporto h/L, pari a solo 1/350: era estremamente snella, a sezione aperta, e risultava quindi molto deformabile a torsione. Il ponte crollò il 7 novembre 1940, tre mesi dopo la sua inaugurazione, per effetto del vento la cui velocità era pari a circa 60 km/h. Dopo il crollo, il ponte fu smantellato e ricostruito nel 1950 secondo un altro progetto. Nella Figure 12 le fasi del crollo.

Il ponte di Tacoma aveva la richiesta resistenza per sostenere tutti i carichi agenti, compresi quelli torsionali e quelli laterali, rappresentativi, con gli standard dell'epoca, anche dell'azione del vento, assimilata a un carico statico, ma non aveva la necessaria rigidezza per contrastare l'instabilità aerodinamica dovuta al vento (Bleich, 1948; Krall, 1955).

Fig. 10 – Il ponte Whitestone [1].

Fig. 11 – Il ponte di Tacoma, prima del crollo, 1940 [2].

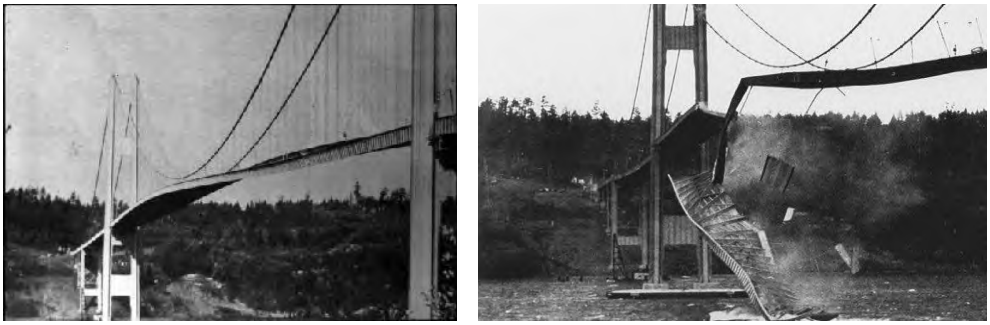


Fig. 12 – Il ponte di Tacoma: oscillazioni prima del crollo (a sinistra) e crollo (a destra) [2].

Il crollo del ponte di Tacoma costituì un grave shock per tutta l'ingegneria strutturale dell'epoca. Tutti i ponti realizzati negli Stati Uniti dovevano essere opportunamente irrigiditi. A causa dello scoppio della seconda guerra mondiale, lo studio e la costruzione dei grandi ponti si dovette arrestare e riprese solo dopo la fine della guerra.

La ripresa della costruzione dei ponti strallati

Dopo la seconda guerra mondiale i ponti della Germania dovevano essere ricostruiti. Le luci degli attraversamenti consigliavano, come naturale soluzione, la realizzazione di ponte a travata irrigidita da stralli. Il problema della valutazione della capacità di sostegno dello strallo, dopo l'arresto della costruzione dei ponti strallati avvenuto nel secolo precedente, era d'altra parte rimasto ancora insoluto. La rigidezza dello strallo non poteva essere quella puramente estensionale del pendolo rettilineo inclinato, così come veniva schematizzato lo strallo, all'epoca della costruzione dei primi ponti strallati, agli albori della scienza delle costruzioni.

Il lungo strallo, incurvato dal proprio peso, sollecitato ad abbassarsi alla sua estremità per effetto della deformazione della travata, subisce, oltre che un allungamento estensionale, anche una rilevante modifica della sua configurazione curva ed esercita quindi un contrasto molto più ridotto rispetto a quello che avrebbe potuto esplicare se fosse stato rettilineo, come mostrato in Figura 13a.

Per valutare l'effettiva risposta dello strallo all'incremento di spostamento ΔL, occorreva valutare gli effetti dovuti alla modifica della geometria curva dello strallo. Dischinger (1949) risolse il problema. La risposta dello strallo pesante ed incurvato va ottenuta sostituendo al modulo elastico dell'acciaio il modulo ridotto E_t^*:

$$E_t^* = \frac{E}{1 + \frac{E\gamma^2 a^2}{12\sigma_1^3}} \tag{4}$$

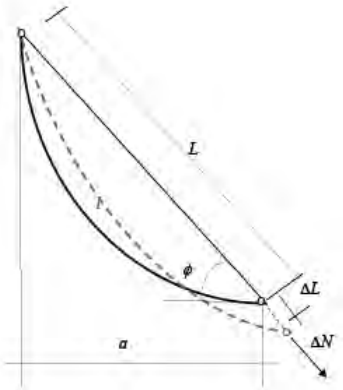


Fig. 13a – Risposta dello strallo all'incremento di deformazione (disegno di M. Como).

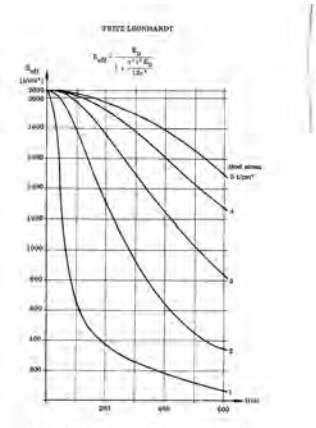


Fig. 13b – Il modulo di Dischinger al variare della lunghezza della proiezione orizzontale dello strallo e della tensione di tiro (De Miranda et al., 1979).

dove, come mostrato in Figura 13b:
E = modulo elastico dell'acciaio di cui è costituito lo strallo;
γ = peso specifico dell'acciaio;
a = lunghezza della proiezione in orizzontale dello strallo inclinato;
σ_1 = tensione nello strallo prima dell'applicazione dell'incremento di carico.

Il grande sviluppo nella Tecnologia dell'acciaio ad alta resistenza, prodotto a partire dalla seconda metà del Novecento, consentì l'uso di stralli di grande lunghezza in grado di ridurre notevolmente l'effetto Dischinger e quindi la realizzazione di ponti strallati moderni di grande luce (Gimsing e Georgakis, 1997).

Dall'esame della Figura 13b si comprendono quindi immediatamente le ragioni dei tanti crolli dei primi ponti strallati realizzati nell'Ottocento in Europa. Considerando che all'epoca gli stralli erano realizzati in ferro, con tensioni di tiro che non potevano superare i 1000 kg/cm^2, l'effettiva capacità di sostentamento dello strallo si riduceva di circa quattro-cinque volte rispetto a quella all'epoca prevista, assimilando lo strallo a un elemento elastico rettilineo.

Progressi della conoscenza sulla stabilità aerodinamica dei ponti dopo il crollo del ponte di Tacoma

Dopo il crollo del Tacoma si era compreso come le elevate deformazioni verticali e torsionali del ponte, oscillante nel vento, fossero responsabili del crollo. La sezione della travata diventava quella dell'ala battente. Lo studio delle cause del crollo del ponte di Tacoma comportò quindi il trasferimento delle problematiche riguardanti

la stabilità delle ali degli aerei nello studio del comportamento dei ponti di grande luce (v. Karman, 1963). Le azioni aerodinamiche della corrente sulla travata sono prodotte da vortici che si distaccano dal bordo di attacco della sezione e che, viaggiando lungo questa, producono variazioni di pressione dipendenti dal movimento della travata stessa, come mostrato in Figura 14a. Parametro fondamentale in questo contesto è la velocità ridotta (V. Karman, 1963):

$$U_R = \frac{VT}{2c} \tag{5}$$

in cui al numeratore figura lo spazio VT percorso dai vortici, di velocità V, durante l'intera oscillazione di periodo T della sezione di lunghezza $2c$. La sezione, investita da vento trasversale con velocità V, oscilla nella corrente con spostamenti verticali $v(t)$ e rotazione torsionale $\theta(t)$, come schematizzato in Figura 14b. La corrente esercita sulla sezione azioni aerodinamiche proporzionali al quadrato della velocità del vento e dipendenti dalla velocità ridotta U_R; tali azioni, agenti sulla sezione oscillante, possono determinare *il flutter*, cioè la condizione di risonanza tra corrente e travata con oscillazioni sempre crescenti, come mostrato in Figura 15.

Scanlan e Tomko (1971) caratterizzarono le azioni aerodinamiche agenti sulla sezione oscillante le quali, funzioni della velocità ridotta U_R, venivano determinate

Fig. 14a – L'ala nella corrente (von Karman, 1963).

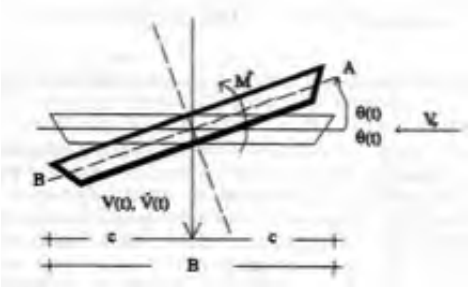


Fig. 14b – La sezione della travata oscillante sotto vento trasversale (disegno di M. Como).

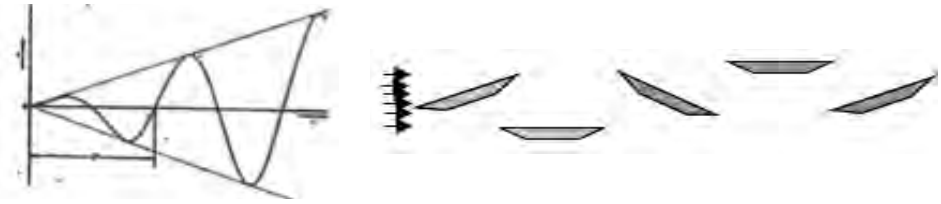


Fig. 15 - Risonanza tra la corrente e la sezione oscillante per flesso-torsione (disegno di M. Como).

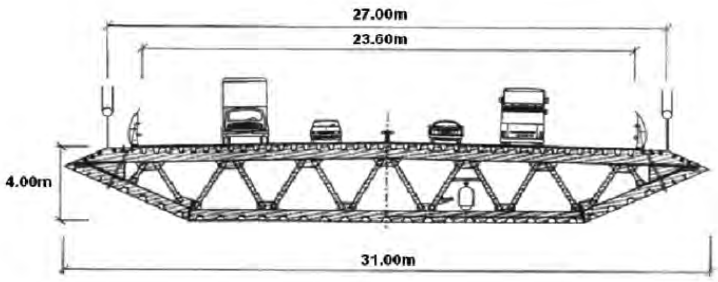


Fig. 16 – Sezione rastremata del Great Belt East Bridge (1998) (Weight, 2009).

mediante prove alla galleria del vento su modelli di sezione. Sezioni rastremate sottili, in Figura 16, vennero prescelte per la sagoma della sezione della travata, testata alla galleria del vento. Quando invece venivano utilizzate sezioni reticolari, in genere per realizzare due vie di traffico, una superiore e una inferiore, venivano effettuati studi ancora più accurati del comportamento aeroelastico della sezione reticolare nella galleria del vento.

Tra queste azioni si distinguono la rigidezza torsionale aerodinamica e gli smorzamenti aerodinamici verticale e torsionale, funzioni opportune della velocità ridotta U_R. Queste funzioni, a seconda del variare della velocità ridotta U_R, possono cambiare di segno e hanno effetti di estrema rilevanza sulla stabilità delle oscillazioni del ponte (Scanlan e Tomko, 1971; Abdel Ghaffar,1979; Bruno et al., 2001; Cremona e Foucriat, 2002; Como, 2002, Como et al., 2005).

Dagli studi sulla stabilità aerodinamica dei ponti risulta che, a parità di sagoma della sezione, cioè di proprietà aerodinamiche, il fattore che caratterizza la maggiore o minore sensibilità del ponte al flutter è il rapporto:

$$\Phi = T_{oV} / T_{o\theta} \tag{6}$$

tra i periodi fondamentali di oscillazione libera verticale e torsionale del ponte (Cremona e Foucriat, 2002). La velocità di flutter tende a zero per Φ tendente a 1. Per la sicurezza al flutter, il rapporto Φ deve essere quanto più elevato possibile, almeno pari a 2, laddove il valore del rapporto Φ relativo al ponte di Tacoma risultava solo pari a 1,34 (Como, 2002).

Va rilevato che i ponti strallati presentano una maggiore rigidezza torsionale rispetto ai ponti sospesi e quindi di regola un maggior valore del rapporto Φ. I ponti sospesi hanno infatti bassa rigidezza torsionale sotto oscillazioni emi-simmetriche e tale aspetto si aggrava col crescere della luce, in quanto il peso dei cavi cresce rispetto al peso della travata e si riduce Φ (Como, 2002). Le proprietà aerodinamiche della sezione in tali casi sono estremamente rilevanti.

Sviluppo attuale della costruzione dei grandi ponti strallati

I ponti strallati subirono una grande evoluzione con l'utilizzo di stralli in acciaio a elevata resistenza che potevano essere soggetti a elevate tensioni di tiro: si potette così ridurre fortemente l'effetto Dischinger, malgrado la loro grande lunghezza.

Il moderno ponte strallato si sviluppò anzitutto in Germania nella ricostruzione dei ponti distrutti dalla guerra per i quali non erano richieste le grandi luci dei ponti sospesi, come quelli realizzati negli USA. Si delineò così il modello statico sotto il proprio peso del ponte strallato, in genere a stralli distribuiti a ventaglio.

Il ponte strallato di grande luce è costituito da una grande struttura reticolare isostatica con travata sospesa alla testa delle grandi antenne e passante, senza appoggiarsi, attraverso queste ultime, come mostrato in Figura 17 (Como M. et al., 2005; Troitsky, 1977; De Miranda et al., 1979; De Miranda, 1980; Como et al., 1985).

I carichi accidentali determinavano invece effetti locali e venivano assorbiti dalla flessione della travata che, sotto carico permanente, è prevalentemente soggetta a sforzi di compressione variabile, dovuta alle azioni di sostegno esplicate dagli stralli inclinati. La travata scarica alle sue estremità lo sforzo di compressione terminale sia sullo strallo di ormeggio che, con una forza di trazione, sulla pila di estremità. I carichi accidentali sono assorbiti, come azione locale, dalla flessione della travata (De Miranda et al., 1979).

Il ponte strallato attualmente di maggior luce, destinato al traffico stradale, è il Ponte Russkij, in Figura 18, con una luce di 1104 m, realizzato a Vladivostock nel 2012.

Sviluppo attuale della costruzione dei grandi ponti sospesi

Dopo il collasso del ponte di Tacoma si crearono numerosi centri per lo studio aeroelastico dei ponti e vennero realizzate gallerie del vento in tante regioni, particolarmente negli USA, in Canada e in Europa, e poi in Cina, sia per lo studio dei rinforzi da apportare ai vari ponti sospesi già realizzati e sia per la costruzione dei nuovi.

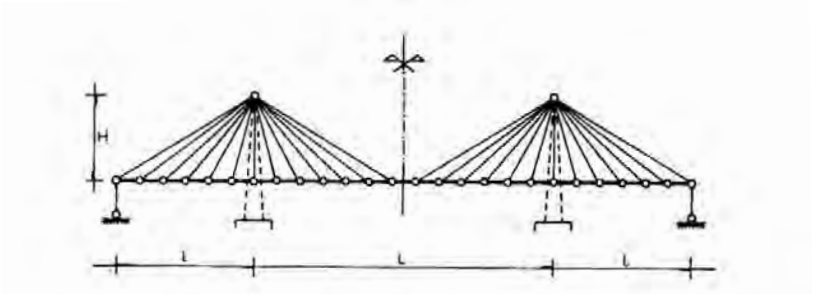


Fig. 17 – Lo schema a travatura reticolare isostatica del pronte strallato sotto l'azione dei carichi permanenti (De Miranda et al. 1979).

Fig. 18 – Il ponte Russkij [1].

Fig. 19 – Il Great Belt East Bridge, 1998 [3].

Così, ad esempio, importanti modifiche e rinforzi vennero apportati al ponte Golden Gate di S. Francisco così come ad alcuni dei ponti illustrati precedentemente, costruiti prima del 1940.

I nuovi ponti vennero realizzati applicando i risultati ottenuti nella galleria del vento nello studio del comportamento aeroelastico flesso-torsionale del ponte. I calcoli statici vennero eseguiti con grande precisione usufruendo dell'avvento del calcolo elettronico.

La Figura 19 fornisce una vista del ponte stradale sul Gran Belt, l'East River, costruito nel 1998 dall'Italsider. Il ponte, con una campata centrale della luce di 1624 m e a sezione rastremata, costituì per molti anni il ponte di massima luce nel mondo. Attualmente il ponte sospeso della massima luce è l'Akashi, in Figura 20, la cui costruzione si sviluppò tra il 1988 e il 1998. La lunghezza della campata centrale è di 1991 m e quella delle campate laterali è di 960 m, come nello schema di Figura 21. La sezione della travata è reticolare chiusa e le fondazioni raggiungono la profondità di oltre 80 m. Una speciale galleria del vento consentì di studiare il comportamento aeroelastico del ponte su di un modello di sezione in scala 1:1. Il ponte venne investito nel 1995 da un sisma di 6.8 gradi della scala Richter senza riportare danni.

Ponti sospesi destinati anche a traffico ferroviario

Il grande ponte Akashi era stato destinato a traffico sia stradale che ferroviario, ma venne poi utilizzato per il solo traffico stradale. Tale circostanza mette in evidenza le problematiche specifiche dei ponti destinati a traffico ferroviario per i quali è cogente la richiesta di deformazioni molto ridotte sotto azioni statiche e dinamiche. Il treno, per il rischio di deragliamento, è in grado di superare solo pendenze molto lievi, rispetto a quelle possibili alle auto e camion. I ponti sospesi ferroviari presentano perciò lunghezze di campata più limitata e travate molto più rigide rispetto a quelle dei ponti destinati al solo traffico stradale. Un esempio in merito è il bel ponte sul Tago a Lisbona.

Fig. 20 – Vista d'insieme del ponte Akashi [1].

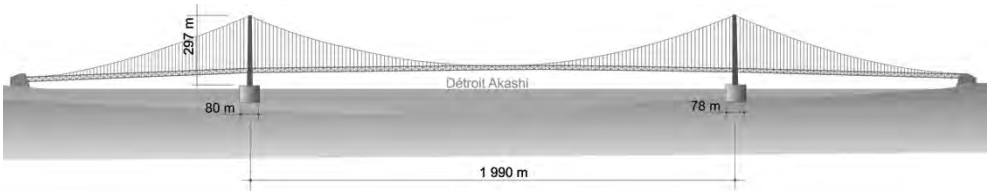


Fig. 21 – Lunghezze delle campate laterali e centrale del ponte Akashi: h/L = 1/142; F = 2,34 [1].

Il ponte sospeso a esercizio stradale e ferroviario di massima luce è lo Tsing Ma, a Hong Kong, risalente al 1997, a 3 corsie stradali superiori e 2 linee ferroviarie inferiori, con luce della campata centrale di 1377 m e larghezza di 41 m.

Bibliografia

Abdel Ghaffar A.M. 1979. Free Torsional and Free vertical vibrations of Suspension Bridges. Journal of the Structural Division, 767-788.

Benvenuto E. 1981. *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*. Firenze: Sansoni.

Bleich, F. 1948. Dynamic Instability of Truss Stiffened suspension bridges under wind action. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 114, 1177-1222.

Bruno D., Como M., Grimaldi A., Leonardi A. 2001. Deformability and Aerodynamic Stability as Limits in Long Span Bridges. In: International Association for Bridge and Structural Engineering Symposium Report, 84(8), 58-65.

Como M. 2002. Stabilità aerodinamica dei ponti di grande luce. In: *Introduzione all'Ingegneria Strutturale* (a cura di E. Giangreco). Torino: UTET.

Como M., Del Ferraro S., Grimaldi A. 2005. A parametric Analysis of the flutter Instability for Long Span Suspension Bridges. Wind and Structures, 8(1), 1-12.

Como M., Grimaldi A., Maceri F. 1985. Statistical behaviour of long-span cable stayed bridges, International Journal of Solids Structures, 21(8).

Cremona C., Foucriat J.C. 2002. *Comportement au vent des Ponts*. Paris: Ponts et Chaussées.

De Miranda F. 1980. *I ponti strallati di grande luce*. Bologna: Zanichelli.

De Miranda F., Grimaldi A., Maceri F., Como M. 1979. *Basic problems in long-span cable stayed bridge*. Report n. 25 of Department of Structures, University of Calabria.

Dischinger F. 1949. Hangebrucken fur schwerste Verkehrslasten. Bauingenieur, 2(3), 65-67; 2(4), 107-113.

Gimsing N.J., Georgakis C.T. 1997. *Cable supported bridges. Concepts and Design*. Hoboken: Wiley.
Harris J.B., Li K.P-L. 1996. *Masted Structures in Architecture*. London: Routledge.
Krall G. 1955. Stabilità Aerodinamica del Ponte Sospeso. Giornale del Genio Civile.
Melan J. 1888. Theorie der eisernen Bogenbrücken und der Hängebrücken, Konstruktion der Hängebrücken. In: *Handbuch der Ingenieurwissenshaften, Teil 2: Der Brückenbau, Volume 6. Seconda edizione*. Leipzig: Engelmann.
Moisseif, L.S., Lienhard F. 1933. Suspension bridges under the action of lateral forces. In: *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 98, 1080-1095.
Rankine W.J.M. 1858. *A Manual of Applied Mechanics*. London: Richard Griffin and Company.
Scanlan R.H., Tomko J.J. 1971. Airfoil and Bridge Deck Derivatives. Journal of the Engineering Mechanics Division, 97(6),1717-1737.
Singer C., Holmyard E.J., Hall A.R., Williams T.I. 1965. *Storia della tecnologia. Volume* 5: *L'età dell'acciaio.* Torino: Boringhieri.
Timoshenko S.P. 1983. *History of strength of materials. New York:* Dover Publisher.
Troitsky M.S. 1977. *Cable stayed bridges*. London: Crosby Lockwood Staples.
V. Karman T. 1963. *Aerodynamics*. New York: M. Graw Hill.
Weight, A.J. (2009) Critical analysis of the Great Belt East Bridge, Denmark. *Proceedings of Bridge Engineering Conference*, University of Bath, UK.

Sitografia

[1] Creative commons
https://creativecommons.it/chapterIT/
[2] Washington State Archives
https://www.sos.wa.gov/archives/
[3] Great Belt East Bridge
http://www.hochtief-construction.at/en/pdf/Great_Belt_East_Bridge.pdf

Lucio Fregonese

Fisica, scienze, applicazioni all'inizio dell'Unità d'Italia. Temi e posizioni epistemologiche nella rivista "Il Politecnico" (1860-1869)

Physics, sciences, applications at the start of unified Italy. Issues and epistemological standpoints in the journal "Il Politecnico" (1860-1869)

Sommario
Questo lavoro esplora la fisica italiana nel primo importante decennio (1860-1870) dell'unificazione nazionale cercando di dare elementi sui temi di dibattito e sullo status della disciplina anche in relazione alle altre scienze e all'idea delle applicazioni pratiche del sapere scientifico. Il punto di osservazione, quello dei contenuti apparsi nella rivista "Il Politecnico", è particolare ma in ogni caso significativo per l'importanza e l'ampio raggio d'azione della rivista. L'analisi fa emergere elementi rilevanti non solo sulle tematiche particolari della fisica ma anche sul più generale piano delle concezioni epistemologiche. Nel contesto della costituzione dei nuovi servizi meteorologici nazionali, affidati a Carlo Matteucci e Giovanni Cantoni, la meteorologia si presenta come campo di forte interesse teorico e applicativo della fisica. C'è anche un interessante intreccio con il tema biologico della generazione spontanea ed è in quest'area interdisciplinare che emerge la pionieristica interpretazione che Cantoni propone per il moto browniano in base alla teoria dinamica del calore. L'unificazione nazionale mette in luce l'arretratezza della fisica italiana e solleva la questione degli obiettivi da darle per un allineamento a quella dei paesi europei avanzati. Diversi contributi nella rivista mostrano un tentativo di compattare le forze italiane, anche da settori limitrofi alla fisica, intorno alle teorie della convertibilità ed equivalenza delle forze fisiche (convertibilità ed equivalenza delle varie forme dell'energia), o "fisica dell'avvenire", come Cantoni efficacemente chiama questo fondamentale orientamento che, già da due decenni, era sorto nei contesti della fisica tedesca e inglese (Mayer, Helmholtz, Grove, Joule).

Abstract
This work explores Italian physics in the important initial decade (1860-1870) of the national unification. The aim is to provide elements on the topics of debate and on the status of the discipline also in relation to the other sciences and to the idea of

the practical applications of scientific knowledge. The point of observation, that of the contents appeared in the journal “Il Politecnico”, is particular but anyway significant due to the importance and wide range of action of the journal. The analysis brings out relevant elements about the particular issues physics was concerned with as well as at the more general level of the epistemological conceptions. In the context of the constitution of the new national meteorological services, entrusted to Carlo Matteucci and Giovanni Cantoni, meteorology emerges as a field of strong theoretical and applicative interest for physics. There is also an interesting intertwining with the biological theme of spontaneous generation and this interdisciplinary area can be identified at the origin of the pioneering interpretation Cantoni proposed for Brownian motion on the basis of the dynamical theory of heat. The national unification highlights the backwardness of Italian physics and raises the question of the objectives to be given for alignment with that of the advanced European countries. Several contributions in the journal show an attempt to gather the Italian forces, also from sectors bordering on physics, around the theories of the convertibility and equivalence of physical forces (convertibility and equivalence of the various forms of energy), or “physics of the future”, as Cantoni effectively calls this fundamental orientation emerged nearly two decades earlier in the contexts of German and English physics (Mayer, Helmholtz, Grove, Joule).

Introduzione

In questo contributo si esplorano diversi aspetti della fisica in relazione alle sue applicazioni e al rapporto con le altre scienze nella prima decade della costituzione del nuovo stato unitario italiano, 1860-1870. Questa indagine viene fatta da una prospettiva particolare, ovvero considerando diversi contenuti e concezioni epistemologiche che, per il tema scelto, trovano spazio nelle pagine della rivista “Il Politecnico”, importante per la militanza culturale, lo sguardo e l’influenza ben oltre il baricentro lombardo in cui opera e l’enfasi sull’applicazione pratica delle scienze.

Il periodo cronologico è abbastanza delimitato ma di particolare interesse per la valenza fondativa che ha nell’avvio del processo unitario e del riordinamento nazionale delle istituzioni scientifiche e dell’istruzione.

Pensata inizialmente per il Regno di Sardegna allargato alla Lombardia, la legge Casati sul riordino della Pubblica Istruzione, del 13 novembre 1859, viene poi progressivamente estesa alle altre aree del nuovo Regno d’Italia ma con modalità differenti, determinate anche dalle condizioni e dalla spinta dell’iniziativa locale. La Fisica viene inquadrata nell’ambito della “Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali”. Le attività e gli insegnamenti applicativi di livello superiore che in vario modo si ricollegano alla Fisica trovano una collocazione a cavallo tra università, scuole di applicazione e istituti tecnici. A Torino, ad esempio, “annessa” alla Facoltà

di scienze matematiche, fisiche e naturali, viene subito istituita, "in surrogazione all'attuale Regio Istituto tecnico", una "Scuola d'applicazione" con i seguenti insegnamenti: Meccanica applicata alle macchine ed Idraulica pratica, Macchine a vapore e ferrovie, Costruzioni civili, idrauliche e stradali, Geodesia pratica, Disegno e macchine, Architettura, Mineralogia e chimica docimastica, Agraria ed Economia rurale (Procacci, 1998: 9). Un altro luogo importante del sapere tecnico-ingegneristico si aggiungerà nella capitale sabauda quando, con decreto del 23 novembre 1862, alle dipendenze del Ministero di agricoltura, industria e commercio, viene istituito un "Museo industriale" finalizzato a "promuovere l'istruzione industriale ed il progresso delle industrie e del commercio" (Procacci, 1998: 12). Efficacemente indirizzate da Francesco Brioschi (1824-1897), appartenuto al ristretto gruppo di politici e intellettuali che avevano contribuito alla stesura della legge Casati, le iniziative lombarde conducono, per gli studi di ingegneria civile e industriale, alla fondazione (1863) dell'Istituto tecnico superiore di Milano, già detto "Il Politecnico", che lo stesso Brioschi dirigerà ininterrottamente fino alla morte.

Analoghi processi di reimpiego dell'esistente e di riconfigurazione e implementazione delle istituzioni in termini di università, istituti tecnici, scuole, musei, gabinetti scientifici vengono avviati gradualmente nei vari centri del nuovo Regno d'Italia, ma gli esiti differiscono alquanto. Trattare esaurientemente l'ampio tema del rapporto tra fisica, scienze e applicazioni all'inizio del processo unitario richiederebbe quindi un'analisi approfondita e un quadro di sintesi di quanto ebbe luogo localmente nelle molteplici istituzioni dedicate all'insegnamento e alla promozione del sapere scientifico, tecnico e ingegneristico. Senza affrontare un compito così vasto, in questa sede si tenta di dare un contributo parziale considerando il tema, come anticipato, dalla prospettiva particolare ma in ogni caso rilevante della rivista "Il Politecnico".

Il giornale torna alle stampe nel 1860 con una nuova Serie che ripropone l'azione già esercitata nella fase risorgimentale (1839-1844)[1] a favore, come esplicitato nel titolo, letteralmente ripreso, degli "studi applicati alla prosperità e coltura sociale"[2]. La direzione viene nuovamente affidata a Carlo Cattaneo (1801-1869), la stessa grande personalità che in precedenza aveva fondato e diretto il giornale, che persegue ancora l'ideale di un legame tra le scienze della natura e le scienze dell'uomo.

Nel decennio in esame la rivista subisce cambiamenti editoriali profondi che sono rivelatori di un travaglio epistemologico altrettanto profondo. Dopo tre anni di direzione, nel 1863, Cattaneo esce sostanzialmente di scena. Dal 1863 al 1865 la rivista continua come Terza Serie[2], seguita, a partire dal 1866 sotto la direzione di Brioschi, da una Quarta Serie, che inizia a incrinare l'impianto unitario della pubblicazione separandola in due parti specializzate: "Letterario-Scientifica" e "Tecnica", che durano però due sole annate[3,4]. Segue un'effimera Quinta Serie[4], costituita dal solo volume letterario-scientifico per il 1868, affidato alla responsabilità di Romualdo Bonfadini (1831-1899). Nel 1869, previa fusione con il "Giornale dell'ingegnere-architetto ci-

vile e meccanico", la rivista, diretta sempre da Brioschi, riparte dando continuità alla sola parte tecnica, con il nome che manterrà fino al 1927: "Il Politecnico. Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale"[5].

Al di là del proclamato intento di voler procedere sullo stesso solco della rivista progenitrice, appare invece evidente l'allontanamento dall'originario ideale di integrazione tra scienze naturali e scienze umane a favore di obiettivi più specificamente tecnici e industriali. Assumendo «un carattere più positivo e più pratico», il nuovo giornale di Brioschi voleva infatti diventare «l'organo di quanto si fa di notevole in paese in fatto di *studii d'applicazione*, di *ingegneria* e di *industria*» e sceglieva parallelamente di «lasciare da parte gli studii di scienza pura o di troppo lontana applicazione» (Brioschi et al., 1869: 5)[6].

L'instabilità editoriale appena vista è un riflesso importante della tormentata dialettica tra le varie componenti epistemologiche e disciplinari che nella rivista si confrontano e si scontrano fino ad arrivare, alla fine del decennio, alla rottura degli iniziali intenti unitari e alla separazione specialistica degli studi ingegneristici e industriali nell'unico ramo superstite della pubblicazione originaria.

Assetto epistemologico, fisica, applicazioni della fisica nella Seconda (1860-1862) e Terza Serie (1863-1865) de "Il Politecnico"

I documenti di apertura, il manifesto e la prefazione, non firmati ma attribuibili a Cattaneo (Lacaita et al., 2005: 116), con cui il nuovo "Politecnico" torna alle stampe ripropongono l'ideale di una cultura "politecnica" allargata[7], non ristretta alle sole scienze della natura ma ampliata alle scienze dell'uomo e alle applicazioni di entrambe mediante le «arti» cui danno origine: «La legislazione è scienza; la milizia è scienza; la navigazione è scienza; alla luce della fisica e della chimica si vanno trasformando tutte le arti onde si nutrono i popoli e s'ingrossano i nervi della guerra. L'agricoltura, vetusta madre della nostra nazione, sta per tradursi tutta in calcolo scientifico» (s.a., 1860a: 5-6)[8]. Postulato fondante è l'assunto che «ogni scienza deve generare un'arte» e si giustifica così la scelta di riprendere a pubblicare, insieme a «tutto ciò che nella scienza è più **nuovo**», anche «tutto ciò che vi è di più **pratico** e applicabile alla vita» (s.a., 1860a: 7)[8,9]. Nel nuovo contesto politico l'«arte militare» dovrà primeggiare affinché «tutte le forze vive e tutte le circostanze terrestri e marittime della patria vengano efficacemente atteggiate alla sua difesa e alla sua gloria» (s.a., 1860a: 7-8)[8]. La scelta di considerare integralmente il sapere umano insieme alle sue varie estrinsecazioni pratiche giustifica lo spazio che si continuerà a dare anche «alle belle arti, alla bellissima di tutte, l'arte della parola» (s.a., 1860a: 8)[8].

Questa «teoria», così Cattaneo proclama nel manifesto, può essere compendiata sotto il «sublime titolo che Bacone pose in fronte al più noto dei suoi libri […] *Novum Organum sive de interpretatione naturae et regno hominis*», a significare «come la scienza, facendosi interprete della natura, può estender senza limite la potenza

dell'uomo sulla terra» (s.a., 1860a: 7)[8,9]. Il significato dell'espressione «*regno hominis*» viene chiarito nella successiva prefazione specificando che si tratta del «regno dell'intelligenza sulla terra» (s.a., 1860b: 9)[8]. Vale la pena soffermarsi sulla rielaborazione che conduce al motto posto a emblema epistemologico della rivista. Il «sublime titolo» non è infatti propriamente quello del testo baconiano, *Novum organum, sive indicia vera de interpretatione naturae*, ma un'ibridazione che riprende anche dal sottotitolo del secondo libro dell'opera, *Liber secundus aphorismorum, de interpretatione naturae, sive de regno hominis*.

Ma dai tempi di Bacone proprio le scienze e la loro progenie di arti hanno molto contribuito a cambiare il mondo e Cattaneo ne dà uno schizzo con tratti veloci ed efficaci. Se una volta l'argilla veniva usata solo per fare stoviglie, mattoni e tegole, ora la fisica, «sottoponendola a corrente voltiana, ne [ha] tratto l'allumio [sic]», materiale che la chimica, «imitando uno dei più splendidi sforzi della natura», riesce poi a dare «cristallizzato in rubino», oppure come «bel metallo bianco che […] promette infiniti servigi» (s.a., 1860b: 14)[8]. E per viaggiare nel mondo «quante migliaia di miglia di linee marittime popolate di navi a vapore [e] quante miglia ridotte a carriera ferrata in Europa e in America!». Ma la locomotiva è poca cosa rispetto «a quel miracolo del telegrafo elettrico», che a breve renderà «la superficie della terra simile a corpo vivo rivestito da rete quasi di nervi» (s.a., 1860b: 15)[8]. Pure l'agricoltura si giova della macchina a vapore ma moltissimo anche della chimica, perché «tutta l'agricultura è infine un'operazione chimica» (s.a., 1860b: 17)[8].

Le voci d'indice della Seconda e Terza serie della rivista sono utili per comprendere l'articolazione effettiva che viene data al sapere e alle discipline. Quelle più specificamente connesse all'analisi qui condotta sono le seguenti:

- Armi e ferrovie (1860-65).
- Chimica, Fisica ecc. (1860-1861).
- Istoria naturale ecc. (1860-1861).
- Chimica, Fisica, Istoria naturale, ecc. (1862-1865).
- Scienze economiche, ecc. (1860-1865).
- Legislazione e politica, ecc. (1860-1865).
- Filosofia, istoria delle scienze, ecc. (1860-1865).

Sono state incluse le scienze economiche perché sotto questa voce compaiono scritti che possono trattare anche questioni di carattere tecnico-scientifico in relazione alle loro ricadute economiche. La sezione politico-legislativa è rilevante per lo spazio che dà alla riorganizzazione nazionale degli studi. La sezione filosofica è interessante perché comprende contributi di storia e filosofia della scienza e sull'educazione.

Per completare il quadro della classificazione dei saperi va considerato anche il resto delle voci d'indice, ove troviamo altre due materie naturalistiche, "Scienze mediche, ecc." (1860-1865) e "Geografia, etnografia, ecc." (1860-1865), che in pratica non inte-

ragiscono con la fisica e che abbiamo perciò escluso dal precedente elenco. Le altre materie umanistiche, oltre alle tre incluse nell'elenco precedente per le ragioni dette, sono: "Istoria, Antiquaria, ecc." (1860-1865), "Belle arti, ecc." (1860), "Letteratura, Belle arti, ecc." (1861-1865), "Atti della Società di economia politica di Torino" (1862-1863). Ci sono infine altre due sezioni, "Commemorazioni" (1860-1864) e "Varietà" (1860-1861).

La rivista offre sostanzialmente tre tipologie di contributi: "memorie", anche di lunghezza ragguardevole, "notizie" di vario genere e "riviste" di libri e pubblicazioni.

Salta subito all'occhio l'accorpamento tra armi e ferrovie. La formazione del nuovo stato italiano pone naturalmente la questione dell'assetto militare nazionale e dell'impiego bellico delle ferrovie (Fugazza, 1989: 105-111). L'anno successivo Cattaneo motiverà questa voce dicendo che «per la guerra e per la pace, abbiamo già messo innanzi due parole: *Armi e ferrovie*» (Cattaneo, 1861: VII)[6].

Le variazioni nel modo di raggruppare la fisica, la chimica e la storia naturale sembrano risentire della recente costituzione della Facoltà universitaria delle scienze matematiche, fisiche e naturali. Quasi vent'anni prima, nella serie iniziale della rivista, la chimica e la fisica erano comparse insieme sotto il titolo "Chimica, Fisica esperimentale, ecc.", separate dalla storia naturale, raggruppata invece con diversi campi della medicina: "Istoria naturale, Medicina, Chirurgia, Veterinaria, Sanitaria, ecc." (Politecnico, 1843: 615 e 617)[10]. Nella Seconda Serie, dopo due anni di rubricazione individuale, la storia naturale si affiancava, come nella facoltà universitaria, alla fisica e alla chimica. Va notata invece, sempre rispetto alla costituzione della nuova facoltà universitaria delle scienze, la quasi esclusione dalla rivista della matematica, ridotta a un esiguo numero di contributi nella sezione di filosofia e storia delle scienze.

La numerosità dei contributi nelle sezioni dedicate a chimica, fisica e storia naturale si addensa intorno a tre temi principali: telegrafia, meteorologia e generazione spontanea, argomento a prima vista estraneo a questa analisi, ma che allora si intrecciò in modo complesso e interessante con la fisica. La telegrafia compare solo nel 1861, con una serie di numerose ma brevi notizie che danno informazioni su tecniche e tipologie di apparecchi e su varie linee telegrafiche, continentali e intercontinentali. La meteorologia e la generazione spontanea hanno invece maggiore ampiezza e continuità e la meteorologia comparirà fino alla Quarta Serie della rivista. Per quanto riguarda la fisica, spiccano anche due contributi di ampio respiro, inseriti tra le memorie. Il primo, intitolato "Della fisica e del modo di studiarla e d'insegnarla ne' tempi passati e a' dì nostri" (Govi, 1862), ha valore emblematico, trattandosi della "Prelezione" con cui Gilberto Govi (1826-1889) aprì, a inizio 1862, il suo corso di Fisica sperimentale all'Università di Torino, città che allora era la capitale del nuovo Regno d'Italia. Nel volume del trimestre successivo, già in carica come ministro della Pubblica istruzione, rispose Carlo Matteucci (1811-1868) con lo scritto "Del metodo sperimentale e delle teorie fisiche" (Matteucci, 1862), preparato per una progettata ma non ultimata riedizione delle sue lezioni di fisica. Oltre che per la carica ministeriale,

solo da marzo a dicembre 1862 ma contraddistinta dall'emanazione per decreto, il 14 settembre, dei regolamenti per le nuove Università e Facoltà nazionali, Matteucci è da tempo una figura scientifica di rilievo non solo nazionale, in particolare per i suoi studi di elettrofisiologia[11]. Dal 1840 insegna Fisica sperimentale all'Università di Pisa e nel 1844, esattamente 50 anni dopo Volta, riceve come lui la Copley medal della Royal Society per le ricerche che ha dedicato all'elettricità animale. Non è qui possibile analizzare con il necessario approfondimento questi lavori che in qualche modo "Il Politecnico" propone come fondativi della nuova fisica nazionale.

Tralasciando la telegrafia per la presenza tutto sommato limitata, nonostante la numerosità delle notizie riportate, torniamo agli altri due temi che più hanno risonanza nella rivista riportata a nuova vita.

I contributi di meteorologia portano l'attenzione storica su diversi aspetti importanti del primo difficoltoso e solo parzialmente esplorato avvio delle iniziative per dare un assetto nazionale al settore. Sullo sfondo si coglie la concezione della meteorologia come disciplina in fase di complessa costruzione scientifica, ma anche come campo che beneficia ampiamente dell'applicazione delle teorie e degli strumenti della fisica a vantaggio soprattutto dell'agricoltura e della navigazione. Un'importante campagna meteorologica internazionale diede l'occasione a "Il Politecnico" di farsi promotore di una «Società meteorologica» nazionale, «che abbracci tutta la penisola e le tre grandi isole italiche» (Cattaneo e Galton, 1861: 650). Ideata dall'inglese Francis Galton (1822-1911), tra i fondatori della meteorologia moderna, la campagna meteorologica in questione si proponeva di raccogliere dati meteorologici "sincroni" per tutto il mese di dicembre 1861 su una vasta area d'Europa, compresa tra le latitudini 42° 25' e 61° 00' e tra le longitudini 0° 00' e 20° 30' (Cattaneo e Galton, 1861: 651), includendo quindi anche l'Italia settentrionale e centrale ma rimanendo circa 50 km a nord di Roma. La raccolta di dati sincroni, ovvero «*a un dato istante in più regioni*», anziché delle «consuete osservazioni *quotidiane* tra loro *indipendenti*», era fondamentale perché mirava «a rilevare un altro più vasto ordine di fenomeni, cioè le generali influenze delle grandi correnti aeree su tutta la superficie della terra» (Cattaneo e Galton, 1861: 650)[6]. Il metodo di Galton si propone di ottenere una rappresentazione grafica sinottica di osservazioni meteorologiche condotte su ampia scala geografica. Inserito nel volume per il secondo semestre del 1861, l'annuncio della campagna lanciata da Galton non compariva in tempo utile per reclutare collaboratori tra i lettori de "Il Politecnico" ma la rivista lo pubblicizzava comunque, sfruttando in sostanza l'importante iniziativa internazionale come traino per dare impulso all'idea della costituenda società meteorologica nazionale. Insieme alla traduzione italiana della circolare diramata da Galton per la campagna di fine 1861, la rivista dava un'idea chiara della meteorologia sincrona pubblicando anche vari documenti di corredo: la mappa meteorologica sincrona già realizzata da Galton per l'Inghilterra, il modulo per riportare i dati in forma standardizzata, la

tabella con i simboli grafici utilizzati, le tavole di conversione per le unità di misura (Cattaneo e Galton, 1861: 651-655).

Nel volume del trimestre successivo si tornava sull'idea della società meteorologica nazionale pubblicando una "Notizia", anonima ma attribuibile a Cattaneo, intitolata "Sull'Istituto Lombardo e la nostra proposta di una Società meteorologica italiana" (s.a., 1862: 246)[8]. I potenziali aderenti e collaboratori venivano individuati in una variegata popolazione comprendente anche gli ingegneri: «astronomi italiani, professori di fisica, medici, agronomi, ingegneri» (s.a., 1862: 246)[8]. Il contenuto della notizia mostra però la piega regionalistica che l'iniziativa prendeva fin dall'inizio. Si ricava che, nell'adunanza del 28 novembre 1861, l'Istituto lombardo di scienze lettere e arti aveva incaricato i professori Francesco Carlini (1783-1862) e Luigi Magrini (1802-1868) di studiare come l'istituzione potesse contribuire alla campagna meteorologica avviata da Galton e di fare proposte al riguardo. Nella relazione che i due incaricati restituiscono per adempiere alla richiesta si suggeriva la costituzione di «una società meteorologica lombarda», che solo in seconda battuta si potrà «estendere a tutta l'Italia» (s.a., 1862: 246)[8]. Fu plausibilmente Magrini a dare questo orientamento più locale e graduale perché, sollecitato già in passato a farsi promotore di una associazione meteorologica lombarda, «colse l'attuale occasione», essendo anche sua convinzione che fosse «missione dell'Istituto il concorrere all'avanzamento della meteorologia e della fisica terrestre, e particolarmente lo studiare il clima della Lombardia tanto in sé medesimo, quanto ne' suoi rapporti coll'agricoltura, coll'igiene, col commercio e colle arti industriali» (s.a., 1862: 246)[8]. La relazione di Carlini e Magrini fornì la base per il lavoro di una giunta costituita da loro due insieme ad altri sette membri dell'Istituto e si giunse alla stesura di un rapporto che venne da esso approvato e pubblicato nel volume de "Il Politecnico" per il terzo trimestre del 1862 con il titolo "Sulla fondazione di una società meteorologica per la Lombardia" (Magrini, 1862: 17). Il documento restringeva il progetto alla sola Lombardia. Diviso in tre parti, nella prima dava alcuni «cenni sui progressi già fatti e su quelli che si possono attendere nella meteorologia» (Magrini, 1862: 18). Nella seconda presentava lo statuto provvisorio della società, a proposito del quale si dava l'importante informazione che la stesura dei «regolamenti, costitutivo e amministrativo, dell'associazione» era stata fatta «giovandosi di alcune norme seguite dalla società meteorologica di Francia» (Magrini, 1862: 17-18); significativa la norma statutaria che stabiliva che la società avrebbe pubblicato, come in realtà non accadde, «periodicamente il resoconto de' suoi lavori nel Politecnico, in forma di Annuario» (Magrini, 1862: 31). La terza parte illustrava una serie di dieci misurazioni sincrone, includenti elettricità atmosferica, magnetismo terrestre, igiene e sale cliniche, da riportare su un annesso "quadro delle osservazioni": anche in questo caso l'orientamento era filofrancese, non senza una rivendicazione di primato lombardo, dato che, come riferimento per il tempo, si sarebbe dovuto prendere «l'orario fin dall'anno 1835 stabilito nell'Osservatorio milanese [di Brera], e più tardi adottato da Le Verrier a Parigi» (Magrini, 1862: 18).

Quasi in contemporanea con questi sforzi lombardi, Matteucci sfruttava la sua permanenza in carica come Ministro della Pubblica istruzione per avviare un servizio meteorologico nazionale. Obiettivo centrale doveva essere la produzione di un volume sul clima d'Italia. Tre anni più tardi egli richiamava queste iniziative ne "Il Politecnico" in un articolo intitolato "Sull'ordinamento degli studi meteorologici e specialmente di un servizio meteorologico speciale per uso della marina in Italia" (Matteucci, 1865). L'uscita dell'articolo non era casuale perché, nell'aprile del 1865, Matteucci veniva incaricato dal Ministero della marina di organizzare un servizio meteorologico per la navigazione, da integrare, per la trasmissione dei dati, con il servizio telegrafico nazionale (Iafrate, 2008: 156). Affidato alla sua direzione, questo servizio meteorologico-telegrafico iniziò a operare nell'aprile del 1866, coordinato da un ufficio centrale istituito presso l'osservatorio meteorologico del Museo di fisica e storia naturale, che lo stesso Matteucci dirigeva a Firenze. A questa iniziativa se ne sovrapponeva però un'altra, del Ministero di agricoltura, industria e commercio, per un altro servizio meteorologico, promosso con circolare del 14 gennaio 1865 e attuato tramite la Direzione di statistica, alle dipendenze del ministero. La direzione scientifica veniva data a Giovanni Cantoni (1818-1897), il docente che dal 1860 occupava la cattedra di Fisica sperimentale dell'Università di Pavia. Nel 1866 Cantoni stabiliva la sede operativa di questo servizio presso l'osservatorio meteorologico dell'ateneo pavese. All'iniziativa aderivano ventuno studiosi con proprie stazioni meteorologiche (Iafrate, 2008: 150-151).

L'interesse de "Il Politecnico" per la generazione spontanea è un riflesso della centralità che il tema aveva già acquisito nella scienza lombarda. La discussione internazionale si animò soprattutto quando il naturalista Félix Archimède Pouchet (1800-1872) ripropose la generazione spontanea, o "eterogenesi", in un libro (Pouchet, 1859) che contrastava la teoria della "biogenesi" di Louis Pasteur (1822-1895). Da alcuni anni però Paolo Mantegazza (1831-1910), che dal 1860 al 1869 occuperà la cattedra di patologia generale all'Università di Pavia, aveva già portato la generazione spontanea all'attenzione dell'Istituto lombardo, sottoponendo un'ampia memoria sperimentale (Mantegazza, 1852). Per la complessità e la non univocità dei risultati sperimentali, il dibattito tra le opzioni eterogenista e biogenista, ciascuna delle quali con diverse determinazioni al proprio interno, si protrarrà per parecchio tempo. Senza addentrarsi in questo intricato confronto[12], ci si limita a considerare solo lo stimolo che i dibattiti sulla generazione spontanea esercitarono sui pionieristici risultati che Cantoni ottenne sul moto browniano, complesso fenomeno fisico che si presenta facilmente durante le osservazioni microscopiche dedicate allo studio della generazione biologica. Anche attraverso i colleghi pavesi, Cantoni conosce queste osservazioni e dibattiti. Nel 1866, con Eusebio Oehl (1827-1903), il docente di fisiologia sperimentale, ha anzi già avviato una collaborazione sperimentale appositamente dedicata al moto browniano. Nel 1867 Cantoni pubblicherà una memoria (Cantoni, 1867) che è considerata storicamente importante perché avanzava uno dei primissimi tentativi, se non il primo, di

interpretazione cinetico-meccanica del moto browniano. La complessità del fenomeno gli impedirà di inoltrarsi molto nella soluzione del problema e sarà solo all'inizio del secolo successivo che, sulla base della teoria cinetico-molecolare del calore, Albert Einstein riuscirà finalmente a dare una spiegazione fisica coerente dell'intricato effetto.

Assetto epistemologico, fisica, applicazioni della fisica nella Quarta (1866-1867) e Quinta (1868) Serie de "Il Politecnico"

I documenti programmatici della Quarta Serie de "Il Politecnico" giustificano la suddivisione della rivista nelle due parti Letterario-Scientifica e Tecnica ed esplicitano le basi epistemologiche da cui si riparte.

Nel manifesto della nuova serie, firmato da Brioschi[13], il discorso torna a gravitare fortemente intorno alla questione delle "arti", che ora saranno separate in due diversi gruppi, raccolti nelle relative parti Letterario-Scientifica e Tecnica, per il fatto che «alcune fra quelle Arti sono siffattamente progredite in questi anni da meritarsi pubblicazioni e lettori speciali» (Brioschi, 1866: V). Questo esplicito riconoscimento della crescita e della specializzazione dei saperi applicati prende atto delle tensioni che si erano accumulate e pone bruscamente fine al tentativo che la rivista aveva sin lì fatto per tenere insieme i vari saperi e per dare spazio non solo alle arti utili ma anche alle dinamiche scientifiche che le generano.

Nell'introduzione al primo volume tecnico il rapporto tra "arti" e "scienze" viene approfondito partendo da una suddivisione delle scienze in tre gruppi differenti. Il primo comprende le «scienze matematiche propriamente dette» che, comunque si considerino, «non ammettono parte tecnologica» (s.a., 1866a: X)[14]. Il secondo gruppo raccoglie le "scienze fisiche" che, pur nascendo per «amore della scienza per la scienza», riescono tuttavia a produrre «altrettanti progressi nelle loro tecnologie» (s.a., 1866a: X-XI)[14]. Nel terzo gruppo rientrano le "scienze fisiche" che sono sorte non per esigenza dell'intelletto ma «unicamente a soddisfare bisogni materiali» (s.a., 1866a: XI)[14]. Per la ricaduta tecnologica e pratica, la rivista si occuperà solo del secondo e del terzo gruppo di scienze, rinunciando anche ad approfondire la parte, peraltro "importantissima", che le scienze matematiche svolgono "nei progressi" delle "scienze naturali", se «adoperate opportunamente come stromento [sic] di ricerca» (s.a., 1866a: XI)[14].

Il manifesto e l'introduzione al primo volume letterario-scientifico rivelano altre due scelte epistemologiche centrali. Nel manifesto si proclama che «il metodo sperimentale è oggi l'unico metodo scientifico» (Brioschi, 1866: VII), mentre l'introduzione porta drammaticamente in scena una lotta «ancor viva fra i seguaci della scuola positiva e quelli delle scuole metafisiche» (s.a., 1866b: X)[14], non lasciando dubbi sulla scelta di campo della rivista e rimandando, per il tipo di positivismo abbracciato, all'articolo (Villari, 1866) «dell'egregio nostro amico, il professore Pasquale Villari», che, «a modo di programma» (s.a., 1866b: XI)[14], compariva all'inizio del primo volume letterario-scientifico.

Questo quadro epistemologico generale fornisce la base per giustificare la separazione dello spazio specificamente "tecnico" all'interno della rivista, nel quale la presenza della matematica aumenta rispetto al passato, non in contrasto con le delimitazioni viste poco fa, miranti a escluderla in realtà solo come matematica pura e come sofisticato strumento che interviene nei meccanismi della scoperta scientifica. Anche l'aspetto grafico cambia e in diversi articoli della parte tecnica, oltre all'aritmetica e all'algebra, si trova anche il calcolo integrale e differenziale. La pubblicazione dei nuovi fascicoli tecnici si propone di «riempire una lacuna più volte lamentata» e vuole ora rivolgersi specialmente «agli ingegneri, agli industriali, ai cultori di studi tecnici» (s.a., 1866a: XI)[14]. In pratica così si avvia già la linea d'azione che sarà selettivamente imboccata e sviluppata dal nuovo "Il Politecnico" di Brioschi.

Per quanto riguarda la fisica, nelle tre annate letterario-scientifiche conviene segnalare due punti particolarmente importanti, che si legano nuovamente alle figure di Matteucci e di Cantoni.

Il primo punto riguarda ancora la meteorologia, che continua a essere vista come settore di ampia applicazione della fisica e di utilità economica e sociale. Considerato, come visto, il coinvolgimento di Matteucci e Cantoni nelle iniziative che, tra il 1865 e il 1866, cercano di avviare la meteorologia nazionale, non casuale appare l'articolo, emblematicamente intitolato "Gli intenti della meteorologia", che Cantoni fa uscire nel primo volume della nuova serie letterario-scientifica (Cantoni, 1866). Questo scritto può infatti essere visto come una risposta che Cantoni dà all'articolo programmatico che Matteucci aveva pubblicato quando era coordinatore meteorologico legato al Ministero della marina. In questo momento Cantoni opera con analogo ruolo ma alle dipendenze del Ministero di agricoltura, industria e commercio. Considerati congiuntamente, i due articoli forniscono elementi molto utili per comprendere la situazione e per cogliere i personalismi, le sovrapposizioni e le contraddizioni che ostacolavano e continuano a ostacolare gli inizi della meteorologia nazionale.

L'altro punto di particolare interesse ha a che fare con gli orientamenti fondamentali della fisica. Nel volume letterario-scientifico che da solo costituisce la Quinta Serie della rivista, in occasione dell'improvvisa e immatura morte di Matteucci, Cantoni pubblica un ampio articolo in due parti intitolato "Su le opere e gli scritti di Carlo Matteucci" (Cantoni, 1868): il traumatico evento e l'importanza scientifica e politica dello scomparso gli davano l'opportunità di fare bilanci di ordine scientifico, nella prima parte, e di concentrare l'analisi, nella seconda, sullo stato dell'istruzione nel paese. Nella parte scientifica la discussione delle opere e delle ricerche di Matteucci viene sfruttata anche per fare il punto sulle condizioni della fisica italiana rispetto a quella internazionale. Con un efficace slogan, Cantoni addita a un certo punto la via verso una «fisica dell'avvenire» (Cantoni, 1868: 84), intendendo con questo che l'azione comune della fisica italiana si sarebbe dovuta concentrare intorno alla teoria dinamica del calore e alle teorie della convertibilità ed equivalenza delle forze fisi-

che, che già tanti frutti avevano dato fuori d'Italia, soprattutto in Germania e in Inghilterra. L'espressione si ispira plausibilmente alla conclusione della fondamentale memoria in cui, nel 1847, Hermann von Helmholtz (1821-1894) aveva formulato il "principio di conservazione della forza" (conservazione dell'energia) per numerose aree della fisica, dandone anche una trattazione matematizzata. Conscio del valore dei risultati ottenuti, il giovane fisiologo e fisico tedesco sintetizzava efficacemente gli obiettivi immediati e futuri che si era riproposto pubblicando quel lavoro: «esporre ai fisici, con la maggiore possibile completezza, l'importanza teorica, pratica ed euristica della legge di conservazione della forza», auspicando inoltre che una sua «esauriente convalida» potesse sperabilmente costituire «uno dei principali compiti della fisica nel prossimo futuro» (Helmholtz, 1967: 109).

Cantoni prende atto del ritardo della fisica italiana e la sprona ad allinearsi a quella europea, dando peraltro rilievo a qualche contributo significativo che essa era comunque stata in grado di dare, in particolare quello del gesuita Angelo Secchi (1818-1878) con il suo «libro pregevolissimo sull'unità delle forze fisiche» (Cantoni, 1868: 85)[15]. Vicino alla pubblicazione del libro di Secchi troviamo diversi altri contributi italiani che gravitano intorno al tema delle forze fisiche. Cantoni non li cita esplicitamente ma è quasi certo che li tenesse presenti e che la sua esortazione alla fisica italiana prendesse atto e cercasse di rinforzare una tendenza già in atto. Nel 1864 Pietro Blaserna[16] (1836-1918) apriva il suo corso di Fisica sperimentale all'Università di Palermo con la prolusione intitolata "Del principio di conservazione della forza" (Blaserna, 1864). Proprio da "Il Politecnico" Mantegazza e Oehl, colleghi pavesi di Cantoni, davano risonanza al tema, considerandolo dai punti di vista della medicina e della fisiologia. Di Mantegazza la rivista pubblicava, nel 1866, un "Saggio sull'economia delle forze vitali" (Mantegazza, 1866), in cui l'autore stabiliva vari paralleli tra il principio fisico di conservazione delle forze e il complesso dominio delle varie forze vitali negli organismi. Nel 1867 la rivista proponeva anche l'articolo di Oehl "Il lavoro" (Oehl, 1867), estratto dalla prolusione che egli aveva tenuto alla fine del 1866 per l'apertura dell'anno accademico all'Università di Pavia.

Nonostante queste promettenti premesse, la fisica italiana non andrà nella direzione auspicata da Cantoni, non riuscendo in particolare a integrare le capacità sperimentali con la modalità speculativa e teorica che aveva fortemente contribuito alla formulazione del principio di conservazione dell'energia. Questa impronta rimarrà fino all'epoca di Enrico Fermi (1901-1954), al quale, solo nel 1926, andrà la prima cattedra italiana di Fisica teorica.

Bibliografia

Blaserna P. 1864. *Del principio della conservazione della forza. Prolusione al corso di fisica sperimentale nella R. Università di Palermo*. Palermo: Amenta.

Brioschi F. 1866. Manifesto della Quarta Serie. Il Politecnico, Parte L-S, 1, V-VII.

Brioschi F., Colombo G., Cottran A., Lombardini E., Tatti L. 1869. [Prefazione]. Il Politecni-

co. Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale, 1, 5-6.
Brömer R. 2011. The origin of life. In: *Plastidules to Humans. Leopoldo Maggi (1840-1905) and Ernst Haeckel's naturalist philosophy in the Kingdom of Italy*. Annals of the History and Philosophy of Biology, Vol. 14 (2009), 37-49. Universitätsverlag Göttingen.
Cantoni G. 1866. Gli intenti della meteorologia. Il Politecnico, Parte L-S, 1, 432-444.
Cantoni G. 1867. Su alcune condizioni fisiche dell'affinità e sul moto browniano. Il Nuovo Cimento, 27, 156-167.
Cantoni G. 1868. Su le opere e gli scritti di Carlo Matteucci. Il Politecnico, Parte L-S, 6, 75-91; 225-242.
Cattaneo C. 1861. Prefazione. Il Politecnico, 10, V-XII.
C.[attaneo C.], Galton F. 1861. Osservazioni meteorologiche sincrone fatte in Inghilterra e ridotte in forma di mappa dal sig. F. Galton di Londra. Il Politecnico, 11, 649-655.
Focaccia M. 2016. *Uno scienziato galantuomo a via Panisperna. Pietro Blaserna e la nascita dell'Istituto fisico di Roma*. Firenze: Olschki.
Fugazza M. 1989. *Carlo Cattaneo. Scienza e società 1850-1868*. Milano: Franco Angeli.
Govi G. 1862. Della fisica e del modo di studiarla e d'insegnarla ne' tempi passati e a' dì nostri. Prelezione detta nella Università di Torino il dì 3 gennaio 1862 dal prof. Gilberto Govi. Il Politecnico, 13, 5-26.
Helmholtz H. von. 1967. Sulla conservazione della forza. In: *Opere scelte di Hermann von Helmholtz* (a cura di V. Cappelletti), 49-109. Torino: UTET.
Iafrate L. 2008. *Fede e scienza: un incontro proficuo. Origini e sviluppo della meteorologia moderna fino agli inizi del '900*. Roma: Ateneo pontificio Regina Apostolorum.
Lacaita C.G. 2003. Scienza, tecnica, sviluppo: da "Il Politecnico" di Cattaneo al Politecnico di Brioschi. In: *Da "Il Politecnico" di Cattaneo al Politecnico di Brioschi. Atti del Convegno e catalogo della mostra, Milano, 20 febbraio 2002* (a cura di A. Galbani, A. Silvestri), 1-20. Milano: Politecnico di Milano.
Lacaita C.G. et al. 2005. *"Il Politecnico" di Carlo Cattaneo. La vicenda editoriale, i collaboratori, gli indici* (a cura di C.G. Lacaita, R. Gobbo, E.R. Laforgia, M. Priano). Lugano-Milano: Giampiero Casagrande editore.
Magrini L. 1862. Sulla fondazione di una società meteorologica per la Lombardia. Rapporto della commissione nominata dall'Istituto Lombardo, letto all'Istituto medesimo. Il Politecnico, 14, 17-38.
Maiocchi R. 2000. Il "Politecnico" di Francesco Brioschi. In: *Francesco Brioschi e il suo tempo (1824-1897). I Saggi* (a cura di C.G. Lacaita e A. Silvestri), 51-69. Milano: FrancoAngeli.
Mantegazza P. 1852. Ricerche sulla generazione degli infusorii, e descrizione di alcune nuove specie. Giornale dell'I.R. Istituto lombardo di scienze, lettere ed arti e biblioteca italiana, 3(18), 467-490.
Mantegazza P. 1866. Saggio sull'economia delle forze vitali. Il Politecnico, Parte L-S, 2, 405-432.
Matteucci C. 1862. Del metodo sperimentale e delle teorie fisiche. Il Politecnico, 14, 5-16.
Matteucci C. 1865. Sull'ordinamento degli studi meteorologici e specialmente di un servizio meteorologico speciale per uso della marina in Italia. Il Politecnico, 25, 129-153.
Oehl E. 1867. Il lavoro. ll Politecnico, Parte L-S, 3, 41-54.
Piccolino M. 2011. Carlo Matteucci (1811-1868). Tra il Risorgimento dell'Italia e la rinascita dell'elettrofisiologia. Atti e memorie. Memorie scientifiche, giuridiche, letterarie - Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti di Modena, Serie 8°, 14(2), 261-318.

Pouchet F.A. 1859. *Hétérogénie ou Traité de la génération spontanée. Basé sur de nouvelles expériences*. Paris: J.B. Baillière et fils.
Procacci P. (a cura di). 1998. *La "Scuola d'applicazione per gl'ingegneri" e il "Reale Museo Industriale Italiano". Raccolta di Leggi e Reali Decreti dal 1859 al 1906*. Torino: Politecnico di Torino, Centro museo e documentazione storica.
s.a. 1860a. Il Politecnico. Nuova Serie. Manifesto. Il Politecnico, 8, 5-8.
s.a. 1860b. [Prefazione]. Il Politecnico, 8, 9-19.
s.a. 1862. L'Istituto Lombardo e la nostra proposta di una Società meteorologica italiana. Il Politecnico, 12, 246-248.
s.a. 1866a. Introduzione. Il Politecnico, Parte T, 1, IX-XI.
s.a. 1866b. [Introduzione]. Il Politecnico, Parte L-S, 1, IX-XI.
Secchi A. 1864. *L'unità delle forze fisiche. Saggio di filosofia naturale*. Roma: Tipografia Forense.
Silvestri A. 1988. Le ragioni di un titolo: "Politecnico". Politecnico. Rivista del Politecnico di Milano, 1(1).
Toscano F. 2011. *Per la scienza, per la patria. Carlo Matteucci, fisico e politico nel Risorgimento italiano*. Milano: Sironi.
Villari P. 1866. La filosofia positiva e il metodo storico. Il Politecnico, Parte L-S, 1, 1-29.

Note

1. Il Politecnico. Repertorio mensile di studi applicati alla prosperità e coltura sociale. 1839-1844. [Prima Serie], 1-7. Pubblicato a Milano da Pirola (poi Chiusi).
2. Il Politecnico. Repertorio mensile di studi applicati alla prosperità e coltura sociale. 1860-1865. Seconda [e Terza] Serie, 8-27. Pubblicato a Milano dagli Editori del Politecnico.
3. Il Politecnico. Repertorio mensile di studi letterari, scientifici e tecnici. Parte Tecnica. 1866-1867. Quarta Serie, 1-4. Pubblicato a Milano dall'Amministrazione del Politecnico.
4. Il Politecnico. Repertorio mensile di studi letterari, scientifici e tecnici. Parte Letterario-Scientifica. 1866-1868. Quarta e Quinta Serie, 1-6. Pubblicato a Milano dall'Amministrazione del Politecnico.
5. Il Politecnico. Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale. 1869, 1. Pubblicato a Milano dalla Tipografia e Litografia degli Ingegneri.
6. I corsivi sono nell'originale.
7. Sul nome della rivista e sulla concezione della cultura politecnica in Cattaneo, si veda (Silvestri, 1988; Lacaita, 2003: 4-6).
8. Non firmato ma attribuibile a Cattaneo.
9. I grassetti sono nell'originale.
10. Alle pagine 613-623 il volume offre un "Indice generale dei primi sei volumi del Politecnico".
11. Su Matteucci, si veda (Toscano, 2011; Piccolino, 2011).
12. Per un inquadramento e per la bibliografia, si rimanda a (Brömer, 2011).
13. Sugli orientamenti epistemologici e il ruolo di Brioschi, si veda (Maiocchi, 2000).
14. Non firmato ma attribuibile a Brioschi.
15. Cantoni si riferisce qui a (Secchi, 1864).
16. Su Blaserna, si veda (Focaccia, 2016).

Michela Benente, Cristina Boido

Nuovi sistemi costruttivi di primo Novecento: dai disegni tecnici di progetto alle opere realizzate, testimonianze da riconoscere e da valorizzare

New construction systems of the early 20th century: from the technical drawings of the project to the buildings, testimonies to be recognized and valued

Sommario
Il contributo si propone di illustrare i sistemi costruttivi e le modalità progettuali utilizzate ai primi del Novecento per la costruzione di numerosi edifici scolastici a Torino. L'Ufficio dei lavori pubblici della municipalità torinese sul volgere del secolo è particolarmente attivo nella progettazione e nella costruzione di edifici specificatamente dedicati ad accogliere le scuole dei diversi ordini e gradi. La crescente domanda di scolarizzazione porta con sé la necessità di spazi che, rispondenti ai canoni funzionali, sono oggetto di sperimentazioni di particolare interesse. Il gruppo degli ingegneri comunali progetta e realizza numerosi edifici che coniugano l'innovazione tecnologica alle nuove esigenze didattiche, ma soprattutto a quelle igieniche. Tra gli edifici, quello che accoglie la sede degli Istituti superiori femminili si presenta quale prima sperimentazione di tali principi. La costruzione non solo viene riconosciuta come significativa dal punto di vista dell'ingegneria sanitaria, ma si presenta come esempio di particolare interesse sia per l'applicazione del sistema Hennebique, sia per la ricchezza e il pregio degli apparati decorativi. Lo testimonia non solo l'edificio collocato nel centro storico di Torino, ma anche la ricca documentazione iconografica di progetto, strumento indispensabile per la lettura dell'impiego delle nuove tecnologie costruttive e elemento di riconoscimento del valore culturale del manufatto stesso.

Abstract
The paper aims to illustrate the construction systems and design methods used in the early 20th century for the realization of many school buildings in Turin. At the turn of the century, the Public Works Department of the Turin municipality was particularly active in the design and construction of buildings specifically dedicated to accommodating schools of different levels and grades. The growing demand for schooling brought with it the need for spaces that met functional standards and were the subject of particularly interesting experiments. The group of municipal engine-

ers designed and built numerous buildings combining technological innovation with new teaching requirements and, above all, hygiene requirements. Among the buildings, the one housing the Women's High Schools was the first to experiment with these principles. The building is recognized as significant from the point of view of sanitary engineering and is an example of particular interest both for the application of the Hennebique system and for the richness and value of the decorative features. This is attested not only by the building located in the historic center of Turin, but also by the rich iconographic documentation of the project, an indispensable tool for interpreting the use of new construction technologies and an element of recognition of the cultural value of the building itself.

Introduzione

Torino e il Piemonte nella seconda metà dell'Ottocento sono interessati da fenomeni di industrializzazione che portano, tra le altre cose, alla necessità di un sistema di apprendimento sistematico finalizzato alla lotta all'analfabetismo e alla formazione professionale. La Città di Torino, già attiva nel secolo precedente nell'ambito dell'istruzione popolare, si distinguerà nel campo dell'edilizia scolastica. Ancor prima della Legge Casati del 1859 era presente infatti un assessorato all'Istruzione ed esistevano specifiche "Istruzioni per il governo delle scuole di Torino". Sino al 1870, tuttavia, le scuole sono accolte in locali in affitto o in edifici non pensati per tale funzione. Nel 1879, a seguito della legge sull'obbligo scolastico, la legge Coppino del 1877, il Comune emana le "Norme per la costruzione e l'arredamento delle Scuole Elementari" e dà avvio alla costruzione di numerosi edifici scolastici, che rappresentano un riferimento, oltre che l'elemento propulsivo rispetto alla costruzione delle borgate cittadine. Le scuole elementari sono progettate, costruite, trasformate o ampliate dall'Ufficio d'Arte, poi Ufficio tecnico del Comune, con la responsabilità degli Ingegneri Capo che negli anni si sono susseguiti, tra cui Tommaso Prinetti, Giorgio Scannagatta e Casimiro Dolza.

L'impegno comunale porta nel decennio dal 1881 al 1891 alla costruzione di ventitré scuole, con edifici di maggiori dimensioni nell'area centrale e più piccoli lungo la cinta daziaria. Il volgere del secolo è invece segnato dalla costruzione di due soli grandi edifici scolastici nel centro della città, ma soprattutto da una riflessione teorica e dalla formulazione di proposte legate al concorso che porterà alla costruzione della scuola Pacchiotti. Nel ventennio successivo verranno costruite altre diciannove scuole, realizzate rispettando le nuove indicazioni igienico sanitarie, compositive e formali. In questi anni gli edifici sono di grandi dimensioni, con venticinque aule, e in alcuni casi occupano l'intero isolato. Abitualmente sono realizzati con murature verticali portanti, orizzontamenti a volta negli interrati e solai piani nei piani fuori terra, ad eccezione della scuola Alfieri, costruita interamente con struttura portante in cemento armato.

Le trasformazioni dei sistemi costruttivi sono presumibilmente riconducibili alla necessità sia di realizzare le scuole in tempi brevi, sia di sfruttare le opportunità che i sistemi costruttivi offrivano rispetto alle esigenze igienico sanitarie che i nuovi modelli di scuola richiedevano.

Nuovi modelli per le scuole di inizio Novecento

Il finire dell'Ottocento vede il consolidarsi degli standard edilizi torinesi anche in ambito nazionale a scapito, tuttavia, della "rinuncia alle perfezioni sognate dagli igienisti" (Daprà, 1986: 61). Seppure vi siano indicazioni relative alla presenza di sistemi di riscaldamento e ventilazione, ragioni economiche oltre che strutturali limitano l'efficacia di tali sistemi, così come sempre ragioni di economia limitano la presenza all'interno della scuola di dotazioni igieniche (s.a., 1892)[1]. L'occasione di un cambiamento viene offerta dal lascito testamentario del senatore Giacinto Pacchiotti[2] che porta a un concorso nazionale di progettazione per una "scuola-modello" progettata «con tutte le perfezioni dettate dalla moderna igiene delle scuole» (Daprà, 1986: 61) Dalla partecipazione al concorso vengono esclusi gli ingegneri alle dipendenze del Comune di Torino. Nonostante i numerosi progetti presentati nessuno risulta meritevole di essere realizzato come scuola-modello e il progetto, in Figura 1, viene predisposto nuovamente dall'Ufficio tecnico comunale che introduce alcune significative innovazioni tra cui i servizi igienici (cessi, orinatoi e lavatoi) posti all'interno dell'edificio e la presenza di estrattori d'aria.

L'ingegner Prinetti, secondo quanto richiesto dal bando, inserisce degli spogliatoi, dei bagni ma, soprattutto, un sistema di riscaldamento a vapore con radiatori e uno di aerazione per il ricambio dell'aria viziata. Quest'ultimo certamente influenza le scelte costruttive, richiedendo la presenza di numerosi camini all'interno della muratura con bocchette nelle aule e nei corridoi. Oltre ai sistemi di ricambio dell'a-

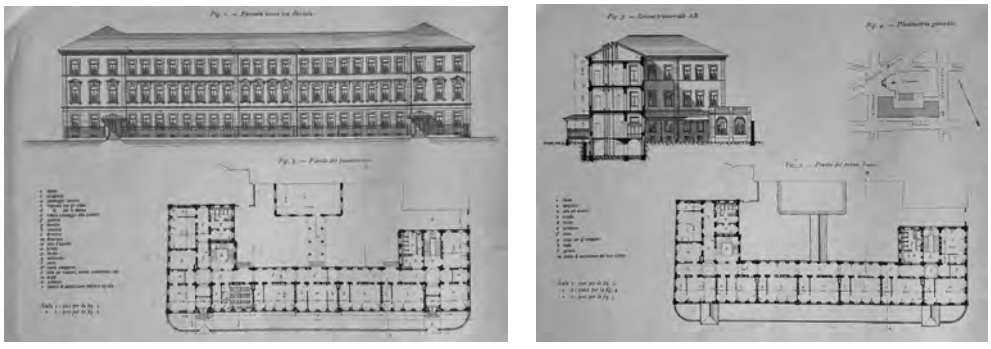


Fig. 1 – Piante, prospetto e sezione della scuola Giacinto Pacchiotti, scuola-modello per le dotazioni igienico-sanitarie (Prinetti, 1898).

ria, di riscaldamento e di acqua corrente nelle latrine, la scuola è la prima che dispone di docce sotterranee. Queste, aggiunte nell'ultima fase del progetto, denotano la situazione igienica dell'epoca e del ruolo che la scuola assume rispetto all'insegnamento delle pratiche di igiene e di pulizia del corpo[3].

L'importanza delle questioni tecnico-sanitarie caratterizzerà gli anni successivi alla costruzione della scuola Pacchiotti, come testimoniano le numerose scuole costruite sullo stesso modello, così come gli articoli pubblicati sulle riviste Ingegneria sanitaria (Pagliani, 1914), L'architettura pratica e L'ingegneria civile e le arti industriali e alcuni testi (Secchi, 1927).

I riferimenti internazionali citati negli studi sul tema denotano, in particolare, l'attenzione alla risoluzione delle problematiche igienico sanitarie nelle scuole raffrontando studi scientifici e conseguenti soluzioni tecniche. Si assiste alla formulazione di norme ed esempi pratici che guardano all'edificio in tutte le sue componenti, dalla localizzazione agli elementi costruttivi, dai servizi idraulico-sanitari all'illuminazione, dalla ventilazione agli impianti di riscaldamento. In un panorama italiano ancora arretrato nel campo della scuola, in particolare si definiscono «sane direttive igieniche e didattiche che spesso si possono facilmente conciliare con una razionale economia costruttiva e una sobrietà architettonica» (Secchi, 1927: XIII-XIV) così da realizzare edifici che rispondano alle norme d'igiene e alla loro funzione didattica. Le innovazioni di igiene e pedagogia divengono la base per la definizione delle caratteristiche architettoniche degli edifici scolastici nel corso dei primi decenni del Novecento. L'esperienza torinese si confronta con quanto condotto dagli Uffici tecnici di Milano e Roma, delineando modelli costruttivi per le scuole di diverso ordine e grado.

Sul finire del primo decennio del secolo sarà la scuola elementare Vittorio Alfieri a segnare un altro cambio di passo nella modernizzazione dei complessi scolastici. Seppur già nel 1908 l'Amministrazione comunale avesse stabilito di far costruire il nuovo complesso scolastico su un terreno di proprietà municipale nel quartiere di Borgo Francia, a causa di una serie di prolungati ritardi il progetto, a firma dell'ingegner Ghiotti, non prende il via. Per rispondere all'urgenza di trovare una sistemazione a circa 1300 alunni che per l'anno scolastico 1910-1911 sarebbero stati senza una scuola, per accelerare i tempi di realizzazione si decide quindi di modificare il sistema di costruzione, adottando come ossatura dell'edificio una struttura in cemento armato, compresi gli orizzontamenti. È la Società Ing. A. Porcheddu l'affidataria dell'incarico: l'impresa, concessionaria del sistema Hennebique, realizza un edificio in parte di cemento armato e in parte con muratura in laterizio, mostrato in Figura 2. Il manufatto a tre piani fuori terra, che ospita 24 aule, una sala direzione, una sala insegnanti, alcuni alloggi per bidelli nel sottotetto, due palestre una maschile e una femminile e un edificio a un solo piano adibito a refettorio nella parte centrale, diventerà un nuovo modello dei complessi scolastici piemontesi.

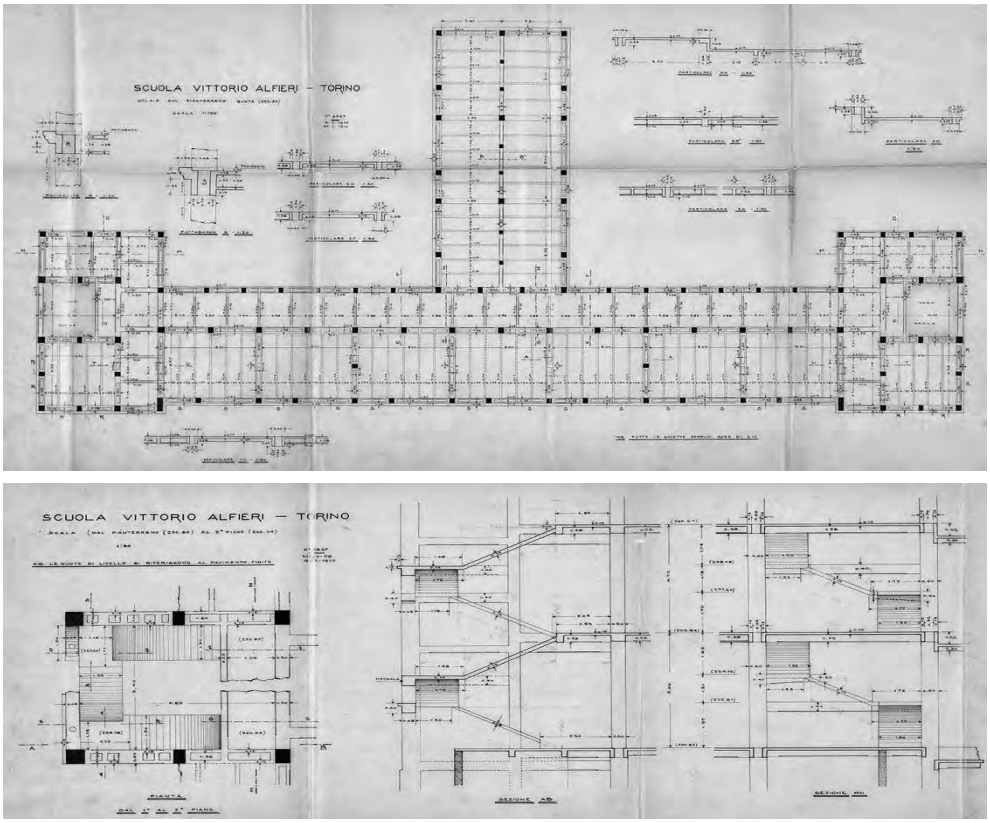


Fig. 2 – I disegni di progetto della scuola elementare Vittorio Alfieri, realizzata in cemento armato dalla Società Ing. A. Porcheddu (Politecnico di Torino, Archivio Porcheddu, dos. Torino, 1909, prat. 3367).

I sistemi di riscaldamento e ventilazione, innovazione igienica.

L'evoluzione dei sistemi costruttivi impiegati nella costruzione delle scuole è condizionata sia da ragioni economiche, sia dalla necessità di rispondere alle esigenze igienico sanitarie. La necessità di predisporre impianti di riscaldamento e ventilazione, già evidenziata nel 1892 dall'ingegner Scannagatta nel Concorso Gariboldi per un "Edifizio per Scuole Elementari", in Figura 3, poi ribadita e perfezionata dalla proposta dell'ingegner Prinetti per la scuola modello voluta da Giacinto Pacchiotti, viene ripresa anche nel corso degli studi condotti nel Ventennio.

Nella proposta per il Concorso milanese Giorgio Scannagatta studia il sistema di riscaldamento ad aria calda, che garantisce il rispetto delle norme igieniche sia per tipologia, sia per il posizionamento dei canali per l'aria fredda e l'aria calda e delle

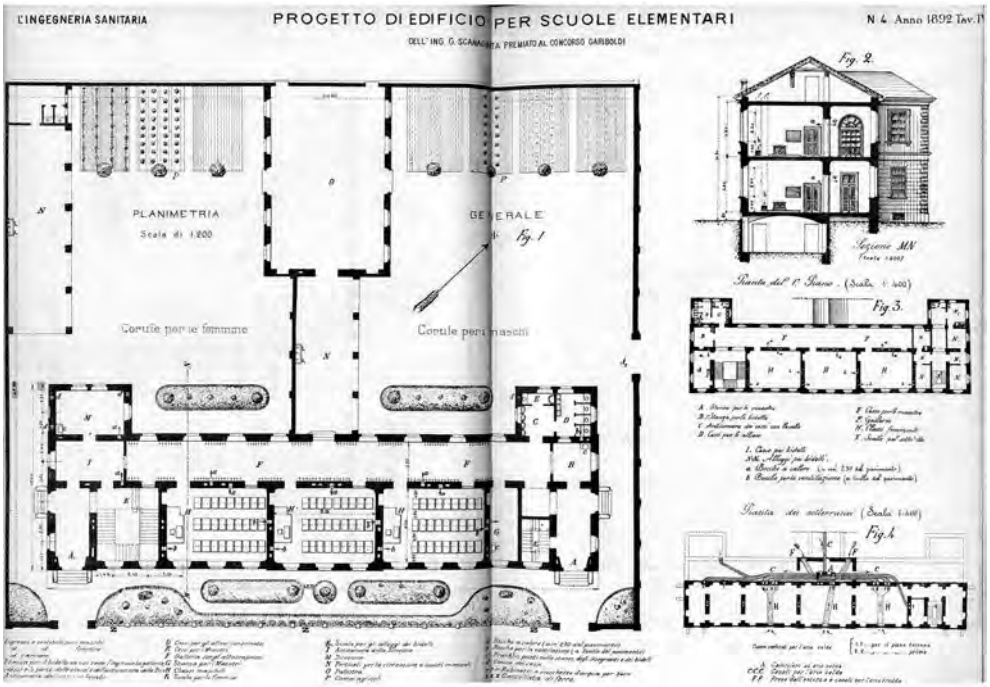


Fig. 3 – Progetto di una scuola elementare, firmato dall'ingegner Scannagatta e premiato a Milano, in cui sono specificate i tipi di bocchette di aerazione necessarie per un efficiente sistema di riscaldamento e ventilazione (s.a., 1892).

«bocche a calore». La ventilazione, invece, ottenuta in modo naturale attraverso il «semplice squilibrio di temperatura», richiede la presenza nelle classi di «due bocche d'estrazione disposte al basso dello zoccolo, nelle pareti laterali a quelle in cui si trova la bocca a calore, in modo che il richiamo dell'aria sia egualmente distribuito» (s.a., 1892). Il sistema di canne, attraverso cui si riscaldano le aule e se ne garantisce la ventilazione, è organizzato a partire dal piano interrato sino ai locali del sottotetto, servendo in modo compartimentato i singoli locali.

Maggior complessità caratterizza i sistemi di riscaldamento (Prinetti, 1898). «Il sistema di riscaldamento progettato è quello a vapore a bassa pressione, con camere di riscaldamento nel sotterraneo [...] è, fra i vari sistemi di riscaldamento a vapore, il più adatto, il più igienico ed il più pratico [...]». Come sottolinea Tommaso Prinetti tale soluzione «certamente richiederà una spesa d'impianto molto maggiore di quella richiesta dai sistemi ordinariamente adottati; ma, trattandosi di una Scuola modello, si credette opportuno applicare questa migliorìa, la quale servirà anche per stabilire gli opportuni confronti e dare norma per le future congeneri costruzioni»[4].

La necessità del «rinnovamento dell'aria», effettuato almeno tre volte all'ora, richiede la predisposizione di sistemi di estrazione nelle aule e di un opportuno dimensionamento degli apparecchi riscaldanti. «La ventilazione, o meglio l'estrazione dell'aria viziata, nella stagione invernale si procurerà in modo discendente, mediante opportuni camini di richiamo, nei quali il tirante verrà prodotto da apposite stufe, pure riscaldate a vapore; ogni classe avrà tre bocche di estrazione d'aria poste quasi a livello del pavimento e collocate nelle pareti laterali o dirimpetto a quelle in cui è aperta la bocca a calore (la quale si troverà a circa m. 3 dal pavimento), per così ottenere la massima uniformità di riscaldamento e di aerazione nelle classi». Una specifica attenzione viene posta alla ventilazione dei servizi igienici, dove «verrà fatta in modo ascendente e affatto indipendente da quella delle classi; il tirante d'aria verrà provocato da piccoli apparecchi in cui circolerà il vapore, e sarà abbastanza efficace perché aprendosi le porte di comunicazione coi corridoi si stabilisca una corrente diretta da questi all'interno delle latrine, e non mai nel senso inverso».

Per entrambi i sistemi occorre poi prevedere un sistema di ventilazione che assolva alla necessità di ricambio dell'aria durante la stagione estiva. Si prevede quindi che, «oltre la ventilazione naturale ottenuta mantenendo aperti i *vasistas* esistenti nelle finestre e sopra le porte e gli armadi, si provocherà una ventilazione naturale ascendente da bocche poste all'altezza del soffitto, aprendo e chiudendo apposite paratoie nelle stesse gole che durante l'inverno serviranno per la ventilazione artificiale discendente». La presenza dei vasistas nella parte alta delle finestre facilita il «rinnovo dell'aria nelle classi, senza recare molestia agli alunni», così come le analoghe aperture sopra le porte e sopra gli armadi di servizio che, «dotati di sportelli apribili, agevolano la circolazione dell'aria, in aiuto alle corrispondenti vetrate, e permetteranno di abbassare la temperatura nelle classi».

Nei primi decenni del Novecento l'attenzione alle questioni igienico-sanitarie sarà supportata da studi clinici e scientifici che porteranno a una definizione più puntuale degli standard da rispettare e di possibili soluzioni tecniche, a partire da quelle utilizzate, e di altre sperimentali, utili per il raggiungimento delle esigenze rilevate. Rispetto ai sistemi di ventilazione pare interessante notare come si passi dalla necessità di ventilare gli ambienti a causa dei cattivi odori dovuti alla scarsa igiene degli studenti agli studi sulla presenza di germi, batteri e anidride carbonica e sugli effetti di questi sull'organismo umano. La ventilazione, naturale e artificiale, risulta indispensabile per far fronte alla necessità di offrire agli studenti ambienti salubri. Non ritenendo sufficiente la semplice aerazione naturale, inutile se non si creano correnti d'aria che risultano però dannose con l'apertura delle finestre o minime con la sola apertura di *vasistas*, la soluzione ritenuta più efficace risulta quella di realizzare veri e propri impianti di ventilazione. Quest'ultimi, la cui presenza è già prevista nelle "Istruzioni intorno alla compilazione dei progetti per la costruzione degli edifizi scolastici" del Regolamento ministeriale del 1900[5], prevedono la realiz-

zazione di camini e di aperture nei muri per attivare e consentire la ventilazione. La corretta progettazione delle bocche di immissione e di estrazione dell'aria e dei relativi condotti, anche in considerazione delle condizioni atmosferiche esterne, estive e invernali, costituisce un aspetto fondamentale per garantire l'efficacia del sistema. In particolare, nel sistema di ventilazione le bocchette di aspirazione dell'aria interna viziata sono poste nella parete opposta a quella della cattedra, posta sul lato minore ortogonale alla parete con le finestre, a 180 cm da terra e sono collegate alla canna che va nel sottotetto. L'aria pura entra nell'aula da una bocca di presa praticata nel muro esterno in corrispondenza del radiatore posto nel vano finestra, munita verso l'esterno di una griglia in ghisa di dimensioni 38 cm · 48 cm, e verso l'interno di una serranda in ferro a tapparelle orizzontali manovrabili. La bocchetta di aspirazione dell'aria viziata è invece chiusa da una reticella e da una serranda in ferro a tapparelle verticali manovrabili. Le bocchette devono essere munite di reticelle metalliche per modulare la corrente d'aria e di serrande a tapparelle per regolarne l'immissione e l'estrazione. Il calcolo della dimensione delle bocchette e il loro numero sono legati al numero di persone che soggiornano nell'ambiente. Le bocchette e i canali di estrazione devono essere collocati nei muri interni per evitare che con il raffreddamento si producano inversioni di flussi dannosi. Per la stessa ragione nelle canne di aspirazione che terminano nel sottotetto sono inserite delle "mitre" fisse o girevoli (Secchi, 1927: 82-99).

Rari sono invece i casi in cui viene utilizzato un sistema di ventilazione meccanica che è tuttavia considerata il più sicuro, essendo indipendente dalle condizioni metereologiche esterne.

Istituti superiori femminili

La costruzione di edifici destinati ad accogliere scuole elementari è accompagnata da quella degli edifici destinati alla formazione superiore, il primo dei quali, la sede degli Istituti superiori femminili in Figura 4, è realizzato tra il 1904 e il 1906 per opera dell'Ufficio ai Lavori Pubblici della Città.

L'ingegner Prinetti, cui si devono i progetti, predispone la costruzione di un edificio che soddisfa i crescenti bisogni di spazi e il rispetto degli aspetti tecnici, igienici e didattici. L'edificio si compone di un corpo di fabbrica principale a tre bracci a tre piani fuori terra e uno a un solo piano, destinato a palestra e collegato al principale da due portici che servono da carrai per l'accesso al cortile. Il corpo di fabbrica principale accoglie, in spazi speculari, l'Istituto Letterario Margherita di Savoia e quello Professionale Maria Laetitia. I due Istituti condividono gli spazi della palestra e del cortile e gli ambienti comuni collocati nella parte prospettante su corso Siccardi, mostrata in Figura 5. Il progetto è pubblicato su rivista dal direttore dei lavori (Scannagatta, 1907), che sottolinea le caratteristiche e il non rispetto di alcuni aspetti igienico sanitari in ragione di esigenze di ottimizzazione dello spazio disponibile, di

Fig. 4 – Immagine storica della sede degli Istituti superiori femminili: manica sull'attuale via Meucci (Scannagatta, 1907).

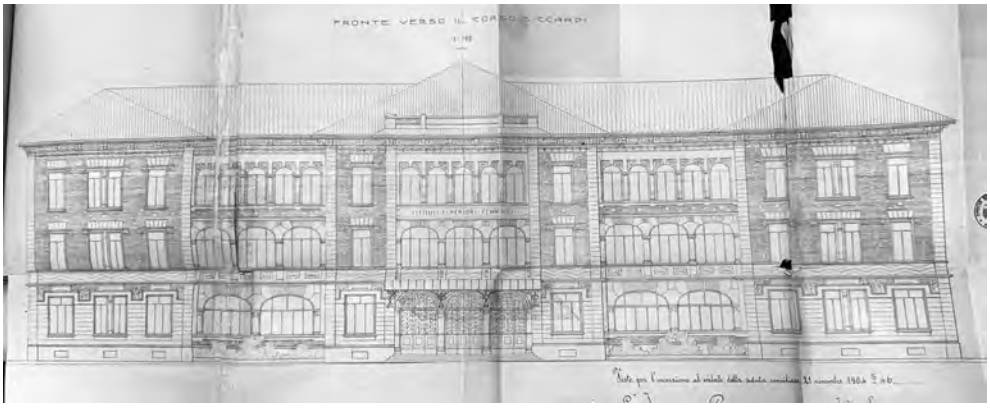


Fig. 5 – Prospetto sull'attuale corso Galileo Galilei, ex corso Siccardi, fronte principale della sede degli Istituti superiori femminili (Scannagatta, 1907).

dimensione del lotto e del posizionamento rispetto al contesto urbano. Tali rinunce consolidano il modello proposto dagli ingegneri della Municipalità rispetto a quello proposto dal Pacchiotti, considerato non applicabile in tutte le sue specifiche.

Va sottolineato come i sistemi di riscaldamento e ventilazione risultino anche in questo caso considerati di fondamentale importanza per la salubrità dell'edificio. L'impiego di un sistema di riscaldamento a bassa pressione con prese d'aria dall'esterno è accompagnato da un sistema di ventilazione con bocche di estrazione,

canne, canali collettori e camini d'aspirazione inseriti nella muratura. Così come nei modelli precedenti tali sistemi condizionano dunque le scelte dei modelli costruttivi impiegati (Ufficio Tecnico Municipale di Torino, 1907).

L'utilizzo di volte ordinarie al piano terreno è sostituito dall'impiego di solai in ferro e calcestruzzo che permettevano di avere una «maggiore solidità e il massimo volume d'aria nelle aule», permettendo l'inserimento dei sistemi di riscaldamento e ventilazione.

Tali aspetti evidenziano come le indicazioni presenti nei Regolamenti novecenteschi condizionino fortemente la costruzione dell'edificio dal punto di vista strutturale, spaziale e formale. Se fino alla seconda guerra mondiale l'edilizia scolastica torinese si distingue nel panorama italiano come modello di eccellenza e di efficienza, il conflitto bellico segna il passaggio a una nuova fase. La ricostruzione postbellica degli edifici danneggiati nel corso del conflitto e le nuove realizzazioni saranno caratterizzate da nuovi standard e modelli che privilegiano l'economia costruttiva e le nuove esigenze demografiche. La flessibilità spaziale e il nuovo modello pedagogico necessari per facilitare la socializzazione (Daprà, 2010) condizioneranno le nuove costruzioni, così come gli adattamenti degli edifici preesistenti, accantonando le superate esigenze igieniche sanitarie.

Significativo appare come, nel caso degli Istituti Superiori Femminili, la manica che ospitava la scuola professionale commerciale Maria Laetitia su via Meucci, bombardata nel 1943, venga ricostruita mantenendo l'aspetto spaziale e formale ma senza ripristinare i sistemi di ventilazione e di riscaldamento, come testimoniato, pur in assenza di documentazione che attesti le modalità di ricostruzione, dall'analisi diretta dei sottotetti che evidenzia la messa in atto di un sistema costruttivo diverso da quello originale e, soprattutto, l'assenza delle canne di aereazione. Tale scelta riconducibile a nuove modalità di ventilazione e di riscaldamento, richiede uno sforzo conoscitivo del bene in funzione di un possibile intervento sull'edificio. I condotti, ancora presenti, potrebbero rappresentare un'opportunità sia come cavedi tecnici per gli impianti elettrici e tecnologici, sia per un nuovo sistema di ventilazione artificiale che ben si accorderebbe con le nuove esigenze di ricambio d'aria nei locali scolastici emerse a seguito della pandemia.

Lo studio della consistenza attuale dell'edificio e il contesto culturale di riferimento costituiscono il punto di partenza in vista del ripensamento delle modalità d'uso degli spazi che i nuovi modelli pedagogici rilevano indispensabili per una didattica inclusiva ed efficace (Weyland e Attia, 2015).

Il ruolo della documentazione iconografica di progetto

Alla luce di quanto illustrato appare dunque evidente come elemento chiave per la conoscenza di un manufatto architettonico e del suo sviluppo sia senza dubbio la sua storia. Attraverso un'attenta lettura della documentazione storica di progetto, delle

fonti archivistiche, della ricostruzione critica delle istanze culturali, formali, tecniche, politiche ed economiche che ne hanno legittimato la costruzione e le successive trasformazioni riportata nelle fonti bibliografiche si può identificare come l'edificio sia nato e si sia trasformato nel corso dei decenni. L'analisi dei disegni di progetto viene considerata un momento imprescindibile nel processo di conoscenza di un manufatto: è opportuno individuare tutti i documenti che possono fornire indicazioni sulle fasi di costruzione e di ampliamento, sulle pratiche amministrative ad essi connesse, sulle vicende legate alla realizzazione delle singole fasi di cantiere, sulle eventuali modifiche in corso d'opera, sulla natura dei materiali utilizzati, sulle tecniche costruttive adoperate, su eventuali ulteriori interventi di recupero o restauro. È necessario però che tutto il materiale raccolto sia continuamente confrontato e comparato allo stato di fatto del manufatto analizzato, da un lato, e, dall'altro, relazionato con modelli culturali coevi, stimolando ulteriori fasi di approfondimento.

È stato questo l'approccio metodologico adottato per lo studio della sede degli Istituti superiori femminili a Torino. I disegni di progetto e la documentazione allegata, materiale reperito in primis presso l'Archivio di Stato di Torino, risultano un fondamentale tassello di indagine storica per il manufatto architettonico analizzato e uno strumento indispensabile di lettura di testimonianze storiche relative all'utilizzo di tecnologie costruttive innovative. Il corpus documentale, costituito da piante, sezioni, prospetti e particolari costruttivi, descrive non solo la conformazione geometrica e architettonica del manufatto, ma evidenzia l'introduzione di nuovi modi costruttivi di progettare l'edilizia scolastica.

Tutto questo è rimarcato anche dalla numerosa documentazione pubblicata sulla manualistica coeva, in particolare nella rivista Ingegneria Sanitaria.

Il confronto diretto con la consistenza materiale dell'edificio ha permesso un immediato riscontro di ciò che veniva "rivelato" dai disegni di progetto. I nuovi sistemi tecnologici e impiantistici adottati per rendere salubri gli ambienti scolastici, oggi non più in uso, apparentemente celati alla vista e passati inosservati a un primo rilievo di massima, emergono con chiarezza al confronto con la documentazione iconografica di progetto. Bocche di estrazione dell'aria, interne ed esterne, cavedi, canali collettori, canne d'aria, camini di aspirazione, ben visibili nei disegni redatti dall'Ufficio dei lavori pubblici della municipalità torinese, possono, seppur con qualche difficoltà, essere ritrovati all'interno della struttura e, messi a sistema, forniscono l'ossatura dell'impianto di ventilazione progettato, di cui alcuni particolari sono mostrati in Figura 6. Anche l'ossatura muraria dell'edificio, in parte realizzata in modalità tradizionale e in parte costruita con il sistema Hennebique, rivela il graduale progredire delle tecniche costruttive, in Figura 7.

I disegni diventano quindi parte integrante e preziosa testimonianza nella ri-costruzione e ri-velazione del fare architettonico adottato per l'edilizia scolastica dei primi anni del Novecento.

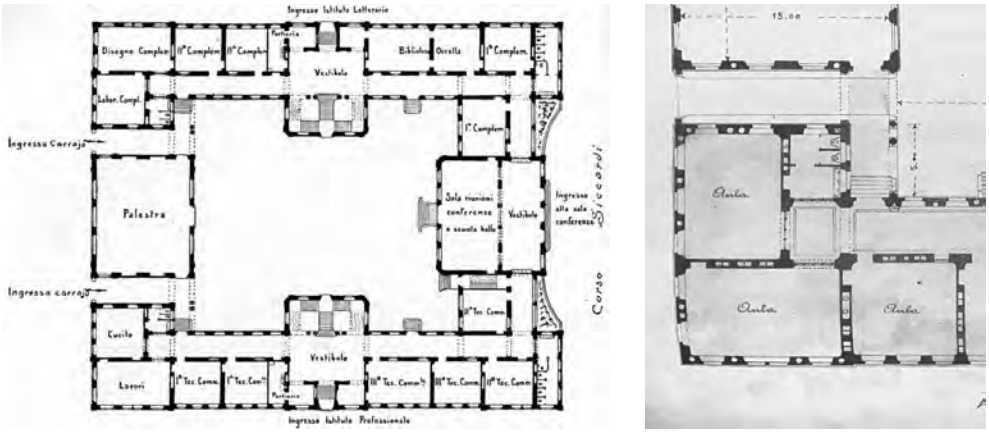


Fig. 6 – Pianta del piano terreno e particolare del disegno in cui sono evidenti nella muratura le bucature dell'impianto di ventilazione (Scannagatta, 1907).

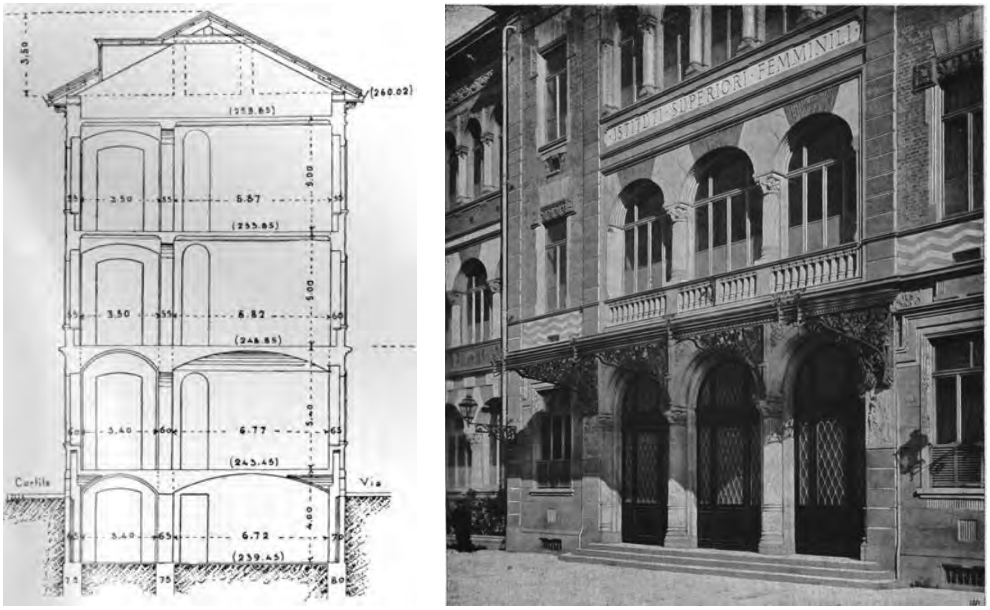


Fig. 7 – Sezione trasversale sulla manica di via Bertolotti in cui si possono notare le tracce dei sistemi di riscaldamento e ventilazione progettati e foto storica sull'attuale corso Galileo Galilei, fronte principale della sede degli Istituti superiori femminili (Scannagatta, 1907).

Bibliografia

Daprà M. 1986. *La fondazione dell'edilizia scolastica in Italia (parte terza) Contributo per un'analisi storica*. Edilizia scolastica e culturale, 1

Daprà M. 2010. *L'evoluzione dell'edilizia scolastica del Comune di Torino dal 1945 al 1985*. Torino: s.n.

Pagliani L. 1914. Istruzioni sul riscaldamento e ventilazione nelle scuole di New York. Ingegneria sanitaria, 7, 105-107.

Prinetti T. 1898. La scuola elementare "Giacinto Pacchiotti". L'architettura Pratica, V.

Scannagatta G. 1907. Il nuovo edificio per gli Istituti superiori femminili in Piazza Venezia. Ingegneria Sanitaria, 7, 108-111.

s.a. 1892. Progetto d'edificio per scuole elementari. L'ingegneria sanitaria, 4, 50.

Secchi L. 1927. *Edifici scolastici italiani primari e secondari. Norme tecnico-igieniche per lo studio dei progetti.* Milano: Hoepli.

Ufficio Tecnico Municipale di Torino. 1907. Il nuovo edificio "Istituto Superiori Femminili" in Torino. Architettura italiana, 25-28.

Weyland B, Attia S. 2015. *Progettare scuole tra pedagogia e architettura*. Milano: Guerini.

Note

1. Viene presentato il progetto dell'ingegner Scannagatta premiato al concorso Gariboldi di Milano. In calce all'articolo viene elogiato l'Ufficio tecnico del Comune di Torino e in particolare l'ing. Prinetti, cui si deve la progettazione dei nuovi edifici scolastici della città.
2. Giacinto Pacchiotti, morto nel 1893, fu chirurgo, consigliere comunale della Città di Torino, senatore del Regno e docente di Clinica chirurgica all'Università di Torino. La sua attività consiliare fu caratterizzata dalla polemica con ingegneri, amministratori e funzionari che gestivano le opere pubbliche e in particolare l'edilizia scolastica. Fu fondatore della rivista "Ingegneria Sanitaria" che, in opposizione a quella di "Ingegneria civile", esprimeva le posizioni degli igienisti anche attraverso la presentazione di progetti e realizzazioni di edifici modello.
3. Si rimanda a ASCT, *Raccolta atti municipali*, Consiglio Comunale 11 dicembre 1899, annata 1899.
4. Nello stesso articolo l'autore sottolinea come "il prezzo unitario di L.15 per metro cubo di volume del fabbricato fuori terra, è notevolmente superiore a quello degli edifici scolastici costrutti in Torino per l'addietro; l'aumento di spesa è essenzialmente dovuto alla specialità del sistema di riscaldamento, all'adozione degli spogliatoi separati per ogni classe, alla copertura dei locali con soffitti in piano, ecc; si farà cioè qualche cosa più del necessario, trattandosi di una Scuola alla quale provvede in gran parte la munificenza di un privato".
5. La necessità di garantire la salubrità degli edifici, già prevista nelle Leggi della seconda metà dell'Ottocento, viene arricchita dalle *Istruzioni* del *Regolamento sui prestiti a Comuni e Provincie per provvedere alla costruzione, all'ampliamento od ai restauri degli edifizi scolastici*, approvato con il Regio Decreto 15 novembre 1900, n. 484.

Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli

From 1922 to today: the Radar, an Italian story too

Dal 1922 ad oggi: il Radar, una storia anche italiana

Abstract
In June1922, in a historical conference held at the Radio Institute of Electric Engineers in New York, Guglielmo Marconi suggested, citing the Hertz's studies, that a metal object can backscatter an electromagnetic wave and thus this event can reveal the presence of a distant object. In the early 1930s, Marconi verified that the radio link between the Vatican State and Castelgandolfo was disturbed by the few cars passing on the roads. Ugo Tiberio was the first researcher in Italy who picked up Marconi's idea and in 1934 proposed to the Italian Navy the construction of a device, with the aim of qualitatively and quantitatively verify this intuition. Tiberio was able to derive the Radar equation on the basis of theoretical speculations, supplemented by experimental tests. It was the late '30s and since then, huge technical and financial resources had been used, whose results had been exceptional. In many countries confidential studies on Radar were conducted and Sean S. Swords had the merit of having objectively described them in his book *Technical history of the beginnings of radar,* published in 1986. In this book the role played by Italy is widely documented, however with the addition of the word "perhaps". Our task is to remove that "perhaps" on the basis of documents found in subsequent years.

Sommario
Nel giugno del 1922, in una storica conferenza tenuta al *Radio Institute of Electric Engineers* di New York, Guglielmo Marconi ipotizzò, citando anche gli studi di Hertz, che un'onda elettromagnetica potesse essere riflessa da un oggetto metallico posto a distanza e quindi potesse rivelare la presenza dell'oggetto. Nei primi anni '30, Marconi notò che il collegamento radio tra il Vaticano e Castelgandolfo veniva disturbato dalle poche auto che transitavano. Fu Ugo Tiberio il primo in Italia a raccogliere l'idea di Marconi e a proporre nel 1934 alla Marina Militare Italiana la costruzione di un apparato per verificare qualitativamente e quantitativamente

l'idea di Marconi. Tiberio ricavò l'equazione del Radar sulla base di speculazioni teoriche, integrate da prove sperimentali. Siamo alla fine degli anni '30; da allora ingenti mezzi, scientifici, tecnici e finanziari sono stati impegnati, e i risultati ottenuti sono stati eccezionali. In molte Nazioni furono condotti studi riservati sul Radar, e Sean S. Swords ha il merito di averli descritti con obbiettività nel suo libro *Technical history of the beginnings of radar*, pubblicato nel 1986. In tale volume c'è già riportato il ruolo avuto dall'Italia sulla base della documentazione in suo possesso, con l'aggiunta della parola "perhaps". Il nostro compito è stato quello di cancellare, sulla base di documenti ritrovati negli anni successivi, quel "perhaps".

Introduction

The Radar is a multidisciplinary device. A transmitter, by means of an antenna, launches into space electromagnetic wave packets which, when an obstacle is encountered, are reflected and revealed by a receiver.

In June 1922 during a historical conference held at the Radio Institute of Electric Engineers in New York, Guglielmo Marconi thought that an electromagnetic wave could be reflected by a metal object placed at a certain distance and therefore its existence could be disclosed [1]: «Before ending my speech, I would like to mention another possible application of these waves which, if successful, could be of great help to seafaring. As Hertz first showed, electric waves can be fully reflected by conducting bodies. In some of my experiments I observed the effects of both reflection and deflection of these waves by metallic objects placed miles away».

In the early thirties, while he was trying the link between the Vatican and Castelgandolfo in order to realize the Vatican Radio which started on February 12th, 1931, Marconi got confirmation of his insight as expressed in the aforementioned conference. The few cars running along the road to Castelgandolfo disturbed the radio link. And so, he said [1]: «It seems to me that it could be possible to design devices through which a ship could radiate or project a divergent beam of these rays in every desired direction. These rays, if they encounter a metallic object, such as another boat or another ship, could be backscattered to a receiver, shielded by the local transmitter and placed on the same ship where the transmitter is installed and then immediately reveal both presence and detection of the other ship, also in event of fog or poor visibility. Another great advantage of such a device would be as follows: it could inform about the presence and detection of any ships, even if the latter were devoid of any type of radio».

The thirties of the twentieth century

In those years, studies began to explore in many countries the possibilities and insights shared by Guglielmo Marconi. Meetings between technicians and scholars

took place, to share experiences, even if the confidential nature of such activities, essentially carried out in military fields, prevented from openly discussing these issues, which is something Science generally requires.

In Italy, Ugo Tiberio was the first to collect Marconi's legacy of ideas. In 1935 he proposed to the Italian Navy his *Study on the possibility of exploiting for military aims the effects of reflection produced by ultra-short waves* (Tiberio, 1936); this study was meant to build a device able to provide a solid evidence base to Marconi's insight, both at a quantitative and qualitative level. The first page of the manuscript is shown in Fig. 1. Tiberio derived the equation of the radar on the basis of theoretical speculations, supplemented by experimental evidence. The buildup of the first operational devices was due to the work of both British and American forces that got involved thanks to the strength of their organizations and the availability of huge financial means.

The time frame is situated in the first years of 1940; since then, huge technical and financial resources have been committed and the obtained results have been impressive. The work of Ugo Tiberio has been widely known and often discussed in the Italian scientific circles and yet the feedback on it from qualified press was quite limited. The reason for that had to do with the Navy which had classified as SECRET all the related research activities carried out at *Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni di Livorno* (RIEC). The only paper on the subject was published by Ugo Tiberio in May 1939 on *Alta Frequenza* journal under the title "Measurement of distances by means of ultrashort waves (Radiotelemetry)" (Tiberio, 1939).

Fig. 1 – Details of both the first page (upper part) and the last one (lower part) of the contribution which Prof. Ugo Tiberio proposed to the Italian Navy. Out of the first page, the title has been extracted; while out of the last one, the final part with a date.

Only since 1948, Ugo Tiberio began to publish the results of the impressive work developed in Italy on *Proceedings of the IRE*, on *High Frequency* and on *Maritime Magazine*. As a matter of fact, when in 1985 the Italian Navy was invited to the International Conference *The History of radar development to 1945*, the contribution the Navy presented was "The History of the Italian radio detector telemetro" written by Mario Calamia and Roberto Palandri (Calamia and Palandri, 1987). Fig. 2 depicts the first page of the proceedings which were distributed to the Conference attendees. Unfortunately, Ugo Tiberio, who had worked so hard to achieve scientific comparison among different experiences carried out in various countries, had died a few years earlier.

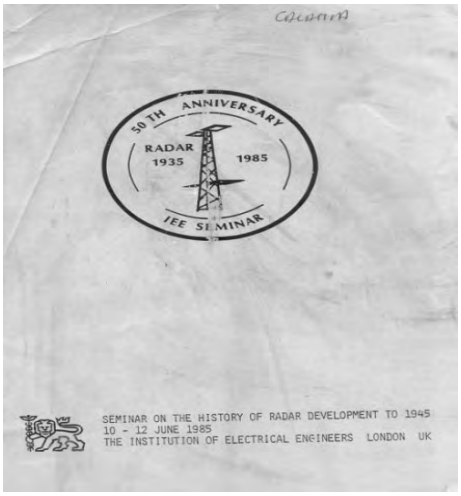


Fig. 2 – Cover image related to the preprint of 1985 International Conference "The history of radar development to 1945", celebrating the 50th Anniversary Radar (1935-1985).

The London Conference in 1985

Ugo Tiberio died on 17th May 1980. Already in the '60s, against radar claims advanced by many, to be the first ones in designing a system with radar capabilities, Tiberio had fought for a scientific comparison on radar activities, carried out in several countries since the '30s onwards. Yet, it was not until 1985 that the London Conference was promoted by Ugo Tiberio himself.

There had been an article in September 1977, written by Robert Page and titled "Monostatic Radar (Who, What, Where, Why, When, and How)", published on *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems* (Page, 1977). This paper had triggered the reaction of Ugo Tiberio who in March 1979 wrote a note titled "Some Historical Data Concerning the First Italian Naval Radar", published again on the same *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems* (Tiberio, 1979).

With this note Tiberio highlighted some historical mistakes in Page's article and he recalled all the work carried out in so many countries, Italy among them, while wishing a serene discussion to stress all the results obtained in so many countries.

Ugo Tiberio's plea was not in vain, if in March 1980 Harold W. Shipton of the Washington University of St. Louis, Missouri (USA), wrote, as always on IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, a short note bearing a significant title: "Radar History: the need for objectivity" (Shipton, 1980). The note began with the sentence: «Dr. Tiberio's appeal for an objective history of radar is apt and timely».

Then, the London Conference occurred, and Ugo Tiberio could not attend it, though he had fought so long to have it.

Many historians continue to ignore the event where for the first time after the war, all the countries which had contributed to the development of any radar system, could document the work done so far. Many cite the book by Sean S. Swords (Swords, 1986), a book of high historical value, but its importance is enormously increased if you link it to the London Conference, to the discussions made at that conference and the (successful) attempt to cancel the most significant and documented contribution, the one by Swords.

As already mentioned, at the 1985 International Conference: The history of radar development to 1945, celebrating the 50th Anniversary Radar (1935-1985), Italy took part in it with a paper officially authorized by the Navy High Command, "The history of the Italian radio detector telemetro", edited by Mario Calamia and Roberto Palandri, who was by then Director of the Radar and Telecommunications Institute "Giancarlo Vallauri" of the Italian Navy (MARITELERADAR).

The event allowed and made clear some aspects:

– it became internationally acknowledged that the Radar's date of birth, according to current meaning, was 1935;
– the role Italy played in that context had been crucial;
– the role played by both Guglielmo Marconi and Ugo Tiberio has been formally recognized.

The London Conference was an extremely important milestone in the history of Radar. Representatives from all over the world were invited to participate: 38 contributions were made. They were from the countries which in some way had contributed to the birth and development of Radar and Italy was one of these countries.

The general opening report of the conference was entrusted to Swords, professor at Trinity College in Dublin, so as to overcome the underlying dispute between British and American scientists about the claimed priority in developing Radar. As it would turn out later, Swords had collected an impressive bibliography, he had read up a lot and extensively gathered information; yet his introduction to the Conference, *The beginnings of radar*, was very lean, almost like a notarial deed: he reported news of what had been done in different countries, based on reliable reconstructions.

Swords devoted to the Italian activities 19 lines of the 200 lines the opening speech was made of.

At the beginning of the Conference, pre-prints had been distributed; they had various reports and many participants in the Conference kept them, including one of the authors of this current paper. Activities ended with much discussion and some dissatisfaction. The report by Swords was a fair record of the historically outlined situation. Attendees waited for Conference Proceedings.

More than a year passed by without anyone knowing anything about it.

More than two years went by and finally the proceedings collecting all the papers presented at the conference appeared: there was no record of the general opening report made by Swords. It had been replaced by the one written by the English Russel W. Burns; this went exactly in the direction of what had been tried to avoid in organizing the 1985 Conference. The report by Russel W. Burns was certainly more articulated than Swords' previous version, but it had the Italian contribution (and not that only) greatly reduced to only five lines out of 28 pages, not to mention the use of the sentence "it seems".

Meanwhile, Swords in 1986 published perhaps the most complete book on the history of Radar: *Technical History of the beginnings of Radar* (Swords, 1986). This publication is of great importance to get a complete overview on the history of Radar. It is a technical history and for this purpose Swords studied an impressive number of sources, as many as 324 are the ones mentioned. Thanks to the extensive and exhaustive treatment of the subject, he was able to reconstruct the contribution of each and every nation to the development of Radar, in a way not conditioned by other factors. The first edition of this book dates back to 1986; therefore, there is no doubt about Swords being already familiar with this subject at the 1985 London Conference. His brief but accurate report for the cited conference was not the result of rustled up news, but the synthesis of a long and well documented work.

As said, the volume by Swords is a technical history about the origins of radar and in this history, Italy is accounted for, with the work of many scientists, researchers and industry operators, starting with Ugo Tiberio who is properly the most quoted in this book.

What follows is a passage taken from Swords' publication, Chapter 2.3 "Radar range equation": «Ugo Tiberio of Italy was perhaps the first radio scientist to study experimentally and theoretically the reradiation properties of targets. In 1933 Guglielmo Marconi, while testing a microwave installation for the Vatican between the Vatican City and Castel Gandolfo, observed a beat effect from nearby moving objects. Conscious of the importance of the phenomenon, he gave a demonstration to some senior military staff, among whom was General Luigi Sacco. General Sacco requested Professor Ugo Tiberio to make a report on "The equation of radiotelemetry". The study was completed in 1935 and resulted in the paper "The measurement of distance by means of ultra-short waves (wireless range-finding)"» (Tiberio, 1939).

Swords himself made use of the word "perhaps". His sources are trustworthy and reliable, but they lack the historical seal of a publication with a certain date on it.

The retrieved manuscript (1996)

A turning point in the knowledge of the events related to the Italian Radar is represented by a date, aiming at cancelling the word "perhaps" as well. A manuscript by

Ugo Tiberio was found in 1996, after the death of his wife Bianca, when Tiberio's sons were reorganizing the papers of their father. Other documents were found later. These documents allow validation on the hypotheses done about the work carried out in Italy and anticipated with foresight by Swords in his book.

So much it could be said about this manuscript. Premises are clearly set for radar developments in the forthcoming years.

But here we must first ask two questions:

1) the problem of possible radar operation;
2) the problem of the construction of the relevant radar installation.

As to point 1), Ugo Tiberio has undoubtedly a scientific priority which has been historically confirmed. We should not forget that Marconi and others after him had spoken of "electromagnetic disturbances" caused for example by nearby moving objects intersecting an electromagnetic wave. But the problem of using this beat effect was related to the possibility of measuring it, which is to say the availability of a sufficient level of return signal to be received and revealed. This return signal was related to the features of the target and its ability to reradiate. In his manuscript Ugo Tiberio classified the problem of radar "radio telemeter", he wrote about the relationships among different parameters, the "equation of radar" and eventually focused on its main parameter, which he called the "reradiation" factor of the target. After he had collected all the available data in literature, he asked to go to the RIEC to test experimentally the ability to reradiate a target and measure it. He wrote (Tiberio, 1936): «I tried also to perform the calculation (of the reradiation ability of a target) on a purely theoretical perspective, but I consider of no use to report on it, because the deduced values are very high, and it is not safe to rely on them». This is not theoretical speculation; it is the normal way a great researcher seeks experimental validation to confirm his hypotheses.

On such grounds the first installation he developed in 1936, the so-called EC1, was meant precisely to verify the validity of the equation raised to the fourth power, which is the equation of radar he theoretically conceived. Not only he developed the device, but he also created a kind of target sample that was installed on a speedboat moving about in front of the Naval Academy in Livorno, to get quantitative answers.

Thus, he introduced the idea of target modeling, namely the idea of "the equivalent radar section" which will involve next generations so much.

The second aspect deals with an industrial involvement linked to economic factors and political decision-making processes. Italy as well had built her own devices and there is a lot of photographic evidence of it. For sure, there were delays due to policy decision and improper technical assessment of the ground-based radar data potential by the relevant policy making authorities. In his manuscript Ugo Tiberio had already defined the role to be assigned to Industry in the radar construction.

Both UK and USA could fully understand the role the radar could play on a military level; thus, once evaluated its potential, they deployed huge technical and economic resources for its development. Not even the first atomic bomb would have mobilized equal resources. Therefore, it would have been too difficult to compete with such capacities on an industrial level.

The reconstructed tile work

The book written by Swords is an exceptional document which helps a lot in describing each contribution by different Countries in its historical context.

The manuscript by Ugo Tiberio, found in 1996 and dated April 1936, was a revised edition, as the document itself clearly states, of a previous report and the latter could only date back to 1935, which is to be fixed as the official date of birth of Radar. The Italian Radar, therefore, was born as an original idea of a man who had devoted himself to the study of a new science, the electronics, after he had studied civil engineering and had obtained a specialization in Electrotechnics.

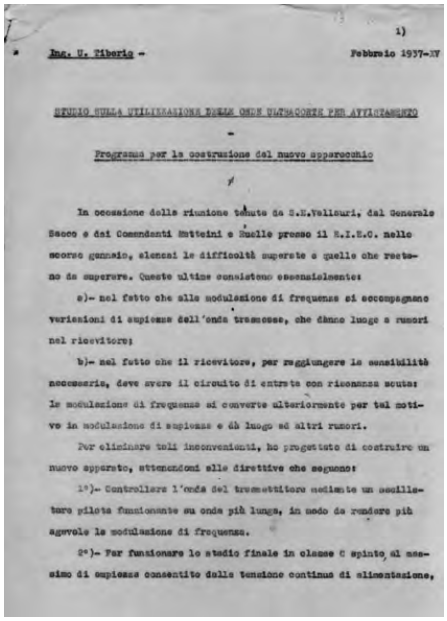
A first reading of the manuscript sheds light on the size of the author, beginning with the title of the paper itself: *Study on the possibility of using the effects of ultrashort wave reflection for military purposes*.

Based on this manuscript, a first prototype was prepared, EC1 and first tests and measurements with it were carried out as early as in 1936. It was a frequency modulated continuous wave radar, at 200 MHz. Results turned out to be encouraging. This is especially the case with reference to the purposes already set, if in February 1937-XV, Ugo Tiberio could write for the Italian Navy High Command a report entitled: *Study on the use of ultra-short waves for sighting. (Program for the construction of a new installation)* (Tiberio, 1937). Fig. 3 shows the first page of this report.

Based on this document dated 27 February 1937, Ugo Tiberio was asked by the Italian Navy High Command to write a report which has not a precise date, but it could be presumably dated back to 1937. This report was entitled *Project of an installation to disclose obstacles by means of ultrashort wave modulated frequency (Radio telemeter)*. Fig. 4 shows the first page of this project (Tiberio, 1937a). It is an extensive piece of work provided with well XIV descriptive tables, no longer available, but fully illustrated in the document which gave the go-ahead for the construction of the second continuous wave installation (EC1 2nd edition, 1937).

This one was different from previous one, mainly because it exploited a superheterodyne receiver, which nevertheless caused some problems in tuning the receiver. However, the work went on, if already in 1937 a 1.70-metre wavelength “pulse device” was developed, namely the EC2, which had to face problems with the transmitting tubes.

These unsatisfactory results with the pulse device can give reason why Ugo Tiberio had opted for the continuous wave solution. To verify the possibility of detecting



1)

Ing. U. Tiberio - Febbraio 1937-XV

STUDIO SULLA UTILIZZAZIONE DELLE ONDE ULTRACORTE PER L'AVVISTAMENTO

Programma per la costruzione del nuovo apparecchio

In occasione delle riunione tenute da S.E.Vallauri, dal Generale Sacco e dai Comandanti Matteini e Ruelle presso il R.I.E.N. nello scorso gennaio, elencai le difficoltà superate e quelle che restano da superare. Queste ultime consistono essenzialmente:

a)- nel fatto che alla modulazione di frequenza si accompagnano variazioni di ampiezza dell'onda trasmessa, che danno luogo a rumori nel ricevitore;

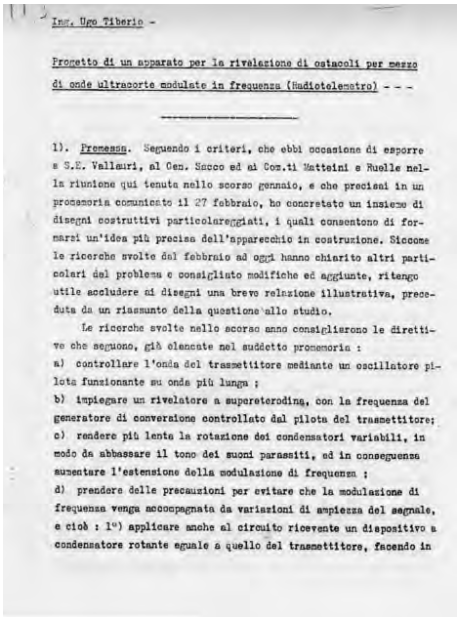
b)- nel fatto che il ricevitore, per raggiungere la sensibilità necessaria, deve avere il circuito di entrata con risonanza acuta: la modulazione di frequenza si converte ulteriormente per tal motivo in modulazione di ampiezza e dà luogo ad altri rumori.

Per eliminare tali inconvenienti, ho progettato di costruire un nuovo apparato, attenendomi alle direttive che seguono:

1°)- Controllare l'onda del trasmettitore mediante un oscillatore pilota funzionante su onda più lunga, in modo da rendere più agevole la modulazione di frequenza.

2°)- Far funzionare lo stadio finale in classe C spinto al massimo di ampiezza consentito dalla tensione continua di alimentazione,

Fig. 3 – First page of the report Prof. Ugo Tiberio wrote for the Italian Navy High Command in February 1937.



Ing. Ugo Tiberio -

Progetto di un apparato per la rivelazione di ostacoli per mezzo di onde ultracorte modulate in frequenza (Radiotelemetro) - - -

1). Premessa. Seguendo i criteri, che ebbi occasione di esporre a S.E. Vallauri, al Gen. Sacco ed ai Com.ti Matteini e Ruelle nella riunione qui tenuta nello scorso gennaio, e che preciso in un promemoria comunicato il 27 febbraio, ho concretato un insieme di disegni costruttivi particolareggiati, i quali consentono di formarsi un'idea più precisa dell'apparecchio in costruzione. Siccome le ricerche svolte dal febbraio ad oggi hanno chiarito altri particolari del problema e consigliato modifiche ed aggiunte, ritengo utile accludere ai disegni una breve relazione illustrativa, preceduta da un riassunto della questione allo studio.

Le ricerche svolte nello scorso anno consigliarono le direttive che seguono, già elencate nel suddetto promemoria :

a) controllare l'onda del trasmettitore mediante un oscillatore pilota funzionante su onda più lunga ;

b) impiegare un rivelatore a supereterodina, con la frequenza del generatore di conversione controllata dal pilota del trasmettitore;

c) rendere più lenta la rotazione dei condensatori variabili, in modo da abbassare il tono dei suoni parassiti, ed in conseguenza aumentare l'estensione della modulazione di frequenza ;

d) prendere delle precauzioni per evitare che la modulazione di frequenza venga accompagnata da variazioni di ampiezza del segnale, e cioè : 1°) applicare anche al circuito ricevente un dispositivo a condensatore rotante eguale a quello del trasmettitore, facendo in

Fig. 4 – First page of the project on Radiotelemetry prepared by Prof. Ugo Tiberio for the Italian Navy High Command.

the weak signal re-radiated by a target illuminated by an electromagnetic wave, the continuous wave radar could be fine; this was the primary purpose of his study (as stated in the title of the manuscript itself). But, when it came to the design of a new installation (see title of the above-mentioned report), a pulse radar would have been more efficient. He had already got some glimpses on this solution, as in the manuscript he had written (Tiberio, 1936): «(omitted)... In fact, the reception of a weak field (the one reflected by the target) in the event of a strong one (the one emitted by the transmitter) remains virtually impossible as long as the two fields have the same frequency, but it becomes extremely easy if frequencies are different». Thus, the formulation of the principle was as follows: «to take advantage of the time the reflected wave needs in the return path to change the frequency of the transmitter».

But to have time available to change frequency between one transmission and the other, a pulse radar was necessary. And with the change in frequency, Tiberio went beyond pulse radar to project research into more sophisticated radars which would have been designed more than 20 years later. The EC2 model did not give the results hoped for, due to the unavailability of suitable tubes (after few pulses, the cathodes of the tubes belonging to the receiving type were “torn off” by strong anode currents). At this point, the lack of confidence by the Authorities in charge became

self-speaking: activities were slowed down, financing reduced and only in 1940 the first EC3 could be assembled. It exploited a Philips power pulse triode, which was normally used in reception and therefore still lacking satisfactory outcomes.

Three years went by, an important gap emerged which made Italy lose her initial lead (1935-36-37). This initial lead must be attributed to the clear approach adopted by Ugo Tiberio both in his manuscript dated back to 1936 and the aforementioned project (Tiberio, 1937a).

After the naval Battle of Cape Matapan, on 30 March 1941, where the radar of the enemy forces had played a role (even if the English version was for sure less evolved than the Italian one), Italian radar activities began again in earnest. This brought to EC3 (second version in 1941) and to a third version of it (same year) which successfully exploited the cavity resonators studied by Nello Carrara at the RIEC. From that moment on, alongside the work carried out by scholars the industrial phase began, which led to the construction of the *Gufo* (Owl) and its counterpart for coastal surveillance, the *Folaga* (Coot).

The situation was definitively compromised when RIEC tasks were devolved to escape bomb attacks and thus records of priceless value and official documents were scattered across various places (Calamia, 2014). As it often occurs, unfortunately much of this material was entrusted to inexperienced hands and went lost; only a small part of it was given back to MARITELERADAR. Ugo Tiberio had kept the documents of his time, and this has allowed to rewrite a piece of this history.

It is necessary to spend few words on the work carried out by the Navy as to the issue of radar. The work of the Navy must necessarily be framed in the time where it took place. The Regia Marina (the Navy of the Kingdom of Italy) had created favorable conditions to conduct a systematic study on the ideas of a young researcher and this had expedited his work. In doing this, the Navy had also to manage some internal conflicts, against the narrow-mindedness of some men rejecting innovation and moored tightly to ideas which will be overwhelmed by events. Yet sometimes man is not up to the task history entrusts him; when these men are gone, history resumes its path and our aim was to acknowledge the positive aspects the Institution could accomplish anyway, despite any contingent negative situations.

To the present day

We will now try to describe how it became possible to change that instrument, born in the emergency conditions of the Second World War, into current radars which enable some incredible scientific missions and deliver us images of great intensity, even from an emotional point of view.

Second World War had given us an instrument which played a fundamental role in the war's outcomes. But this instrument could be changed to suit more advanced uses in civil applications. Let us therefore identify what the path was like.

Pulse compression (chirp radar)- synthesis of radar signals

The first aim was to discover an increasingly distant target without losing in precision. In the radar range equation, there are two terms: transmitter power in the numerator and receiver sensitivity in the denominator. The former had a limiting factor in the transmission line (waveguide) connecting the transmitter to the radiated energy. Out of this scenario the idea of a multi-channel radar emerged: more transmitters operating on slightly different frequencies and appropriate combination of return signals from the target.

From multi-channel radar to pulse compression (chirp radar) it was but a short step: on transmission the radar pulse is stretched and modulated in frequency; on reception the signal is demodulated and then compressed. This increases the received energy for accurate distance measurement, without losing in resolution (Bramanti and Calamia, 1969).

Radar with low noise figure

The receiver sensitivity is another important parameter in the denominator of the radar range equation. Important studies have been conducted on how to improve the receiver sensitivity by means of parametric amplifiers and other low noise amplifiers. It was an extremely important step which enabled the reception of weak signals from stationary satellites, 36,000 km altitude in space (Carassa, 1961).

Radar for the detection of low-level targets

Some war episodes in the 1960s gave evidence that low-level air attacks were disrupting radars. This was evident in the case of tracking radars with conical scanning. The problem was tackled in different ways, until the “monopulse radar” was developed. It consisted of a system of four antennas which allowed the reduction of interfering image signal effect, thanks to a proper combination of received signals (Calamia et al., 1974).

Phased array radar (Synthetic Aperture Radar).

In 1969 the 1st Lunar Mission (Calamia et al., 2020) highlighted some radar deficiencies as to certain types of missions. Programs were set up and gave rise to activities referred to as Earth Observation. Meanwhile, the development of computers allowed both an increasingly rapid data processing and the development of the Synthetic Aperture Radar-SAR.

We consider an airplane on a straight path and on that path, there is a transmitting-receiving system illuminating a target scene on the ground, with a regular frequency of sinusoidal pulses, receiving and recording their echoes. If the N number of transmitted pulses is sufficiently limited, the illuminated area remains essentially perpendicular to the irradiated beam. Besides, if the time delay between the received

pulses is erased in the reception processing, this corresponds to an N-element receiving antenna, which can be designed to optimize the antenna power gain.

The SAR has been the key element for the development of satellite observation with an accuracy which could completely revolutionize the notion of Observation from Space. The development of computers has enabled a solid processing and fusion of any SAR design procedure (Franceschetti and Lanari, 2018; Franceschetti et al., 1991; Franceschetti et al., 1991a).

Multisensor data fusion

A brief mention should be made of "the fusion of data" from disparate sensors: radars, active and passive microwave sensors, optical sensors of different kinds.

The multi-frequency and multi-temporal images, obtained by combining and processing multiple images generated by these sensors mounted on the same satellite, made it possible multicolor images of the examined scenario, for a more efficient analysis of the Earth's surface, but its application was not only limited to that. In recent years the Sentinel platform has been used and outcomes are extremely useful, not to mention that the obtained imagery displays an unparalleled beauty. Some significant (though not exclusive) images are reported.

Conclusions

As the authors intended, previous sections of this paper are meant to come full circle to find the truth about the Italian contribution to radar development. The issue had been left open due to different reasons the authors accounted for and ranging from military intelligence to documentation loss and scattering due to war.

The manuscript and the other cited documents give full confirmation of what Swords was able to reconstruct on his own and according to documents he had.

In 1986 Swords wrote in his book what follows: «Ugo Tiberio of Italy was perhaps the first radio scientist to study experimentally and theoretically the reradiation properties of targets».

Our main intention has been that of contributing to cancel the word "perhaps".

The image of Ugo Tiberio, together with the group of researchers working in the second half of the thirties at MARITELERADAR, comes out strongly revalued. Same must be said about the outcomes achieved by the Navy which, by putting in the same Research Centre scientists of tremendous potential, had clearly demonstrated with its most farsighted men to be able to anticipate time.

The purpose of the last section is to highlight how scientists and technicians have worked together in these first hundred years, as to that insight dated back to June 1922. The discussion cannot and was not intended to be exhaustive, but it has simply tried to show the starting point, the current outcomes already achieved and the direction which we should proceed towards.

Acknowledgements
We would like to thank Paolo and Roberto Tiberio, who made available their father's manuscript and other documents. We also express special thanks to the Italian Navy for always supporting research and initiatives aimed at establishing historical truth.

Bibliography
Bramanti M., Calamia M. 1969. A tapered waveguide to waveguide adapter. In: *IEEE Transaction on MTT,* 17(2).
Calamia M. 2014. Il contributo italiano allo sviluppo del Radar: la storia ha chiarito. In: *Atti e Memorie dell'Accademia Galileiana di Scienze, Lettere e Arti*, CXXVII.
Calamia M., Franceschetti G., Gherardelli M. 2020. 20 luglio 1969: il primo uomo sulla Luna. L'evento e le sue ricadute. In: Proceedings of the 4th International Conference-Atti dell'8° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, 1, 15-28. Napoli: Cuzzolin.
Calamia M., Palandri R. 1987. The history of the Italian radio detector telemetro. In: *Radar development to 1945* (R. Burns ed.). Londra: Peter Peregrinus Ltd.
Calamia M., Tiberio R., Franceschetti G. and Giuli D. 1974. Radar Tracking of Low-Altitude Targets. In: *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-10(4), 539-544.
Carassa F. 1961. Amplificatori parametrici. In: *Seminario Matematico e Fisico di Milano*, 31, 111-141.
Franceschetti G., Lanari R. 1999. *Synthetic aperture radar processing*. Boca Raton: CRC Press.
Franceschetti G., Pascazio V., Schirinzi G. 1991. *Theory and experiments on a new time domain SAR real time processing*. Amsterdam: Elsevier Publisher.
Franceschetti, G., Pascazio, V., and Schirinzi, G. 1991a. Processing of signum coded SAR signal: theory and experiments. In: *IEE Proceedings F-Radar and Signal Processing*, 138(3), 192-198.
Page R. 1977. Pioneer Award Monostatic Radar. In *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-13(5), 557-571.
Shipton H. W. 1980. Radar History: the need for objectivity. In *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*. 2, 244-244.
Swords S.S. 1986. *Technical History of the beginnings of Radar*. Institute of Electric Engineers Ed. (1986) and Institution of Engineering and Technology (2008).
Tiberio U. 1936. *a) Studio sulla possibilità di utilizzare ai fini militari gli effetti di riflessione delle onde ultracorte. b) Radiotelemetro per il tiro notturno navale, aereo ed antiaereo.* Manoscritto.
Tiberio U. 1937. *Studio sulla utilizzazione delle onde ultracorte per avvistamento* (*Programma per la costruzione del nuovo apparecchio*). Rapporto interno della Marina Militare italiana.
Tiberio U. 1937a. *Progetto di un apparato per la rivelazione di ostacoli per mezzo di onde ultracorte modulate in frequenza (Radiotelemetro).* Rapporto interno della Marina Militare italiana.
Tiberio U. 1939. Misura di distanze per mezzo di onde ultracorte (Radiotelemetria). Alta Frequenza, 8(5), 305-323.
Tiberio U. 1979. Some historical data concerning the first italian naval radar. In: *IEEE Trans. on Aerospace Electronic Systems*, AES-15(6), 733-735.

Sitography

[1] Marconi G. 1922. *La radiotelegrafia*.
https://www.fgm.it/_mg/scritti%20di%20marconi/la%20radiotelegrafia1922.pdf

Tomás Enrique Martínez Chao

The evolution of photogrammetric knowledge in Cuba

L'evoluzione delle conoscenze fotogrammetriche a Cuba

Abstract
This research is aimed at analyzing how photogrammetric knowledge has evolved in Cuba, emphasizing the application fields in the updating of the ter-ritory's basic cartography, as well as the instruments used throughout the develop-ment process. The construction of maps in Cuba, through aerial photographs, be-gan during the military interventions of the United States Army at the beginning of the 20th century, where, for the acquisition of the first aerial photographs, an aero-static balloon was used. Later, aerial surveys began to be carried out throughout the country, laying the foundations for the beginnings of photointerpretation and photogrammetry. With the creation of institutes dedicated entirely to cartography and geodesy in Cuba, work began to intensify and, at the same time, aeroplanes were adapted for aerial photogrammetric surveys. At the same time, terrestrial pho-togrammetry played an important role in the creation of architectural line plans, documentation and conservation of cultural heritage. Despite the evolution of pho-togrammetric techniques Worldwide and Cuba's known problem regarding the resources, the scientific community took advantage of their high resolution LiDAR sensors and remotely piloted aerial vehicles, achieving cartographic results on a par with the great powers in the field of geomatics. Therefore, the contribution intends to highlight the evolution of photogrammetric techniques and cartographic representations in the Cuban territorial context in relation to the need to expand the territory's infrastructure and the construction of large engineering works.

Sommario
Questa ricerca ha lo scopo di analizzare come si sono evolute le conoscenze fotogrammetriche a Cuba, sottolineando i campi di applicazione nell'aggiornamento della cartografia di base del territorio, così come gli strumenti utilizzati durante il processo di sviluppo. La costruzione di mappe a Cuba, attraverso fotografie ae-

ree, nacque durante gli interventi militari dell'esercito degli Stati Uniti all'inizio del XX secolo, dove, per l'acquisizione delle prime fotografie aeree, fu utilizzato mongolfiera. In seguito, si iniziarono a realizzare rilievi aerei su tutto il territorio nazionale, ponendo le basi per gli inizi della fotointerpretazione e della fotogrammetria. Con la creazione di istituti dedicati interamente alla cartografia e alla geodesia a Cuba, il lavoro cominciò a intensificarsi e, allo stesso tempo, gli aerei furono adattati per i rilievi aerofotogrammetrici. Allo stesso tempo, la fotogrammetria terrestre giocò un ruolo importante nella creazione di piani di linee architettoniche, documentazione e conservazione del patrimonio culturale. Nonostante l'evoluzione delle tecniche fotogrammetriche a livello mondiale e il noto problema di Cuba per quanto riguarda le risorse, la comunità scientifica ha approfittato dei suoi sensori LiDAR ad alta risoluzione e dei veicoli aerei a pilotaggio remoto, ottenendo risultati cartografici alla pari con le grandi potenze nel campo della geomatica. Pertanto, il contributo intende evidenziare l'evoluzione delle tecniche fotogrammetriche e delle rappresentazioni cartografiche nel contesto territoriale cubano in relazione alla necessità di espandere le infrastrutture del territorio e la costruzione di grandi opere di ingegneria.

La fotogrametría como herramienta de desarrollo en Cuba

La fotogrametría desde sus inicios a nivel mundial en el 1858, donde el coronel francés Aime Laussedat consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno, estuvo orientada en un principio a la fotogrametría terrestre, también se probaron algunos métodos de fotogrametría aérea sobre globos o cometas, pero no fue hasta la invención del avión en la 1ra Guerra Mundial cuando la fotogrametría aérea alcanzo su máximo reconocimiento.

Las principales aplicaciones que se le dio a este método, en sus orígenes, fueron el reconocimiento de grandes áreas dirigidos a la conservación del suelo y la gestión forestal, así como la obtención de imágenes aéreas orientadas a la cartografía.

En Cuba, la fotogrametría aérea o aerofotogrametría dio sus primeros pasos en el 1898 cuando el cuerpo de ingenieros del Ejército de los EE.UU. obtuvo fotografías aéreas de la zona oriental del país para confeccionar el mapa militar (Fig. 1) necesario para la primera intervención en Cuba (1898-1902) (Álvarez, 2012)

Se estima que para el año 1928 se tomaron las primeras fotografías aéreas desde un avión en Cuba con motivo de la construcción del acueducto de La Habana, la ampliación del malecón (Fig. 2) y la creación de la Carretera Central de Cuba (Fig. 3), considerada una de las maravillas de la ingeniería civil cubana, entre otras obras públicas promovidas bajo el mandato de Carlos Miguel Céspedes como secretario de Obras Públicas (1925-1933).

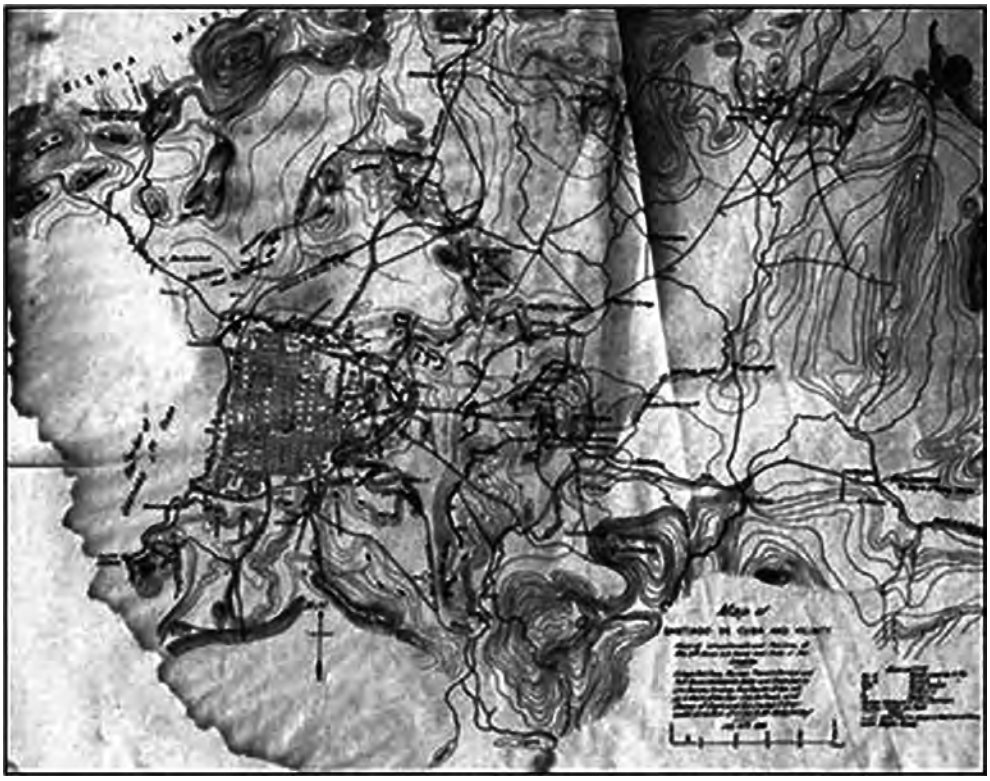


Fig. 1 – Santiago de Cuba: levantamiento aéreo realizado desde un globo, de zonas cercanas a la ciudad (imagen cortesía del Dr. C Ricardo Álvarez Portal).

En la década de los 30, Cuba aparece en dos hojas del mapa 1:1.000.000 de América, editado por la *American Society of Geography*, así como en la Carta Aeronáutica del Mundo a escala 1:1.000.000, editada en 4 hojas (De Castro, 1989).

En 1948 se crea el Instituto Cartográfico Nacional, que en 1955 pasó a llamarse Instituto Cubano de Cartografía y Catastro -ICCC. En este momento se comienza con los levantamientos geodésicos y aerofotográficos en colaboración con el *Inter American Geodesic Survey* y la *Aero Service Corporation* de los EE.UU, con el objetivo de elaborar el Mapa Topográfico Nacional de Cuba a escala 1:50.000. El mapa quedó terminado en el 1957 y su confección estuvo realizada principalmente mediante levantamientos aerofotogramétricos de todo el país a escala 1:60.000. Este hecho situó a Cuba entre los países de mejor cobertura cartográfica de su territorio en el continente americano para esa época.

Fig. 2 – Cuba: vista aérea del tercer tramo del Malecón de la Habana, 1928 (De las Cuevas, 2006).

No existe información certera sobre el avión utilizado para realizar estos levantamientos, sin embargo, hay evidencias que sugieren el empleo de un avión bombardero ligero B 26 ya que permitía ser adaptado para tomar fotografías aéreas gracias a su cabina tipo bulbo y acristalada, que permitía instalar una cámara fotográfica; además de su excelente techo de vuelo. La cámara empleada para realizar este proyecto fue una T-11, con una distancia focal de 154 mm, a una altura de vuelo promedio entre los 6000 m y 10 000 m (Fig. 4) (Pérez, 2018).

Contemporáneamente a los vuelos realizados por el ICCC, otras compañías norteamericanas, como *Abramms Aerial Surveying* y la *Aero Service Coorporation*, se encargaron de crear planos de base de interés para las compañías petroleras y empresas azucareras norteamericanas (Portal, 2012).

Fig. 3 – Cuba: construcción de la Carretera Central [1].

Fig. 4 – Avión B-26 Invader empleado para realizar los levantamientos fotogramétricos de todo el territorio cubano entre el 1955 y 1957 (izq.) Cámara aérea T-11 (der.) (Pérez, 2017).

Fig. 5 – Equipo de control de fotos Wild A8 (izq.) y Wild A7 (der.) (Muñóz, 2019).

A partir del año 1959 el desarrollo de la cartografía y los levantamientos fotogramétricos en Cuba se vieron impulsados considerablemente. Los trabajos realizados sirvieron como preámbulo de las mediciones necesarias para el control de tierras, que fueron utilizados durante la implementación de la Reforma Agraria.

El 23 de febrero de 1959 se inaugura una de las salas fotogramétricas más modernas del mundo para la época. Contaba con un equipo Wild A7 utilizado para garantizar el control fotográfico y 5 equipos Wild A8 empleados en la restitución planimétrica y altimétrica de todos los elementos a representar en los mapas (Fig. 5).

Entre los años 1965 y 1967 se adaptaron para la fotografía aérea dos modelos de aviones, el LI 2 de fabricación soviética que voló desde el 1965 hasta el 1966 y el *De Havilan Viver* de fabricación canadiense desde el 1966 hasta el 1967 (Fig. 6). En este periodo se crea el Instituto de Geodesia y Cartografía -ICGC y dentro de este el Grupo de Levantamiento Aéreo -GLA. También en el año se introducen los primeros equipos fotogramétricos soviéticos, los SRC-3, los SC-1 y los SD-1 (Pérez, 2018).

A finales de los años 60 se comienzan a realizar vuelos generales de todo el territorio cubano. El primero de los cuatro vuelos se ejecutó entre el 1970 y el 1973 con las cámaras soviéticas AFA y AFATEC, con distancias focales de 75 mm, 100 mm y 200 mm, a escala de fotografía 1:37 000 y rollos de película de 18cm x 18cm (Muñoz, 2019). Con los datos obtenidos durante este vuelo se comenzó a desarrollar los mapas topográficos a escala 1:10 000 por medio de tecnologías del Fotoplano con clasificación de campo y dibujo de la planimetría. Estos fotoplanos se ejecutaron con el empleo de los equipos SEG-V y RECTIMAT-C (Fig. 7) (Pérez, 2018).

El segundo vuelo general se realizó en el año 1978 con la finalidad de crear Mapas Topográficos y Catastrales a escala 1:10 000. Para esto se emplearon cámaras WILD RC8 con distancias focales de 152 mm y 210 mm y un formato de fotogramas de 18·18 y 23·23. En paralelo se realizaron vuelos con distancia focal de 114 mm

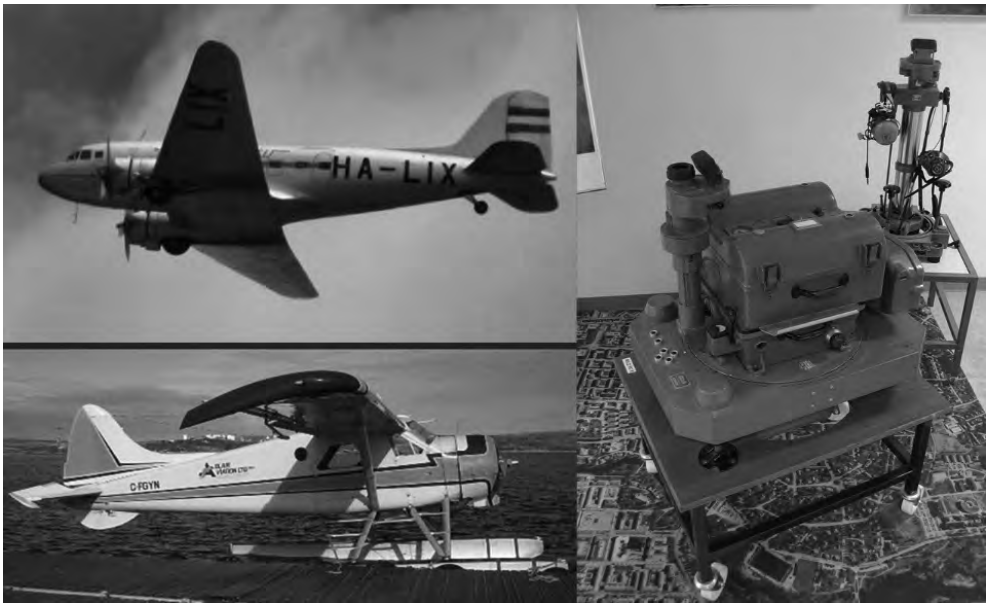


Fig. 6 – Aeronave LI 2 (arriba) (Pérez, 2018), aeronave De Havilan Viver (izq.) [2], *cámara aérea Wild A8 (der.)* [3].

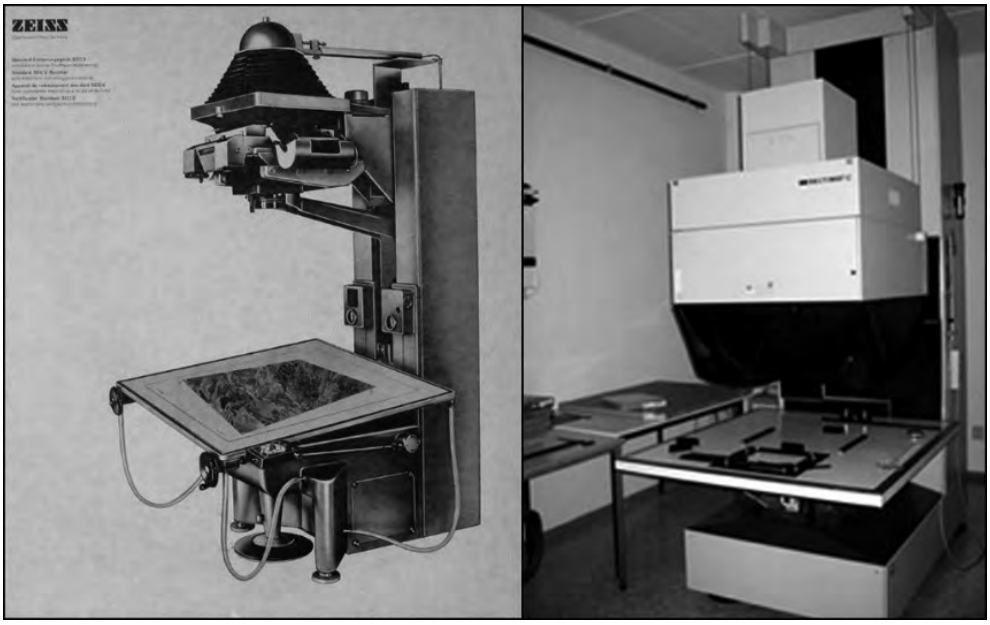


Fig. 7 – Equipo para la realización de fotoplanos SEG-V(izq.) y RECTIMAT-C (der.) [4].

para la restitución del relieve del mapa topográfico. Estos vuelos fueron fundamentales para dar inicio al catastro nacional cubano en las áreas rurales y la creación de mapas topográficos para satisfacer las necesidades de las empresas hidráulicas para el diseño y construcción de presas y sistemas de riego.

A finales de la década de los 70 la fotogrametría comenzó a utilizarse en el área de la arquitectura gracias a los aportes del Dr. Mario Pedroso Milián relacionados a los métodos de la fotogrametría terrestre entre 1975-1977. En el año 1979 se realizaron tareas de investigación sobre las aplicaciones de la fotogrametría terrestre, el primer trabajo relativo a la aplicación de técnicas fotogramétricas para la arquitectura en Cuba, con el levantamiento de la fachada de la Catedral de la Habana (Savón, 2011).

En los años 70 la fotogrametría sirvió de base para determinar las coordenadas altimétricas que sirvieron para la creación de modelos digitales aplicados a proyectos viales (Jiménez, 1977).

A principio de los años 80 se retoman los vuelos generales a Cuba. Esta tercera etapa estuvo orientada a la realización de los mapas a escala 1:8000 y 1:10 000 con la finalidad de crear el mapa topográfico a escala 1:2000 de pueblos y ciudades. Para el trabajo se utilizó, al igual que en la segunda etapa, la cámara WILD RC-8 con distancias focales de 152 mm y 210 mm. En esta década entro en Cuba el Ortofoto PP 08, para la confección de Fotoplanos (Fig. 8) (Pérez, 2071).

En el año 1982 el Centro Histórico de la Habana Vieja fue proclamado Patrimonio de la Humanidad y trajo consigo el creciente interés por el relevamiento y docu-

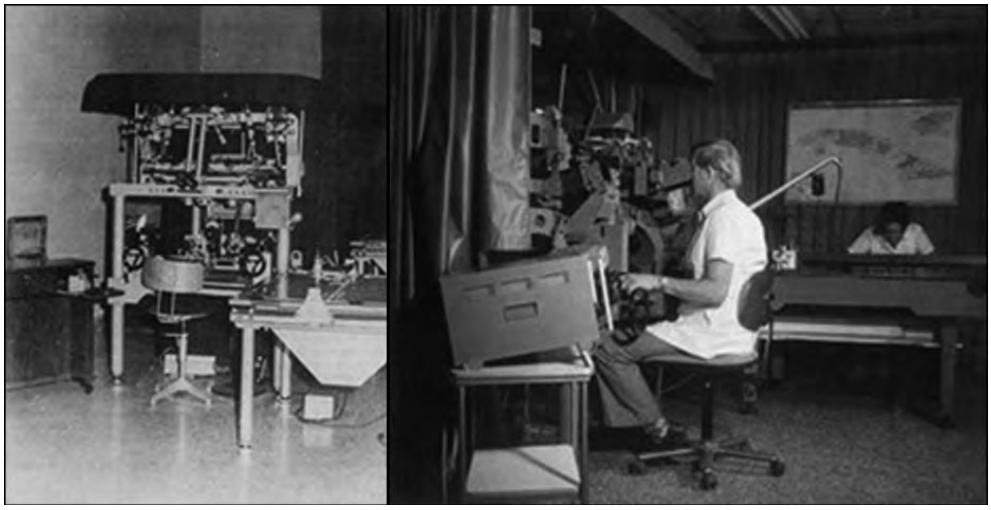


Fig. 8 – Equipo SRC-3 (izq.) y Ortofoto PP-08 (der.) (Patrimonio aerofotográfico y cartográfico cubano).

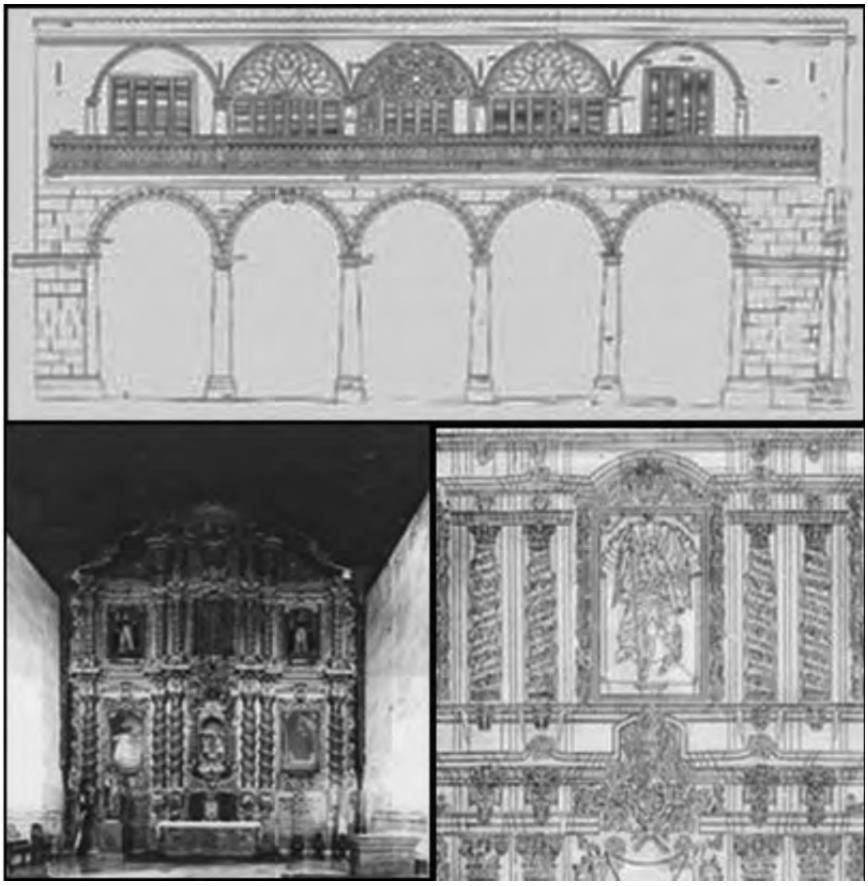


Fig. 9 – Plano de línea Antigua casa de los Condes de Jaruco, 1988 (arriba), Fragmento del plano de línea del Altar Mayor de la iglesia de Santa María del Rosario, 1989 (abajo). (Savón, 2011).

mentación de lo construido, aumentando notablemente el empleo de la fotogrametría arquitectónica en Cuba. En este periodo se realizaron trabajos de levantamiento fotogramétrico en distintas zonas de importancia histórica en el país como el altar mayor de la iglesia de Santa María del Rosario y la antigua casa de los Condes de Jaruco (Fig. 9) (Savón, 1989).

En 1992 un grupo de ingenieros y técnicos cubanos en colaboración con el instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autóctona de México - UNAM crean el primer sistema cubano de teledetección de bajo costo, con el cual realizan importantes aplicaciones en la agricultura cañera y en los estudios de germinación y estado de los cultivos de arroz (Pérez, 1996).

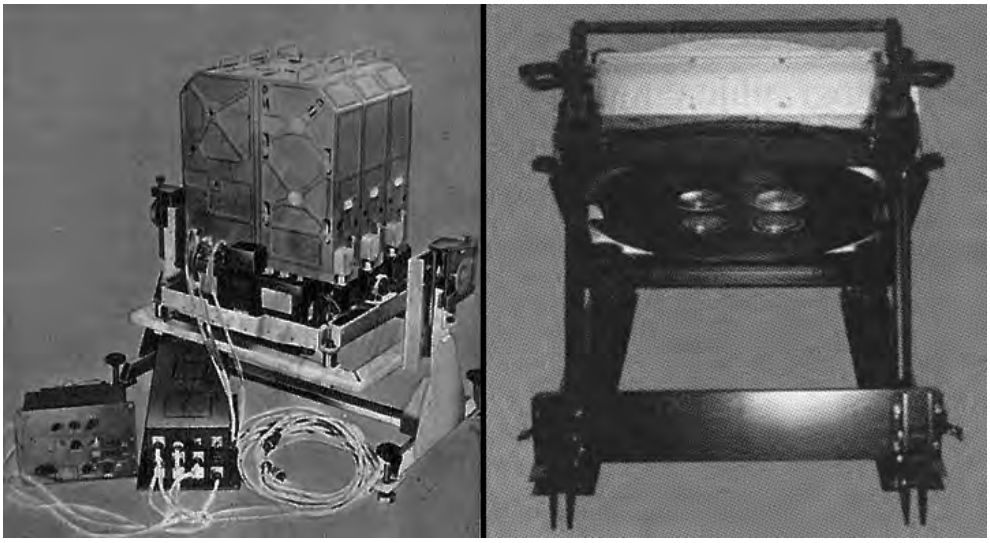


Fig. 10 – Cámara aérea MKF 6 (izq.) y cámara aérea MSK 4 (der.) (Patrimonio aerofotográfico y cartográfico cubano).

A partir del año 1993 mejora el paquete tecnológico en Cuba, ya que en esta fecha se comienzan a realizar trabajos digitales, lo que conllevo a una digitalización de los equipos empleados. En el año 1994 se modernizan 2 equipos fotogramétricos Wild A8, con la instalación de computadoras personales y el uso del software VMAP para el procesamiento digital de la restitución de planos topográficos y planos de fotogrametría terrestre.

En el 1997 se comienza el cuarto vuelo general de Cuba que duro hasta el año 2001, en esta ocasión se empleó la ya mencionada cámara aérea WILD RC-8 y se incorporó una cámara AFA con distancias focales de 50mm, 75 mm, 100 mm y 200 mm.

A lo largo de los vuelos generales y otros realizados aisladamente se usaron cámaras aéreas como la WILD RC-5 y las multiespectrales del tipo MSK 4 y MKF 6 (Fig. 10) (Pérez, 2018).

En el año 1998 se instalaron 7 Estaciones Fotogramétricas Digitales DPS, que fueron empleadas para la restitución fotogramétrica de las imágenes digitales. Ya en el año 2001 comienzan a funcionar las Estaciones Fotogramétricas Digitales DIAP (Fig. 11).

Actualmente Cuba cuenta con un amplio paquete de instrumentos de punta dedicados principalmente al control cartográfico del territorio y a la realización de trabajos de levantamiento fotogramétricos, los cuales sirven de apoyo en la construcción o restauración de las infraestructuras. Entre los instrumentos destacan: Una cámara Fotogramétrica Digital UltraCam Lp de tamaño compacto, con una resolución de 92

Fig. 11 – Estación Fotogramétrica Digital DPS-Delta (izq.) y Estación Fotogramétrica Digital DIAP (der.) (Patrimonio aerofotográfico y cartográfico cubano).

megapíxeles y una distancia focal de 70 mm, y un equipo aéreo LiDAR VQ780i con una cámara IGI DigiCAm de 60 Mpx.

La evolución de la ingeniería hasta nuestros días en los campos de la cartografía y la fotogrametría han permitido a través de los resultados obtenidos en congresos y trabajos internacional, reconocer el desempeño de los ingenieros cubanos, al mismo tiempo, estos, de una forma u otra con sus aportes, han permitido mejorar la interpretación y el empleo de los instrumentos y técnicas fotogramétricas en diversos sectores, como la minería, la mecánica, la hidrografía entre otros.

Conclusiones

La evolución de Cuba en el campo de la fotogrametría a lo largo de los años permitió crear las bases cartográficas de todo el territorio. A su vez, el uso de instrumentos de punta contribuyó en la preparación de técnicos y especialistas que hoy en día siguen ejerciendo la profesión con amplios resultados tanto dentro como fuera del país. Actualmente el país cuenta con departamentos dedicados a salvaguardar gran parte de todo este patrimonio aerofotográfico y cartográfico, así como parte de los instrumentos utilizados a lo largo de los años, los cuales sirven como medio de consultas y recordatorio de los grandes trabajos realizados a lo largo de la historia.

A pesar de tener una enriquecida historia fotogramétrica y cartográfica en Cuba, el número de documentos que permiten estudiar esta evolución son escasos sobre todo a nivel internacional, por lo que esta contribución permitiría recoger parte de esa labor realizada a lo largo de los años y así motivar en la realización de futuros trabajos de este tipo para seguir mejorando la historia de la ingeniería en Cuba.

Este trabajo se encuentra dedicado a la memoria del Ingeniero Eloy Eduardo Pérez García, uno de los partícipes en la conservación de la historia de la fotogrametría en Cuba. Y es, al mismo tiempo, un agradecimiento a sus aportes en gran parte de los trabajos mencionados, durante sus cargos como director en las agencias encargadas de la teledetección, la geodesia y la cartografía en Cuba, y como presidente de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial - SELPER.

Bibliografía

De Castro Ruiz M.G. 1989. La cartografía contemporánea de Cuba. Ería, (19-20), 213-215.

De las Cuevas J. 2006. Cuba para guardar la memoria [fotografías]. Recuperada de Archivo iconográfico del Ministerio de la Construcción. Sevilla: Junta de Andalucía y Consejería de obras públicas y transportes

Jiménez G., Pérez J.A. 1977. Determinación de coordenadas por métodos digitales. La Habana. Revista de Ciencias Técnicas. Ingeniería en Ciencias Geodésicas y Geofísicas. No1. 37-46.

Muñóz Campoalegre Y. 2019. La Fotogrametría en Cuba, história, desarrollo y su conservación. IX convención agrimensura. La Habana, Cuba.

Pérez García E, Torriente Martínez L, García Pérez P, Sarria Popowski R y Garcia Albuquerque M. 1996. Determinación del Índice de Población cañera. Informe de resultado. La Habana.

Pérez Garcia E. E. 2018. Desarrollo de la aerofotogrametría en Cuba. XVI Convención y feria internacional Informática. la Habana.

Pérez, García E. 2017. *La aerofotogrametría cubana 56 años al servicio del país*. La Habana, Cuba.

Portal, R. A. 2012. Apuntes sobre la histria de la cartografía. La Habana, 274-333, 310- 326.

Savón Espichicoque X. 2011. Documentación fotogramétrica del patrimonio arquitectonico cubano: una mirada desde el 2011. Revista digital. La Habana, Cuba.

Savón X. 1989. La Fotogrametría Arquitectural. Su empleo en los estudios sobre el Valle de los Ingenios. Ciclo de Conferencias Trinidad y el Valle de los Ingenios. Patrimonio de la Humanidad. La Habana.

Webgrafia

[1] Sesión de fotos: Carretera Central de Cuba
https://peakd.com/hive-194913/@cubanresearch/sesion-de-fotos-carretera-central-de-cuba

[2] Modelos de aviones
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C-FGYN_Adlair_Aviation_de_Havilland_Beaver_(DHC2)_(5603675111).jpg

[3] Cámara aérea
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wild_Heerbrugg_RC8_Aerial_camera.png

[4] Equipo para la realización de fotoplanos
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vergroesserungsgeraet_Rectimat_C.jpg

Salvatore D'Agostino

Per una cultura interdisciplinare del Patrimonio costruito Storico

For an interdisciplinary culture of Built Heritage

Sommario
Lo sviluppo scientifico dell'ultimo secolo ha abbattuto molte frontiere tra le diverse scienze. È questo il caso tra Archeologia, Ingegneria, Storia dell'Architettura e Archeometria che, attraverso un comune sforzo interdisciplinare, tendono a sviluppare una visione scientifica della Storia Materiale, che possa essere di concreto supporto alla Conservazione e al restauro del Patrimonio costruito. La memoria illustra la necessità di tale percorso per l'applicazione della teoria della Conservazione e ipotizza uno sviluppo dell'Italia coerente con la salvaguardia del suo patrimonio culturale, vero "museo della cultura occidentale", auspicando una evoluzione del Paese verso uno sviluppo organico di tutto il territorio, in una visione multietnica e in sintonia con l'inevitabile globalizzazione.

Abstract
Many frontiers between the different sciences have been broken down by the scientific development of the last century. Thus, a common scientific vision of Material History tends to be developed by the interdisciplinarity between Archaeology, Engineering, History of Architecture and Archaeometry. A real help to the Conservation and Restoration of the Built Heritage can come from this interdisciplinary effort. The need to apply this method to Conservation Theory is presented in this paper. A development for Italy, which could be consistent with the safeguarding of its Cultural Heritage, is also hypothesized in this paper. In fact, Italy represents a true "Museum of Western Culture". Thus, in a multi-ethnic vision and tuned with the inevitable globalization, an evolution of Italy towards the organic development of its entire territory is hoped for.

Premessa
L'evoluzione culturale sviluppatasi a partire dalla metà del secolo scorso, all'affacciarsi cioè del secondo dopoguerra, ha avuto conseguenze radicali sullo sviluppo

scientifico e culturale che, tra l'altro, ha assunto oggi dimensione planetaria. Ne sono seguiti sostanziali mutamenti dei metodi e dei contenuti del sapere e, di conseguenza, complesse interconnessioni interdisciplinari tra le sue articolazioni. A queste circostanze si aggiunge la più recente rivoluzione digitale che ha eliminato ogni distanza e confine culturale, rendendo di fatto, sui piani della conoscenza, l'uomo cittadino del mondo. Anche la vita sociale si è sviluppata in modi innovativi e generalizzati che vanno determinando nuovi assetti territoriali e abitativi. In questa direzione, la Storia si manifesta sempre più come Scienza della Umanità (Block, 1949), individuando di tempo in tempo la contingente visione del mondo che tende, sia pure con lentezza e improvvisi ritorni, a omogeneizzare le diverse culture.

In questa complessa evoluzione diventa naturale che discipline, che tradizionalmente apparivano estranee tra loro, oggi si ritrovino a operare in sintonia, con esigenze comuni vuoi scientifiche che, più in generale, culturali in senso ampio. È, ad esempio l'inusuale caso di un intrecciarsi di esigenze e interessi che, negli ultimi decenni, hanno determinato una sorprendente connessione tra Ingegneria civile, Archeologia e Storia della Architettura, che ancora stupisce molti operatori culturali.

Ingegneria e Archeologia

L'Ingegneria civile nasce con l'apparire della intelligenza umana e si sviluppa con il progredire della civiltà. Progetta e costruisce utensili e ripari, rappresentazioni ed emblemi religiosi. È un lungo percorso che si dipana per molte decine di migliaia di anni e lentamente porta alla realizzazione di attrezzi, villaggi, imbarcazioni. Pur nelle difficoltà gli scambi sono diffusi e cominciano a formarsi le prime collettività. Emblematico il caso di Catalhöyük, la più antica città dell'Anatolia, operante tra il 7500 e 5600 a.C., strutturata come un alveare, senza strade e con case addossate l'un l'altra cui si accedeva dall'alto (Harmann, 2019). Da quel momento tutto evolve, dalle abitazioni alle strade, dai Templi agli edifici pubblici, ai servizi essenziali, agli utensili di lavoro e ai trasporti. È in effetti il percorso della storia degli ultimi 10.000 anni, con il succedersi di numerose civiltà, tutte segnate da uno sviluppo culturale e tecnologico. Solitamente si data la nascita dell'Ingegneria moderna dalla rivoluzione industriale, ma l'Ingegneria civile, pur strutturandosi scientificamente a partire dal XVIII secolo, è nata e si è sviluppata con l'uomo segnando profondamente di sé il suo cammino. Questi concetti, estranei alla cultura dei secoli passati, si sono chiaramente manifestati quando la formulazione di una Ingegneria per i Beni Culturali ha intrinsecamente promosso una cultura archeologica del proprio passato.

Anche l'Archeologia come scienza è una disciplina recente, che tradizionalmente si fa risalire al XVIII secolo. Nei secoli precedenti, fin dall'antica Roma, trionfava l'antiquaria che semplicisticamente può intendersi l'amore e la cura per le opere belle del passato. Questo atteggiamento è stato causa di infiniti disastri per lo spolio e il depredamento degli edifici antichi e, solo pochi spiriti illuminati, quali Petrarca

e Raffaello ne avvertirono la drammaticità. Già con l'Umanesimo e il successivo Rinascimento la cultura dell'antico diventa riferimento cogente della nuova società con l'opera di grandi artisti del Rinascimento, da Brunelleschi a Leon Battista Alberti, a Palladio, solo per citare l'architettura. È poi con Winckelman che nella seconda metà del XVIII secolo la conoscenza dell'antico comincia a strutturarsi come Storia, ma ancora nei primi scavi di Pompei ed Ercolano prevale l'idea antiquaria che porta al prelievo delle opere d'arte e all'interramento e alla distruzione delle testimonianze della quotidianità. Ormai però la strada è segnata e via via la conoscenza dell'antico, e più in particolare delle sue testimonianze materiali, vanno assumendo le caratteristiche proprie di una disciplina storica, intrisa di cultura umanistica. Si studia ogni reperto archeologico, si salvano le tracce sia pur minime della storia antica, si promuovono gli scavi stratigrafici e si vanno definendo metodologie per la conservazione dei reperti. In questo lungo percorso l'Archeologia si identifica sempre più con la cultura umanistica.

A partire dalla metà del secolo scorso, con il diffondersi della cultura scientifica e tecnologica, la Storia Materiale comincia ad assumere dignità scientifica, promuovendo il profilarsi di uno scambio tra archeologia e scienze. In effetti, pur manifestandosi alcuni rapsodici interessi scientifici per i reperti antichi fin dal XVIII secolo, è solo dalla metà del secolo scorso che si formalizza l'Archeometria, che intende studiare manufatti o siti di interesse storico archeologico con metodi scientifici. Si cominciano così a sviluppare ad esempio la datazione dei reperti e la composizione delle leghe antiche, dei vetri e delle malte. Geologi, fisici e chimici sviluppano le loro ricerche e oggi l'Archeometria è una branca delle "scienze esatte", particolarmente attiva nel nostro Paese. L'Ingegneria, che intanto si è strutturata su rigorose basi tecnico-scientifiche, abbandonando la cultura empirica del passato fondata su base artigianale, resta essenzialmente in disparte. In particolare, l'Ingegneria civile si è impegnata nella ricostruzione post bellica con l'esplosione di un boom edilizio e infrastrutturale che ha modificato radicalmente l'habitat del Paese.

È solo negli anni '70-'80, con l'esplosione della crisi sismica che ha investito l'Italia negli ultimi quaranta anni, che l'ingegneria è chiamata a salvare, in prima persona, il patrimonio costruito antico, segnato duramente dai sismi che si riversano su un tessuto monumentale ed edilizio da decenni privo di una diffusa manutenzione. La scienza e la tecnica delle costruzioni moderne, che hanno garantito lo strepitoso sviluppo del Paese, si dimostrano in piena discrasia con l'antica concezione costruttiva. La palese contraddizione tra la tutela esercitata dalle Soprintendenze e le tecniche di intervento della moderna edilizia, con l'uso diffuso di materiali quali l'acciaio, il cemento armato, i materiali compositi e il vetro strutturale, segnano le tormentate ricostruzioni post sismiche.

È in tale contesto che il neonato Ministero per i Beni Culturali, promuove, agli inizi degli anni '80, la costituzione del Comitato Nazionale per la prevenzione dei

Monumenti dal Rischio Sismico, che per la prima volta ha promosso un dialogo tra conservatori, archeologi, architetti e ingegneri. Da allora si è sviluppato un difficile confronto che, pur avendo conseguito importanti risultati con la pratica del miglioramento sismico, la necessità di una manutenzione programmata e la riqualificazione di materiali e tecniche tradizionali, stenta a manifestarsi come una compiuta acquisizione del Paese. È in questo contesto che nasce l'Ingegneria per i Beni Culturali (D'Agostino, 2017).

Intanto già sul finire degli anni '70 in Francia nasce l'Archeologia preventiva che, nell'esercitare un controllo preliminare sui nuovi progetti architettonici e infrastrutturali, impone dapprima un monitoraggio non invasivo, poi, ove necessario, sondaggi mirati e infine scavi per l'individuazione di reperti archeologici nell'area di sedime delle nuove costruzioni. In Italia le stesse esigenze vengono sancite dall'articolo 28 del Codice dei Beni Culturali e dai successivi strumenti legislativi del 2005 e 2006. Ciò lega intrinsecamente ingegneria e archeologia e impone un forte dialogo interdisciplinare. Così, in un momento in cui in Italia si vive una intensa attività per la realizzazione di nuove infrastrutture, dall'alta velocità alle reti metropolitane, lo svilupparsi puntuale delle indagini di archeologia preventiva fa emergere sorprendenti reperti, dalla villa pompeiana di Muregine alle strutture e alle navi romane dell'antico porto di Napoli, solo per fare qualche prestigioso esempio. Tutto ciò richiederà un attento e rapido sviluppo dal momento che continuerà ai nostri giorni con l'intenso programma di infrastrutture previsto dal *Recovery Plan*.

Ingegneria e Storia dell'Architettura

L'opera di architettura si presenta come un organismo complesso che, come messo in luce dai tempi di Vitruvio, si fonda su tre elementi caratterizzanti:

- la costruzione, che riguarda la dimensione e la composizione dei vari elementi costruttivi e che garantisce la stabilità dell'opera;
- la funzione, legata alla utilità dell'opera, ma anche alla visione della composizione plano volumetrica, a sua volta dettata dalla evoluzione della società;
- l'estetica, condizionata dall'evoluzione culturale che, di tempo in tempo, la ridefinisce;

che si esemplificano di volta in volta con la intrinseca dialettica tra progetto e committenza.

Peraltro, mentre la Storia dell'Architettura antica tende a identificarsi con l'Archeologia, quella dell'Architettura moderna e contemporanea tende alla Storia dell'Arte, condividendone spesso le visioni estetiche e storico-critiche. Ciò ha nella cultura europea una lunga tradizione, sia pur con diverse declinazioni. Infatti, in Italia la Storia dell'Architettura cerca una via autonoma solo a partire dagli anni '30 del '900, sull'abbrivio della nascita delle Facoltà di Architettura, ma resta comunque fortemente legata alla Storia dell'Arte, condividendone i canoni anche per la Con-

servazione e il Restauro. In Europa, invece, si manifesta una più oculata attenzione al costruire e al costruito, senza che ciò porti a uno studio sistematico per il disvelamento delle "Regole dell'Arte" che avevano presieduto alla concezione costruttiva antica. Emblematico il trattato di Storia dell'Architettura di Banister Fletcher, edito in Italia nel 1967, che però, pur nell'indicare misure e proporzioni delle costruzioni, manca di un'analisi puntuale delle dimensioni e della composizione dei diversi elementi costruttivi.

In definitiva, la Storia dell'Architettura trascura lo studio dell'organismo costruttivo, a tutto vantaggio di una visione purovisibilista del monumento, determinando una sostanziale carenza della Storia del Costruire, che pure ha assicurato la permanenza di canoni costruttivi che hanno tracciato il meraviglioso dipanarsi della Architettura occidentale. Ma non basta: nella maggior parte dei casi l'ingegnere moderno e l'architetto non sono in grado di affrontare la Conservazione e il Restauro costruttivo di un monumento antico, divenuto archivio materiale di ricerca storico-scientifica, in quanto non ne comprendono la concezione costruttiva. Architettura e Ingegneria moderna si ritrovano culturalmente inadeguate a questo compito fondamentale che la moderna visione storico-culturale affida loro.

Il patrimonio costruito come patrimonio archeologico

Come si è accennato, la concezione costruttiva antica è fortemente dissonante rispetto a quella moderna. Infatti, essa si fonda sulla osservazione della natura e della geometria, definendo, attraverso una lunga prassi artigianale, le "Regole dell'Arte" che presiedevano al progetto e alla esecuzione delle opere. Al contrario, la concezione costruttiva moderna, che ha le sue fondamenta nella Meccanica Razionale, ha sviluppato teorie matematiche: dalla teoria della elasticità, alla plasticità, alla dinamica delle strutture. Inoltre essa, attraverso la Tecnica delle Costruzioni ha elaborato teorie applicative per i materiali innovativi di carattere industriale. Questa concezione, diffusasi rapidamente nell'intero pianeta a partire dall'inizio del secolo scorso, ha permeato di sé tutta l'architettura moderna, determinando, nei fatti, la prima globalizzazione.

Al contrario, la concezione costruttiva antica ha avuto una lenta evoluzione: dalle Stele di Gobelky Tepe alla città alveare di Catalhöyük passano due millenni, e altri millenni intercorrono tra questi primordi e le evolute civiltà Mesopotamiche e dell'antico Egitto. Finalmente si può storicamente seguire questo sviluppo sia pur tra molte incertezze, passando dalla civiltà greca, nel suo articolato percorso, alla civiltà romana, nella quale lo stesso imperatore assume il ruolo di primo Edile. L'Architettura romana con il suo prorompente sviluppo si diffonde in tutto l'occidente, segnandone per sempre i canoni costruttivi fondamentali. In alcune significative evoluzioni, dall'architettura bizantina, e ancor più con quella gotica, i canoni costruttivi si modificano anche in maniera rilevante, ma limitati nel tempo, mentre l'imperio della romanità continua ad imporsi dal Rinascimento in poi. Non è chi non veda che, abban-

donato il gotico nei primi secoli dell'ultimo millennio, sono i canoni dell'architettura romana a manifestarsi in maniera costante pur nell'evolversi di stili, dal barocco al rococò fino al neoclassicismo. Essi si fondano su "Regole dell'arte" la cui millenaria concezione permane sostanzialmente inalterata, pur nella variabilità dei materiali locali e di modeste variazioni nelle tecniche costruttive. Se si volesse quindi conservare, con metodi scientifici e nel rispetto della Storia materiale, il ricchissimo patrimonio costruito che caratterizza il paesaggio, la cultura e l'identità stessa del mondo occidentale, sarebbe indispensabile riappropriarsi di quelle "Regole dell'Arte" che, pur avendo fatto per secoli parte intrinseca e indispensabile della cultura artigiana degli antichi costruttori, si sono di fatto totalmente dileguate a partire dagli albori del secolo scorso. In effetti l'Ingegneria, strutturata in modo strettamente scientifico e tecnologico, ha elaborato modelli di calcolo analitico che, suffragati dalla potenza di calcolo della rivoluzione digitale, hanno determinato, unitamente allo sviluppo di materiali industriali, una rivoluzione costruttiva che non ha precedenti nella storia dell'umanità sovvertendo, anche nella visione planovolumetrica, i canoni fondamentali dell'architettura tradizionale, dalla simmetria all'incondizionata altezza. Anche quando nelle Facoltà di Ingegneria e Architettura si sono istituiti corsi sulla muratura, questi, come del resto ovvio, sono stati interpretati in modo del tutto dissonante con l'antica concezione costruttiva (Heyman, 1997).

D'altro canto l'Archeologia, pur sviluppandosi con approccio scientifico allo studio dell'antico, si fonda su una cultura storico-umanistica che ha rimosso ogni attenzione allo studio tecnico dell'antico costruire. In tutte le ricerche archeologiche mancano quasi sempre misure dettagliate e coerenti delle antiche costruzioni, pur non mancando studi esemplari sull'architettura antica più attenti ai problemi costruttivi (Cairoli Giuliani, 2020).

Dalle considerazioni precedenti discende che tutto il costruito storico, dalla preistoria all'ingegneria moderna, fino alla metà del XIX secolo è da considerarsi costruito archeologico nel senso di archeologia del sapere tecnico.

In effetti è la Storia materiale del costruire che richiede la fondazione di una nuova cultura e di una nuova sensibilità scientifica basata sulla Storia materiale. Essa si fonda sulla Teoria della Conservazione i cui fondamenti sono:

– affidabilità della costruzione antica;
– degrado naturale e degrado antropico;
– concetto di miglioramento;
– conservazione del documento di storia materiale;
– principio del minimo intervento;
– manutenzione programmata.

Questa nuova sensibilità culturale che impone un dialogo interdisciplinare tra Archeologia-Ingegneria-Storia dell'Architettura e Archeometria necessita di una

presa di coscienza generale che promuova specifiche iniziative in campo accademico e impone una rivoluzione culturale dello stesso Ministero per la Cultura con l'immissione di tecnici e scientist appositamente formati per la corretta Conservazione del Patrimonio costruito storico, (D'Agostino, 2017; Osanna e Picone, 2018; D'Agostino, 2021).

Quale Futuro?

Le considerazioni precedenti dovrebbero essere uno spunto di profonda riflessione per i decisori dello sviluppo del Paese, sempre più pressantemente chiamato a preservare un immenso patrimonio diffuso in ogni suo angolo.

In una era di sempre maggiore globalizzazione, l'Italia, oltre a portare avanti il suo tradizionale impegno industriale e ad uniformarsi al prorompente sviluppo tecnologico, deve rispondere alla necessità di sfruttare il proprio patrimonio culturale, affermandosi come "Museo del paesaggio e della cultura occidentale", quindi preservando i suoi panorami e rendendo vivi gli infiniti affascinanti borghi che delineano la morfologia del Paese e i Centri storici delle sue cento città (D'Agostino, 2019).

È questa forse l'unica visione positiva dell'Italia del futuro che, aprendosi a uno sviluppo multietnico, le consentirebbe da un lato di preservare la propria eccezionale identità e dall'altro di promuovere uno sviluppo di cultura e di benessere nel contesto mondiale.

Bibliografia

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

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

D'Agostino S. 2020. Conservazione e sicurezza: un rapporto difficile. In: Atti dell'VIII Convegno nazionale ARCO *I buoni interventi di restauro. Conservazione, adeguamento* (a cura di F. Giovannetti e G. Brunori), 189-200, Napoli, marzo 2019. Roma: RomaTrE-Press.

D'Agostino S. 2022. *Conservation and Restoration of Built Heritage*. Anversa: CRC Press.

Giuliani C.F. 2020. *Metti che un muro. Scritti scelti*. Roma: Edizioni Quasar.

Haarmann H. 2019. *Culture dimenticate*. Torino: Bollati Boringhieri.

Heyman J. 1997. *The Stoke Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge: University Press.

Osanna M., Picone R. 2018. *Restaurando Pompei: Riflessioni a margine del Grande Progetto*. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Salvatore D'Agostino

Sulla Conservazione del Patrimonio costruito storico: "com'era, dov'era" una utopia da perseguire

On the Conservation of the Built Heritage: "how it was, where it was" a utopia to be pursued

Sommario
La nota traccia, in estrema sintesi, la recente storia della Conservazione del Patrimonio costruito, esaminandone il dibattito vuoi tra Conservazione e Architettura, vuoi tra Conservazione e Sicurezza. Si evidenzia inoltre, anche mediante alcuni esempi, come nell'assunto "com'era, dov'era" si manifesta una utopia alla quale tendere attraverso un profondo dibattito tra le diverse professionalità impegnate nel progetto di Conservazione e Restauro.

Abstract
The paper reviews, in a nutshell, the recent history of the Conservation of Built Heritage, examining both the debate between Conservation and Architecture and between Conservation and Safety. Even through some examples, the assumption "as it was, where it was" turns out to be a utopia, to which we can strive through a profound debate between the different professionals involved in the Conservation and Restoration design.

Premessa
In una visione della Storia intesa come Scienza dell'umanità (Block, 1949; Galasso, 2000), il Patrimonio costruito storico assume il valore di Monumento–Documento e, in quanto tale, documento dell'Archivio storico dell'umanità.

Questa visione, culturalmente ineccepibile sul piano teorico, si manifesta di fatto non perseguibile nella teoria della Conservazione, pur costituendo un orizzonte cui mirare, ma che in realtà si presenta come utopico.

Infatti i principi della teoria della Conservazione relativi:
– all'affidabilità della costruzione antica;
– al degrado naturale e al degrado antropico;
– al concetto di miglioramento;

– alla Conservare il documento di storia materiale;
– al principio del minimo intervento;
– alla manutenzione programmata;

mirano a tenere in conto sia la lunga storia del Patrimonio costruito con la sua complessa evoluzione, sia la complessità operativa degli interventi di Conservazione.

Essi, da un lato, avvalorano lo slogan "com'era, dov'era", ma dall'altro ne constatano di fatto l'utopia, principalmente attraverso la teorizzazione del miglioramento e del minimo intervento. Pertanto, nella sua inapplicabilità pratica, lo slogan "com'era, dov'era" non può che rappresentare una posizione culturale cui tendere se riferita all'attuale configurazione materiale del monumento.

Ciò nonostante, questo sintetico slogan, che racchiude una complessa vicenda culturale e tecnico scientifica, continua a caratterizzare il dibattito sulla Conservazione e a segnare importanti vicende, come dimostra l'attuale confronto sulla conservazione di Notre Dame. Nel seguito si cercherà di esemplificare il percorso e di individuarne i limiti di validità anche alla luce di moderne tendenze.

Da Viollet le Duc a "Com'era, dov'era"

L'architetto francese Eugène Viollet le Duc (1814-1879) fu certamente fondamentale nella cultura del restauro del XIX secolo. Egli non solo fondò una teoria che influenzò tutta la cultura europea, ma intervenne su numerose cattedrali, a partire da Notre Dame fino a Chartre, e anche su edifici monumentali e centri storici. Profondo conoscitore dell'architettura e delle tecniche antiche, teorizzò la possibilità di realizzare interventi innovativi o di complemento mai esistiti, purché concepiti nel pieno rispetto dell'architettura, delle tecniche e dei materiali del monumento da restaurare.

Nel Dizionario ragionato dell'Architettura francese dal XI al XVI secolo (1854–1868) egli afferma infatti: «restaurare una costruzione non è mantenerla, ripararla o rifarla, è ristabilirla in uno stato completo che può non essere mai esistito fino a quel momento». Ciò che era importante perseguire era lo stile del monumento operando con tecniche e materiali tradizionali. Il suo impegno si dedicò fondamentalmente all'architettura gotica francese con rifacimenti e completamenti del tutto arbitrari secondo i propugnatori dell'autenticità dell'opera.

Viollet le Duc ebbe grande influenza in Europa, e in particolare in Italia, con il "rifacimento medioevale" di Bologna, fino alla tormentata storia della costruzione delle facciate di grandi cattedrali quali quelle di Firenze e Napoli. A lui si contrappose, in maniera assoluta, John Ruskin che non solo influenzò notevolmente la cultura anglosassone, giungendo a teorizzare il restauro come il peggiore dei mali, ma influenzò fortemente in tutta Europa la cultura della Conservazione che si opponeva radicalmente alla teoria di Viollet le Duc. Intanto, all'alba del nuovo secolo, nel 1902 si ebbe l'improvvido crollo del Campanile di S. Marco a Venezia. Ciò determinò un

vivace dibattito tra i fautori di un progetto innovativo e quelli del “com’era, dov’era”. Alla fine prevalse in apparenza la scelta conservatrice, ma il campanile, pur nelle forme originali, e con un rivestimento in mattoni, fu realizzato con una struttura, innovativa per quell’epoca, in calcestruzzo armato.

In quello stesso periodo, specialmente in Italia, andava maturando una più severa visione della Conservazione e del Restauro che culminò vuoi negli scritti e nell’opera di Cesare Brandi, vuoi nella fondazione, nel 1939 dell’Istituto Centrale del Restauro, vanto della cultura italiana nel mondo, che ancora oggi, unitamente all’Istituto fiorentino delle Pietre Dure, è assertore e propugnatore dell’intangibilità dell’opera d’arte. Questa teoria, che sostanzialmente riesce a realizzarsi nella conservazione e nel restauro dei Beni storico-artistici, si manifesta di più difficile applicazione per i Beni Archeologici e Architettonici.

Con le esigenze della ricostruzione postbellica continuava il confronto tra le due opposte teorie e così la grande basilica angioina di S. Chiara a Napoli, trasformata in epoca barocca, venne riedificata in stile gotico, con una copertura realizzata in calcestruzzo armato, ma decorata da stemmi gotici. Ancora, il confronto si accese per la ricostruzione del ponte di S. Trinità a Firenze e qui prevale, nel disegno della forma architettonica, il “com’era, dov’era”, mentre ancora una volta viene utilizzato il calcestruzzo armato. Nel 1982 un Convegno romano promosso dall’AITEC sul calcestruzzo nel restauro mostrò in un ricco repertorio di schede la cementificazione di centinaia di monumenti.

Intanto i sismi del Friuli nel 1972 e dell’Irpinia nel 1980 avevano duramente segnato il patrimonio costruito storico e una riflessione più in linea con la teoria del restauro di Brandi fu perseguita dal “Comitato Nazionale per la protezione dei monumenti dal rischio sismico”, che nelle “Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche” del 1986 [1] e nella Circolare n. 1841 del 12 marzo 1991 del Ministero per i beni culturali e ambientali “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”, affermò una più consapevole teoria della conservazione, privilegiando i valori storici, la concezione costruttiva antica e le tecniche tradizionali. Veniva così messo al bando il calcestruzzo armato, fortemente dissonante con la concezione costruttiva antica, che cominciava a mostrare gravi carenze, palesemente manifestatesi nei successivi eventi sismici che hanno caratterizzato la storia italiana degli ultimi decenni.

Bisogna inoltre sottolineare che gli Organi di tutela dello Stato perseguivano e perseguono con forte determinazione l’autenticità dell’opera d’arte, la loro concezione originaria e il rispetto della storia materiale.

Il dibattito sul “com’era, dov’era” proseguiva intanto per altre ricostruzioni significative come i Teatri della Fenice a Venezia e il Petruzzelli di Bari, per i quali,

pur in un cogente rispetto per il "com'era e dov'era", non mancano indispensabili componenti di modernità.

Inoltre, in particolare in Italia, il rischio sismico aveva introdotto nuove, più complesse problematiche nella conservazione e l'Ingegneria veniva chiamata ad assumere un ruolo centrale nel dibattito Conservazione-Sicurezza, dando luogo alla nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali (D'Agostino, 2017).

Il dibattito recente

Allo stato attuale, i principi espressi dalla Teoria della Conservazione appaiono ancora del tutto cogenti, ed essi vengono in effetti perseguiti in Italia dagli Organi di Tutela. Infatti, non è chi non veda in quale misura l'affidabilità della costruzione antica con la sua storia plurisecolare e il degrado e l'abbandono come elementi fondanti della decadenza del monumento si accompagnino alla necessità di un intervento di miglioramento strutturale che, privilegiando l'uso di materiali tradizionali, propri del monumento, non ne infici la concezione costruttiva. Perseguendo il principio del minimo intervento e promuovendo l'efficienza statica attraverso un'opera di manutenzione straordinaria, si risponde, di fatto, anche al recente dettato della normativa sismica, la quale, con grande oculatezza limita drasticamente il coefficiente di miglioramento allo 0,1 per i Beni sotto tutela. Tutto ciò con l'obiettivo di perseguire al massimo la conservazione del monumento come documento della storia materiale (D'Agostino, 2020).

Peraltro, questi principi sono in consonanza con i documenti internazionali dalla metà degli anni sessanta del secolo scorso. L'Ente normativo inglese, il *British Standards Institution* pubblicava già nel 1964 una norma in cui indicava la manutenzione come strumento fondamentale, così come nei Paesi Bassi è stata varata l'ottima iniziativa del *Monument Watch*, progetto teso a un controllo sistematico dello stato di conservazione dei monumenti. Questi indirizzi sono tutti conformi a quanto teorizzato dalla Conferenza di Lubiana del 2008, per la quale la manutenzione diviene l'attività tesa a conservare l'autenticità materiale e l'integrità del manufatto.

Intanto, al fine di tener conto, in un mondo globalizzato, della profonda differenza del concetto di Conservazione tra l'universo occidentale e quello orientale, la Conferenza di Nara del 1994 affrontò il problema dell'Autenticità teorizzando che «sia i giudizi sui valori riconosciuti al patrimonio, che quelli sui fattori di attendibilità delle fonti di informazione, possono differire da cultura a cultura e perfino all'interno di una medesima cultura. È da escludere che i giudizi di valore e di autenticità inerenti possono fondarsi su criteri uniformi. Al contrario, il rispetto dovuto a tali culture esige che ogni opera sia considerata e giudicata in rapporto ai criteri che caratterizzano il contesto culturale al quale essi appartengono» [2].

Numerose sono le carte del restauro che si sono succedute negli ultimi decenni ed esse sostanzialmente sono in sintonia con la Teoria della Conservazione.

Al contrario una forte contestazione, specialmente del “com’era, dov’era” è continuamente argomentata dal pianeta Architettura, che teorizza la priorità del progetto di architettura e che considera, radicalizzando tale atteggiamento, il monumento come “natura artificiale” su cui intervenire.

Molto più recentemente i principi stessi della Teoria della Conservazione appaiono anacronistici: «nel rapporto tra progettisti architetti e tutori della conservazione, la tetragona imposizione di principi indiscutibili quali la reversibilità degli interventi di conservazione, la chiara differenziazione e subordinazione del nuovo rispetto all’antico, la ricostruzione dell’unità potenziale dell’opera, la neutralità del nuovo intervento, finisce molto spesso per essere un esercizio di mortificazione e rifiuto dell’architettura» (Stendardo e Siviero, 2019a). D’altro canto la rimozione di quei principi indurrebbe fatalmente alcuni effetti molto rilevanti, tra i quali, principalmente, la trasformazione del monumento in un prodotto dell’architettura contemporanea, in tutto dissonante con quella antica, la contaminazione profonda della concezione costruttiva antica il cui valore è oggi un bene archeologico, la definitiva irreversibilità dell’intervento, la distruzione del tessuto materiale antico oggetto di ricerca storica archeometrica, l’introduzione di materiali della moderna industria edilizia di incerta durabilità, pervenendo così, non solo a configurazioni appunto irreversibili, ma quasi sempre dal modesto valore storico-artistico: in questa direzione, ad esempio, se le valenze compositive dell’architettura possono avere valore a fronte delle carenze formali e materiali di tante coperture archeologiche, esse non possono essere condivisibili per l’intervento sistematico della conservazione.

Ciò che è necessario sottolineare è la complessità culturale di tale intervento. Esso si articola in un multiforme confronto tra molteplici esigenze: umanistiche e di storia materiale, sempre agguerrite attraverso la diagnostica e l’archeometria, architettoniche e compositive, anche alla scala urbana e territoriale, ingegneristiche, proprie della nascente ingegneria per i Beni Culturali, portatrice di necessità di sicurezza e così via. Questo coacervo di esigenze impone la partecipazione di numerose professionalità alla elaborazione del progetto di Conservazione, che spesso si rilevano impreparate a un discorso interdisciplinare, determinando il confrontarsi di tesi contrapposte. In simile contesto il “com’era, dov’era” rappresenta un limite cui tendere, una esigenza culturale che non può trovare puntuale riscontro, ma che va valutata di volta in volta dagli Organi di tutela, a loro volta non sempre compiutamente attrezzati ad affrontare il complesso compito che la legge affida loro. In definitiva il progetto di conservazione si manifesta come una risoluzione politica, nella quale si confrontano molteplici esigenze, e che sarà giudicata oggi, come nel futuro, dalla cultura storico-critica.

Alcuni esempi: dal Colosseo a Notre Dame

Quanto fin qui esemplificato trova costante riscontro nella realizzazione dei progetti di Conservazione e Restauro, per i quali, nell’ultimo decennio, è anche intervenuta

una più vasta e articolata visione della fruizione che ha richiesto significativi interventi anche per l'accesso di disabili e non vedenti. Ciò ad esempio è avvenuto per i siti archeologici di Pompei e Velia e ha fortemente inciso sulla fruizione del Parco Archeologico di Paestum. È stato bandito un concorso di idee per la copertura dell'Arena di Verona, mai realizzata, mentre un acceso dibattito ha caratterizzato la progettazione dell'arena del Colosseo e anche la costruzione del recente ponte di Calatrava a Venezia ha suscitato molte perplessità per la "violenza" perpetrata verso il contesto storico. Furiose polemiche sono seguite all'intervento di restauro della piccola chiesa di S. Gennaro nel Real Bosco di Capodimonte a Napoli, progettato da Calatrava, il quale è però intervenuto, e in maniera reversibile, solo sulla decorazione dell'interno.

Tutto ciò è indice di un mancato confronto tra la Conservazione e il pianeta Architettura, impegnato a misurarsi con l'antico e che pertanto richiede una adeguata formazione culturale dei progettisti architetti, primi responsabili dell'intervento conservativo.

Ma il caso principe, nel quale si possono cogliere in concreto tutte le complessità del problema precedentemente evidenziato si trova nell'attuale restauro di Notre Dame a Parigi, profondamente danneggiata da un furioso incendio. La Cattedrale, emblema della Francia, era soggetta a un restauro che, secondo le affermazioni dell'architetto Philippe Villeneuve (Irace, 2017) si presentava come fortemente conservativo. Egli aveva dichiarato che molte pietre usate da Viollet le Duc nel suo famoso intervento non erano della stessa cava di provenienza delle pietre originali e che pertanto andavano ove possibile sostituite; sarebbe stata inoltre usata solo malta pozzolanica.

L'incendio attuale ha distrutto la guglia rifatta in ghisa da Viollet le Duc, alta ben quarantacinque metri. Essa crollando ha incenerito l'antica copertura di legno che per la sua complessità era chiamata "la Foresta" e un numero fortunatamente limitato di volte gotiche. Questi i danni principali, ma, stante il forte degrado indotto dall'incendio, l'intervento si estenderà all'intera Cattedrale. Come era da attendersi, si è subito sviluppato un acceso dibattito sul tipo di restauro, se conservativo o innovativo. Gli innovatori, tra cui lo stesso Presidente Macron, hanno ipotizzato la ricostruzione della guglia in maniera innovativa e la ricomposizione della copertura con diverse destinazioni d'uso, per le quali perfino una piscina.

D'altra parte si sono schierati i conservatori che hanno teorizzato la ricostruzione della guglia secondo gli stilemi di Viollet le Duc, la ricostruzione della "foresta" - di cui, fortunatamente, esiste un antico e puntuale rilievo - "*all'Identique*", e ancora la ricostruzione delle volte utilizzando, per quanto possibile, le antiche pietre non danneggiate dall'incendio. A tutt'oggi, dopo il tenace schieramento della cultura francese è prevalsa la scelta conservativa: sarà rifatta la guglia e saranno ricomposte le volte e la "foresta" che ha comportato il recente taglio di tremila palme di alto fusto. Solo per il restauro dell'interno sono prevalse scelte innovative, quali una moderna visione del sistema di illuminazione, la presenza di opere d'arte contemporanee e la possibile scomparsa nel sottosuolo delle panche, per l'utilizzo della navata libera da ingombri.

Come si vede, in definitiva, tutti interventi reversibili.

Conclusioni

Gli esempi citati evidenziano con chiarezza la complessità del problema della Conservazione dei monumenti e del costruito storico nel suo complesso, (D’Agostino, 2022). Esso impone innanzi tutto una forte spinta verso una cultura interdisciplinare, capace di una visione complessiva delle diverse istanze che, unitamente alla riqualificazione delle imprese edili, salvaguardando i fondamentali valori storico-artistici, assuma il “com’era, dov’era” come una utopia culturale, materialmente irraggiungibile. Si impone la necessità di un dialogo cogente tra Architettura e Conservazione. Infine è da auspicare, per il sistema Italia, anche una profonda riqualificazione in senso scientifico-culturale degli Organi di tutela, attraverso una innovativa riforma del Ministero della Cultura.

Bibliografia di riferimento

Bloch M. 1949. *Apologie pour l’historie ou mètier d’historien*. Paris: Colin.
Brandi C. 2000. *Teoria del Restauro*. Torino: Einaudi.
Carbonara G. (a cura di). 1982. *Restauro e cemento in Architettura*. Roma: AITEC;
D’Agostino S. (a cura di). 2017. *Ingegneria e Beni Culturali*. Bologna: Il Mulino.
D’Agostino S. 2020. Conservazione e Sicurezza: un rapporto difficile. In: *I buoni interventi di restauro: conservazione, adeguamento, riuso. Atti dell’VIII convegno nazionale ARCo* (a cura di F. Giovanetti e G. Brunori) Atti Convegno ARCo, Napoli, 8-9 Marzo. 189-200. Roma: TrEPress.
D’Agostino S. 2022. *Conservation and Restoration of Buit Heritage*. London: CRC Press.
Ermentini M. 2019. *Restauro timido. Architettura, affetto, gioco*. Firenze: Nardini.
Galasso G. 2000. *Nient’altro che storia*. Bologna: Il Mulino.
Irace F. 2017. Il timido mestiere del conciatetti. Il sole 24 ore, 20 agosto.
Stendardo L., Siviero L. 2019a. Architettura? No, grazie. In: *Il Progetto di Architettura come intersezione di saperi. Per una nozione rinnovata di Patrimonio* (a cura di A. Calderoni, B. Di Palma, A. Nitti, G. Oliva). 680-685. Napoli: s.n.
Stendardo L., Siviero L. 2019b. Patrimonio vs Risorsa, Materiali di Architettura. In: *Il Progetto di Architettura come intersezione di saperi. Per una nozione rinnovata di Patrimonio* (a cura di A. Calderoni, B. Di Palma, A. Nitti, G. Oliva). 964-967. Napoli: s.n.
Tafuri M. 1981. *Five Architects, N.Y.* Roma : Officina Edizioni.
Viollet-le Duc E. 1854-1868. *Dictionnaire rèsonde de l’architecture française du XIe au XVI au siecle*. Paris : B. Bance e A. Morel.

Sitografia

[1] Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche
http://www.ari-restauro.org/wp-content/uploads/2015/02/Raccomandazioni-per-gli-interventi-sul-patrimonio-monumentale-a-tipologia-specialistica-in-zone-sismiche-1986.pdf
[2] Documento di Nara
https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/597_2010_254_9858.pdf

Paolo Vigo

Le misure di tempo nel tempo

Measuring time in the time

Sommario
Una breve analisi dell'evoluzione nel tempo delle misure di tempo, con riferimento sia alle problematiche del tempo assoluto (calendari e loro nascita ed affidabilità), che a quelle del tempo relativo (orologi, cronometri e loro applicazioni). Una storia affascinante, con risvolti sociali e ricadute applicative molto originali, che spaziano dalle cadenze tipiche delle attività produttive, alle applicazioni sportive e alle loro tipicità in termini metrologici. Tempo e frequenza, così come le cadenze sono fenomenologie in cui la strumentazione ed i dati di misura hanno negli ultimi anni fatto registrare: sia una proliferazione di strumenti, che una numerosità e diffusione inimmaginabile poche decine di anni fa, ed i loro risvolti applicativi si moltiplicano, in una società digitale ormai caratterizzata dalla assoluta mancanza di limiti temporali e spaziali. Questo richiede un sincronismo perfetto connesso ad esempio sia alla esigenza di sapere individuare con certezza il tempo della avvenuta transazione commerciale, sia alla peculiarità connessa alle descrizioni di fenomenologie biologiche che impattano sulla vita sociale degli individui, tanto da avere ricadute in temi quali la sicurezza, la organizzazione produttiva e manifatturiera. In tema di cadenze e di ritmi, è recente l'assegnazione di un premio Nobel per la medicina per la individuazione delle cadenze circadiane in molteplici attività umane, che giustificano ampiamente quella apparente anomalia della metrologia del tempo che adotta, a differenza di tutte le altre grandezze fisiche, scale duodecimali e/o sessagesimali.

Abstract
A synthetic analysis of the evolution of time measurements on time is discussed particularly focusing on problems related to the time in absolute scale and on the characterization of relative time instruments. The evolution of calendars and of the instruments for measuring relative time are described in their specificity. Some particular applications are presented in themes like measuring in the sport and in automotive fields.

Introduzione

Il tempo è una delle sette grandezze fondamentali del Sistema Internazionale SI e la sua unità di misura è il secondo [s]. L'unità di tempo è stata inizialmente definita come 1/86400 del giorno solare medio, ma le irregolarità nel moto di rotazione terrestre resero la definizione non più soddisfacente. Nel 1960, l'XI *Conférence Général des Poids et Mesures*-CGPM adottò una definizione basata sull'anno 1900. In seguito, nella XIII CGPM, tenuta nel 1968, il Tempo Standard Atomico, basato sulla transizione tra due livelli energetici dell'atomo di Cesio ha portato all'attuale definizione dell'unità di tempo: «Il secondo è la durata di 9 192 631 770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini dello stato di base dell'atomo di Cesio 133»; ne segue che la frequenza associata a detta transizione è esattamente 9,192631770 GHz (Presidente della Repubblica, 1982).

Nella riunione della *Conference General des Poids et Mesures*-CIPM del 1997 fu inoltre precisato che la definizione fa riferimento all'atomo di Cesio a riposo, a una temperatura di 0 K, il che significa che l'atomo di Cesio non deve essere perturbato dalla radiazione del corpo nero, condizione che si ottiene alla temperatura di 0 K, coincidente con -273,15 °C. Le frequenze ottenute dagli orologi atomici a temperatura ambiente dovrebbero essere di conseguenza corrette per lo scostamento indotto dal rumore elettromagnetico di fondo. Si noti che, dal punto di vista metrologico, non esiste alcuna sostanziale differenza tra la definizione di tempo e quella di frequenza che, matematicamente, sono una il reciproco dell'altro: $f = 1/t$. Le misure di tempo danno le cadenze e la loro scala è duodecimale con multipli e sottomultipli in parte sessagesimali ed in parte decimali: 1h = 60'= 3600s… decimi di s, centesimi di s, millesimi di s.

In Italia, la scala di tempo nazionale è realizzata presso l'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica-INRIM da un insieme di orologi atomici al cesio indipendenti ed è confrontata via satellite con le scale tempo degli altri Paesi. Essa è mantenuta entro ± 100 ns rispetto al riferimento internazionale, l'Unified Time Coordinated- UTC. L'unità di tempo è realizzata con una incertezza tipo relativa di $1 \cdot 10^{-13}$.

Le misure di tempo possono essere relative o assolute. Il tempo assoluto è quello del calendario, di norma collegato ad avvenimenti storici o religiosi, tant'è che ancora oggi non esiste una scala di tempo unica e che ciascuna società ha tentato di adottarne una imponendola alle altre. Nelle definizioni del tempo assoluto è fisiologico "un errore di zero", dovuto alla scelta del valore iniziale, quali: l'inizio del creato per i Cinesi e per gli Ebrei (ovviamente valori diversi tra loro), errore che, nel calendario cristiano, poteva essere "attenuato", riferendosi non alla nascita di Cristo, evento che non trova riferimenti certi, ma alla sua crocefissione che invece trova riscontro nei documenti di Roma (Dangel et al., 1930).

Per misura di tempo relativo si intende la misura di un intervallo di tempo, ovvero la durata di un evento. Dunque, il tempo assoluto presuppone una datazione, mentre la misura di un tempo relativo è indipendente dalla data e dall'orario dell'avvenimento.

La misura degli intervalli di tempo, quindi del tempo relativo, storicamente avviene con precisione sempre crescente, a partire dalla frequenza del battito cardiaco utilizzata da Gallileo per la legge di isocronismo del pendolo; fenomenologia quest'ultima che fino all'ultimo ha rischiato di diventare un riferimento metrologico universale in quanto, dipendendo solo dalla massa e dalla lunghezza del pendolo stesso, era un alternativa al metro proprio per la sua universalità e sopra tutto per la maggiore precisione.

Attualmente le misure di tempo relativo sono quelle che mostrano incertezze tipiche tra le più piccole, grazie all'impiego dei quarzi risonanti. Tecnologia ormai diffusissima negli orologi da polso con incertezze tipiche dell'ordine di 10^{-12} s e che nella metrologia dimensionale viene anche utilizzata nella realizzazione del campione metro, cioè della lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto in un intervallo di 1/299792458 di secondo; la velocità della luce nel vuoto C_0 è una costante universale, definita nel SI ed è pari a 299792458 $m \cdot s^{-1}$.

L'unità di base, il "secondo" occupa, pertanto, un posto speciale nel Sistema Internazionale delle Unità, SI. Le misurazioni ad elevata precisione del tempo e della frequenza costituiscono la base per i sistemi di navigazione satellitare come il GPS e GALILEO.

Il tempo assoluto e i calendari

Nella definizione del tempo 0, come detto, di norma viene scelto un evento storico o religioso; attualmente il mondo occidentale adotta il calendario Gregoriano, in Figura 1, il che nella scala cristiana dà le seguenti differenze rispetto ad alcuni altri calendari per l'inizio del mondo:

– 2636 anni per i Cinesi;
– 3760 anni per gli ebrei;
– 622 anni per gli islamici;
– 15 giorni per il calendario Giuliano del 1582: annullamento reso necessario per i "difetti" accumulatisi fino a quell'anno.

Fig. 1 – Il calendario Gregoriano in un'edizione del 1583 [1].

I risvolti sociali della misura del tempo

La scelta di utilizzare una scala non decimale per una delle grandezze fondamentali del SI è ovviamente collegata alla rotazione terrestre, 1 giro ogni 24h, alle cadenze circadiane del nostro metabolismo, che risalgono alla notte dei tempi, e ai nostri Testi Sacri, con il settimo giorno dedicato al riposo.

Ancora oggi, nell'organizzazione dei turni di vigilanza, alle sentinelle si richiedono 2 h di attenzione e 4 h di riposo per garantire il massimo grado di vigilanza. Organizzazione questa che risale a Giulio Cesare, che poi diede luogo al diffondersi tra

i legionari delle clessidre, in greco ladra di acqua, in Figura 2, per poter rispettare i turni di guardia nelle lunghe ore solari caratterizzanti, specie in estate, le terre del Vallo di Diano.

Fig. 2 – Clessidra a sabbia.

Proprio sul tempo, la furia rivoluzionaria illuminista che aveva imposto dal 1793 al 1805 un nuovo Calendario, in Figura 3, con i mesi tutti di trenta giorni, da Nivose a Frimaire, le settimane di dieci giorni, conobbe la sua prima sconfitta.

Il calendario fu infatti rifiutato a furor di popolo, nel 1802, dopo solo due anni dalla Repubblica Cisalpina, sia per la soppressione della cadenza settimanale del riposo, (si perdono molte domeniche con le settimane di 10 giorni) che per l'innaturale negazione dei ritmi circadiani «Quel rispetto che tutti i principi comandano per gli usi e le abitudini dei Popoli e per quelle che interessano il culto pubblico ha fatto ripristinare con la nuova costituzione l'uso dell'era comune» (Dangel et al., 1930; Vigo, 2012).

Gli orologi con quadranti su base dieci, in Figura 4, furono subito eliminati, anche se a Parigi per moltissimi anni restò in funzione un orologio decimale nella piazza del Mercato. Più recentemente, il tentativo di Marchionne di stravolgere i tempi di lavoro con una organizzazione produttiva basata su due soli turni da dieci ore ciascuno, molto favorevole per il padronato, è stata subito contestato dai sindacati nella fabbrica FCA in Serbia, anche per motivi di sicurezza dei lavoratori. Va ricordato che la esistenza all'interno del corpo umano di cadenze o ritmi circadiani è stata confermata dagli studi di tre scienziati statunitensi, S. Benzen, J.J. d'Ortus de Mariane e R. Konopka che hanno per questo ottenuto il premio Nobel per la medicina nel 2017.

Fig. 3 – Il calendario Gregoriano in un'edizione del 1583 [1].

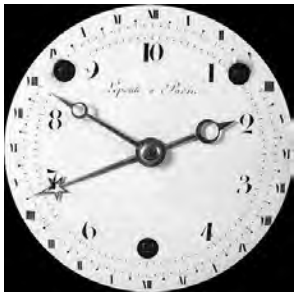


Fig. 4 – Orologio decimale.

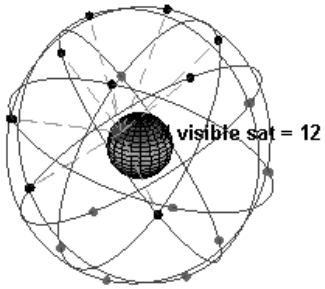


Fig. 5 – Schema GPS.

I problemi relativi alla misura del "tempo relativo" sono:

– *legali*, in quanto le transazioni commerciali richiedono tempi certi: la chiusura delle borse nelle dinamiche finanziarie internazionali assume valori che richiedono massima attenzione alle transazioni elettroniche che si concentrano negli ultimi secondi;
– *internazionali*: per i governi, e il servizio GPS il "tempo relativo" viene ritenuto strategico, tanto da non poter interrompere, neanche in caso di sciopero, il servizio collegato alla necessaria riferibilità del segnale.

La suddivisione in fusi orari è vitale per le organizzazioni internazionali, tanto da costringere recentemente la Russia a ridurre da 11 a 7 i propri fusi, al fine di poter sovrapporre per almeno un'ora il lavoro tra gli uffici posti ai confini, a Vladivostok e a San Pietroburgo. In tal senso, la recente scelta della Corea del Nord di adottare un fuso orario sfalsato di 30' rispetto a tutti gli altri Paesi è finalizzato a creare disordine e difficoltà operative.

Esempi applicativi

Due esempi applicativi di quanto detto fanno riferimento alle pratiche giuridiche e all'esperienza quotidiana di chi guida sulle strade italiane:

– nelle pratiche giuridiche le cadenze temporali sono: *«dies a quo non computatur in termine»* per il diritto romano (Codice Civile Italiano, art. 2963), mentre per le culture come l'ebraismo vale «il terzo giorno risuscitò», così come recita il Vangelo, cioè dal giovedì al sabato e non alla domenica;
– la misura della velocità media dei safety tutor che si utilizza per la sicurezza stradale prevede la sola misura dei tempi di attraversamento delle spire annegate nell'asfalto che, confrontate con i dati relativi alle distanze date dai valori miliari abbastanza precisi, consentono di "misurare" la velocità media. Si evidenzia anche che tale parametro, non essendo una grandezza fisica, non sarebbe misurabile in quanto è semplicemente un valore numerico.

L'evoluzione degli orologi

L'esigenza di misurare il tempo relativo, via via che le tecnologie e l'organizzazione sociale lo richiedevano, trova sempre maggiore diffusione nelle classi sociali, tanto da far sì che oggi ogni individuo è in grado, con orologi o tramite mezzi digitali, di conoscere con esattezza sia il tempo assoluto che quello relativo. Gli orologi nella loro evoluzione storica inizialmente si limitavano, specie nei primi secoli, alle classiche meridiane, che nei luoghi pubblici consentivano di seguire le traiettorie del Sole dando indicazioni di tipo "spannometrico": un'incertezza dell'ordine della decina di minuti era tipica.

Le Meridiane trovarono dei competitori nelle clessidre, ad acqua o a sabbia, più precise, ma meno adatte a fornire dati assoluti. Solo successivamente, nel XV secolo, furono sviluppati gli orologi ad acqua, basati sulle leggi dell'idrodinamica, di cui restano alcune mirabili applicazioni monumentali (Figura 6). Erano orologi che non potevano garantire modelli di dimensioni contenute, anche se trovarono applicazioni nelle definizioni di intervalli temporali ben definiti, quali ad esempio "i tempi dell'amore" che i clienti avevano a disposizione e che venivano contabilizzati tramite bacinelle forate riempite di acqua (Leschiutta, 2008).

In un secondo momento, intorno al XVIII secolo si affermano gli orologi meccanici via via meno ingombranti, grazie ai bilancieri a molla, che si diffondono con i modelli da polso a carica manuale, inizialmente riservati alle classi più ricche. Dagli anni 1950, gli orologi da polso sono diventati un semplice accessorio via via più

Fig. 6 – Orologio ad acqua (Cartolina).

preciso grazie alla ricarica automatica ottenuta tramite un volano messo in rotazione dai movimenti del polso. Infine, grazie alle tecnologie dei quarzi risonanti, ormai un orologio con incertezze dell'ordine di 10^{-12}, alimentabile anche solo dalla luce solare in quanto i fenomeni della risonanza per loro natura non richiedono molta energia, è disponibile anche a prezzi contenuti. Recentemente sono apparsi sul mercato anche orologi al quarzo che possono essere messi in collegamento con gli Istituti Metrologici Primari-IMP confrontando il loro dato, sia relativo che assoluto, con quelli dei Campioni dei vari Istituti Metrologici Primari.

Il tempo fisico e il tempo percepito: il sincronismo e la sincronicità

È evidente che, dietro le scelte descritte ci sono le cadenze e/o i tempi tipici dei fenomeni umani interessati, ma spesso è opportuno tenere in conto del "tempo percepito" e dei suoi risvolti percettivi. Il primo a porsi il problema, sulla scia del platonismo, fu Sant'Agostino (Sant'Agostino, 2019).

Ingegneristicamente parlando, la percezione del tempo è come misurare le distanze con un elastico che abbia un modulo di Young diverso da individuo a individuo e che, per lo stesso individuo, è funzione dei suoi stati d'animo suscitati da detta percezione.

Mentre il tempo relativo e le cadenze hanno sempre un ritmo, nel caso delle emozioni o dei dolori la scala varia, al limite cancellando o limitando gli eventi negativi tramite un rallentamento di quei ritmi circadiani su citati.

Ne sono validi esempi:

– il paradosso di Achille e la tartaruga, mai raggiunta da Achille;
– l'immisurabilità della velocità media, di cui si è detto;
– il rallentamento o l'inversione temporale, che la teoria della relatività prevede.

Analogamente, se siamo nel campo percettivo la "sincronicità di un evento", ovvero la sensazione di "averlo già vissuto", così come la sua "preveggenza" è evento accettato dagli psicologi (Vigo, 2010; Ricci e Vigo, 2011).

Insomma, lo scorrere del tempo ed il misurarlo sono solo schemi di ordine dello spazio-tempo con una interpretazione euclidea del tutto scorre, che si contrappone a una interpretazione platonica in cui esistono differenti scenari su cui la mente proietta gli avvenimenti.

Applicazioni ingegneristiche: la misura di velocità degli autoveicoli

La misura della velocità è tipicamente di tipo indiretto e coinvolge due grandezze, spazio e tempo attraverso la formula:

$$\text{velocità} = \frac{\text{spazio}}{\text{tempo}} \ [\text{m/s}] \qquad (1)$$

Vi sono diversi modi per misurare la velocità di un autoveicolo:
– misurare spazio e tempo;
– fissare lo spazio e misurare il tempo (sistemi a traguardi fissi in Figura 7);
– fissare il tempo e misurare gli spazi sia in modo diretto che indiretto;
– misurare gli effetti che la velocità produce su altre grandezze, quali ad esempio la frequenza.

Strumenti di misura con sensori piezoelettrici

Il principio di funzionamento si basa sull'uso di tre sensori piezoelettrici occultati nell'asfalto, e posizionati trasversalmente rispetto alla direzione della strada e parallelamente tra di loro ad una distanza relativa di 1 m, come mostrato in Figura 8.

Un microprocessore elabora le informazioni rilevate nelle tre diverse misurazioni effettuate quando l'autoveicolo passa sul campo di misura al fine di determinare la velocità degli autoveicoli.

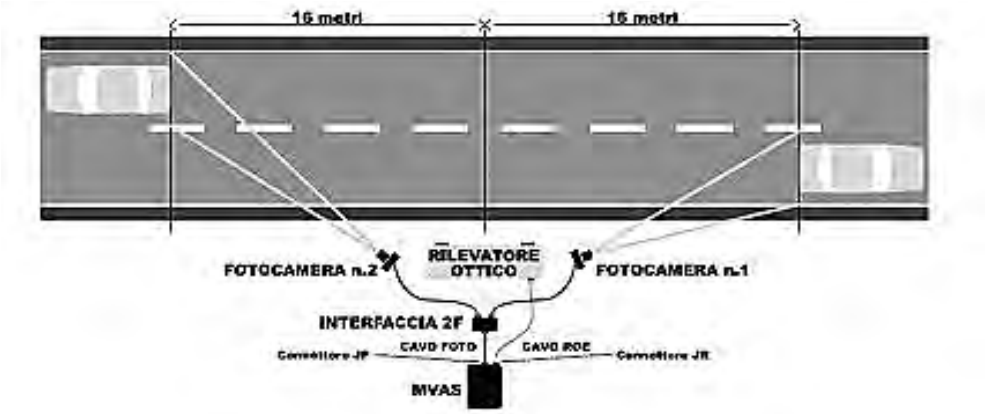
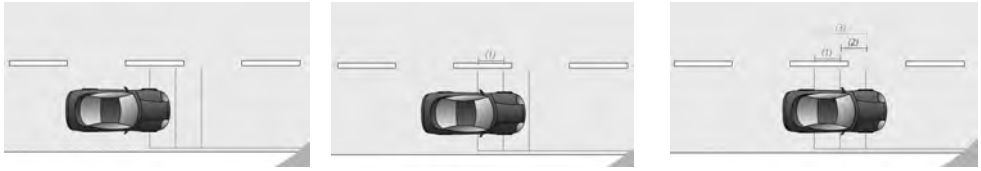


Fig. 7 – Sistema a traguardi fissi (Ferrigno et al., 2021).



Inizio misurazioni 1 e 3 | Fine misurazione 1 | Fine misurazioni 2 e 3

Fig. 8 - Misura con sensori piezoelettrici (Ferrigno et al., 2021).

Strumenti di misura con spire magnetiche

In ogni corsia sono annegate nell'asfalto due spire capaci di rilevare l'impronta magnetica del veicolo "conduttore" che le attraversa, in Figura 9.

Il telelaser

Questo strumento, in Figura 10, effettua la misura in base al tempo di volo TOF-Time Of Flight. L'apparato emette verso il veicolo una serie di impulsi laser in banda infrarossa e legge l'eco riflessa dal veicolo per ciascun impulso. In Italia questi strumenti vanno tarati, cioè resi riferibili ai Campioni SI, grazie alla sentenza delle Corte Costituzionale del giugno 2015 (Corte Costituzionale, 2015).

Gli autovelox infatti essendo strumenti utilizzati per sanzionare il superamento di un valore limite nel campo di impiego 0-230 km/h, nel rispetto della MID (Vigo, 2007) devono essere resi riferibili, con frequenze di taratura fissate dai regolamenti nazionali (Parlamento Italiano, 1991).

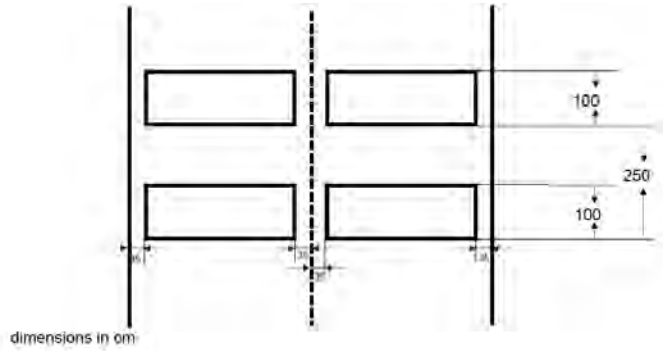


Fig. 9 – Spire magnetiche (Ferrigno et al., 2021).

Fig. 10 – Telelaser.

Applicazione al mondo dello sport

Olimpiadi di Tokyo 1964: nella gara dei 100 m stile libero, due atleti, il tedesco Hans-Joachim Klein e lo statunitense Gary Ilman, toccarono contemporaneamente il traguardo in 54,0 s. Per assegnare il bronzo si consultò il sistema di cronometraggio automatico, non ufficiale. I due avevano lo stesso tempo anche al centesimo di secondo, ma Klein era di un millesimo di secondo più veloce: Klein 54,060 s, Ilman 54,061 s. Dopo 35 minuti di discussione, i giudici decisero che bastava, anche se il cronometraggio elettronico non era ufficiale, e diedero il bronzo a Klein.

Ha senso misurare il tempo al millesimo di secondo nelle gare di nuoto ed utilizzarlo per la determinazione delle classifiche e dei record nazionali, continentali, mondiali?

Durante la gara dei 100 m stile libero, lo spazio percorso dai due atleti in 0,001 *s*, è pari a:

$$s = v_m \cdot t = 1{,}8 \text{ m s}^{-1} = 0{,}0018 \text{ m} \approx 2 \text{ mm}$$

dove v_m è la velocità media dell'atleta durante la gara, ovvero 1,8 m s^{-1}, pari a 100 m/54 s) e s lo spazio percorso dall'atleta nel tempo *t*.

Il regolamento FINA, la *Féderation Internationale de Natation*, in vigore dal 2013 al 2017 rispetto agli impianti sportivi, e in particolare per le piscine, recita al punto FR 2.2.1: «Rispetto alla lunghezza nominale di 50,0 metri, è ammessa per ogni corsia una tolleranza di 0,03 metri in eccesso e di 0,00 metri in difetto su entrambe le pareti di fondo in ogni punto da 0,3 metri sopra a 0,8 metri sotto la superficie dell'acqua. Tali misurazioni dovrebbero essere certificate da un perito o da un altro funzionario qualificato nominato o approvato dal Membro FINA del paese in cui è ubicata la piscina». In Figura 11 sono riportate tali dimensioni.

In definitiva, se è ammessa una tolleranza di 0,03 m, ovvero di 3 cm, nella realizzazione di una piscina olimpionica, non ha alcun senso discriminare l'ordine di arrivo degli atleti o l'assegnazione di record con tempi misurati al millesimo di secondo, tempo durante il quale gli atleti percorrono circa 2 mm).

Detto in altri termini: una tolleranza di 3 cm tra una corsia e l'altra significa che una corsia potrebbe essere lunga 50,00 m mentre un'altra potrebbe essere lunga 50,03 m. Se i due atleti sulle due corsie andassero esattamente alla stessa velocità di 1,8 m/s, percorrerebbero le due corsie in due tempi diversi pari a:

$$\text{Corsia 1:} \quad s_1 = 50{,}00 \text{ m}, \; v = 1{,}8 \text{ m/s}, \; t_1 = s_1/v = 27{,}78 \text{ s}$$

$$\text{Corsia 2:} \quad s_2 = 50{,}03 \text{ m}, \; v = 1{,}8 \text{ m/s}, \; t_2 = s_2/v = 27{,}79 \text{ s}$$

Quindi i due atleti, pur avendo le stesse capacità, percorrono i 100 m alla stessa velocità media impiegano un tempo differente a causa della diversa lunghezza della corsia:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 27{,}794 - 27{,}778 = 0{,}016 \text{ s}$$

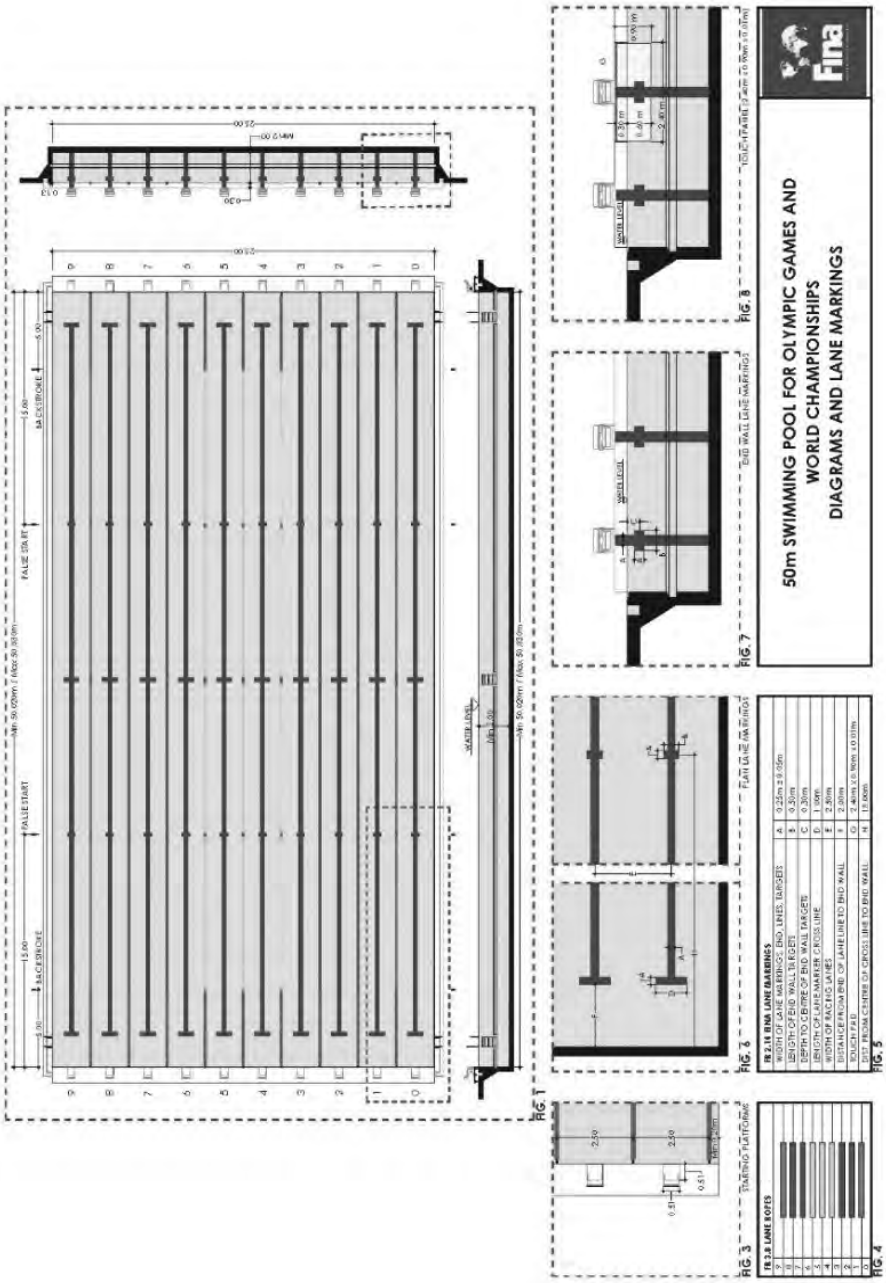


Fig. 11 – Dimensioni FINA delle piscine olimpioniche [3].

Si può quindi concludere che la grandezza oggetto della misura è il tempo impiegato da un atleta a percorrere 100 m, 50 + 50 m. Questo tempo, ovvero il misurando, ha una variazione intrinseca, l'incertezza, di gran lunga superiore al millesimo di secondo e pari a 0,016 s, causata dalla non perfetta conoscenza del riferimento spaziale: la lunghezza della corsia.

Questi effetti non si ridimensionano per gare più "lente" ovvero rispetto cui si aumenta la distanza: 200 m, 400 m etc. visto che queste distanze sono ottenute percorrendo più volte una corsia da 50 m. A tutto questo bisognerebbe aggiungere, cosa non semplice, il poter tenere conto per le due corsie più esterne dell'effetto della viscosità collegata alla presenza delle pareti laterali che con i loro strati limite rallentano i due atleti che percorrono dette corsie.

C'è da chiedersi se fenomenologie giudicate trascurabili, quali la variazione di temperatura e di conseguenza della densità e della viscosità dell'acqua possano invece influenzare i record e vadano codificate; non è un caso il diffondersi tra i nuotatori dell'utilizzo di costumi con materiali che cercano di "imitare" la pelle degli squali, oppure di costumi interi che favoriscono la riduzione della resistenza idrodinamica.

Ringraziamenti

Si ringraziano sia il prof. Marco Laracca dell'Università di Roma la Sapienza che ha messo a disposizione il materiale delle sue lezioni nelle applicazioni sportive, sia i componenti del LAT 105 dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale.

Bibliografia

Corte Costituzionale. 2015. Sentenza n. 113/2015. Gazzetta Ufficiale n. 25 del 24.06.2015. Roma: Poligrafico di Stato.

Dangel I., Dangel R., Ballini A., Pagliaro A. et al. 1930. Calendario. In: *Enciclopedia Italiana*. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana.

Ferrigno L., Laracca M., Vigo P. 2021. La taratura dei misuratori di velocità. In: Atti del Convegno Polmeeting, Cosenza 27-28 ottobre '21, 25-29.

Leschiutta S. 2008. L'arte della misura del tempo presso le cortigiane e altre curiose storie sulle misure, le istituzioni e i personaggi che hanno edificato la moderna metrologia. s.l.: A&T.

Parlamento Italiano. 1991. Istituzione del sistema nazionale di taratura. L. 11 agosto 1991, n. 273. Gazzetta Ufficiale n. 199. Roma: Poligrafico di Stato.

Presidente della Repubblica. 1982. Attuazione della direttiva CEE n.80/181 relativa alle unità di misura. D.P.R. 12 agosto 1982, n. 802. Gazzetta Ufficiale n. 302 del 3.11.1982, suppl. coordinato con L. 12.10.1988, n. 473 e D.M. 30.12.1989. Roma: Poligrafico di Stato.

Ricci M, Vigo V. 2011. Il tempo delle coincidenze:Sincronicità e kairos. In: Settimana del benessere psicologico in Campania

Sant'Agostino. 2019. *Confessioni. Libro 11: Il verbo nel tempo*. Milano: Rizzoli

UNI. 2008. Vocabolario Internazionale di Metrologia - Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM). Norma UNI-CEI 70099.Milano: Ente Italiano di Normazione.

Vigo P. 2007. Lo scenario della metrologia legale dopo il recepimento della MID. Convegno Metrologia e Qualità, Torino.
Vigo P. 2012. L'unificazione metrica vista dal Regno delle due Sicilie. Tutto Misure
Vigo V. 2010. *Carl Gustav Jong e la sincronicità*. Arcidosso: Effegi Editori.

Sitografia

[1] Il Calendario Gregoriano
https://www.focus.it/cultura/storia/il-calendario-gregoriano-ha-434-anni
[2] Il calendario rivoluzionario francese
https://www.meteoweb.eu/2015/09/accadde-oggi-nel-1793-il-23-settembre-era-il-primo-giorno-dellanno-della-rivoluzione-francese/547648/
[3] Regolamento omologazione piscine olimpioniche
https://www.federnuoto.it/federazione-extra/impianti/763-reg-omologazioni-impianti-all-5-norme-fina-impianti-e-attrezzature-2013-2017/file.html

Luigi Traetta, Marco Ceccarelli

Meccanismi e modelli meccanici per la formazione tecnico-scientifica

Mechanical models for technical-scientific training

Sommario
Il presente contributo analizza il ruolo della tecnologia nell'ambito della formazione tecnico-scientifica attraverso l'evoluzione, anche storica, dei modelli meccanici di meccanismi utilizzati sia per dimostrare la funzionalità di soluzioni prototipali, sia per integrare la didattica laboratoriale. A partire dalla cosiddetta "pedagogia dell'innovazione", che nel XVIII secolo segnò la nascita dell'ingegnere moderno, il saggio esplora i concetti fondamentali alla base delle realizzazioni costruttive e applicative nelle macchine, con particolare riferimento alla formazione tecnico-scientifica. I recenti sviluppi delle tecnologie 3D, che consentono di realizzare prototipi, anche miniaturizzati, di macchine complesse, perfettamente utilizzabili in ambito formativo, confermano l'importanza del ruolo che gli ambienti di apprendimento potenziati dalla tecnologia stanno assumendo negli ultimi anni.

Abstract
This contribution analyzes the role of technology in the context of technical-scientific training, through the evolution, also from an historical perspective, of the mechanical models of mechanisms that have been used both to demonstrate the functionality of prototype solutions and to integrate laboratory didactics. Starting from the so-called "pedagogy of innovation", which marked the birth of the modern engineering in the XVIII century, this essay explores the main concepts at the core of structural and applicative implementations in machines designs, with specific reference to technical-scientific training. The recent developments of 3D technologies, which allow to develop prototypes, even miniaturized ones, of complex machines that can be perfectly used in the context of training, confirm the importance of the role that technology-driven learning environments have been playing in the last few years.

Introduzione
Il ruolo delle tecnologie nei processi di apprendimento, già ampiamente riconosciuto nell'ultimo trentennio, si è ulteriormente consolidato durante il periodo di pandemia

da COVID-19, quando la mediazione delle tecnologie ha costituito l'unica soluzione «alla fase di emergenza per ogni ambito della formazione» (Toto e Limone, 2021a). Questo aspetto, pur di primissima importanza, ha di fatto relegato a fattore quasi marginale il contributo della tecnologia intesa non tanto come strumento capace di potenziare gli ambienti di apprendimento, quanto come oggetto stesso di apprendimento. L'emergenza dell'alfabetizzazione tecnologica, non ancora cessata, nonostante diversi moniti risalenti a oltre venti anni fa (Toto e Limone, 2021b), rende ancora attuale il classico *Technological Method* di Sterry basato sul principio in base al quale la tecnologia estende le capacità umane in quanto "sapere fare" unito al conoscere (Savage, 2002). Proprio l'impiego concreto della tecnologia, intesa come oggetto di apprendimento capace di fornire competenze multidisciplinari, viene del resto invocato come catalizzatore di competenze nell'altro classico riferimento della letteratura scientifica sulla riforma della formazione specialistica (Sterry e Hendricks, 1999).

Eppure il riconoscimento della tecnologia non soltanto nella sua dignità scientifica, ma anche nel suo valore formativo e, dunque, anche come oggetto di comunicazione e condivisione, è piuttosto recente. Risale, infatti, al Rinascimento l'unione di scienza e tecnica e la conseguente rivalutazione del prestigio sociale degli ingegneri (Means e Olson, 1997), la cui professionalità diveniva sempre più imprescindibile ai fini del progresso economico. Uno dei settori privilegiati, da questo punto di vista, riguardava proprio la costruzione di macchine e meccanismi, costruzione che, a partire dal secolo XVIII, avrebbe trovato trattazione sistematica proprio per finalità didattiche.

Si giunge così, dopo un lungo percorso, alla situazione attuale dove, soprattutto nell'ingegneria meccanica, i modelli di meccanismo sono spesso considerati parte di uno studio o di una verifica progettuale in un processo di progettazione, ma possono essere considerati anche un mezzo importante nell'attività didattica. Infatti, nella storia dell'ingegneria e della scienza, i modelli di meccanismo non sono affrontati in modo specifico ma sono considerati attività complementari sia nella ricerca, sia nella progettazione, sia nella didattica. A volte, la storia della scienza e della tecnologia viene spiegata anche utilizzandoli sia in opere enciclopediche, come ad esempio in (Singer et al. 2012; Capocaccia 1973), sia in opere specifiche in convegni e riviste, come ad esempio in paper al Simposi HHM come (Zhang e Ceccarelli 2019), così come nelle attività didattiche, come ad esempio con i pacchetti LEGO [1]. Una specifica attenzione è rivolta ai modelli di meccanismo quando se ne considerano i valori per l'esposizione museale e i contenuti storici come un'attrazione per gli sviluppi passati, come delineato ad esempio in (Ceccarelli 2011; 2013; 2016).

La nascita dell'ingegnere moderno

Seguendo l'esempio della *Royal Society* che, sin dal 1664, aveva ottenuto il privilegio di poter valutare le invenzioni delle nuove macchine, nel 1675 Jean-Baptiste Colbert incaricò l'*Académie des Sciences* di descrivere i principali meccanismi esi-

stenti in Europa. Nasceva così la "pedagogia dell'innovazione" (Dolza, 2008: 179), che consisteva nell'obbligo degli inventori a presentare le nuove macchine alle Società scientifiche, le quali, in cambio del diritto di proprietà, divenivano garanti di autenticità e funzionalità. La crescente consapevolezza di quanto la tecnologia fosse divenuta indispensabile per il progresso e il benessere dell'umanità, insomma, stava trasformando il meccanico tradizionale in ingegnere, capace, però, di illustrare a scienziati, apprendisti e a un pubblico colto – e, di qui, il risvolto pedagogico dell'innovazione – i segreti della macchina. Una macchina che, invece di continuare a «mascherare […] i meccanismi interni con rivestimenti decorativi» (Riskin, 2002: 142), dischiude la propria intimità all'osservatore curioso che, come prescritto dalla emergente pedagogia sensista, deve poter apprendere osservando e divertendosi.

Proprio in Francia, però, il rapporto tra ingegneri e accademici non fu del tutto privo di tensioni in quanto, a differenza di altre prestigiose istituzioni scientifiche, come la *Royal Society* e l'Accademia del Cimento, l'*Académie des Sciences* era nata come organo ufficiale dello stato e rappresentava, pertanto, la manifestazione scientifico-culturale sia della volontà accentratrice, sia delle «tendenze […] burocratiche dello Stato assolutista» (Hahn, 1971: 41).

Quasi atteggiandosi a giudice ufficiale della scienza nazionale, con il potere di promuovere o rigettare l'invenzione di una nuova macchina, l'*Académie* acquisì, di fatto, il controllo completo sul lavoro degli ingegneri, attirandosi, da parte di questi ultimi, un certo sentimento di rifiuto, motivato dalla consapevolezza di un loro duplice diritto, non soltanto quello di gestire autonomamente le proprie idee, ma anche, e soprattutto, quello di «essere giudicati dai loro pari, da gente che consideri i problemi meccanici dal loro stesso punto di vista e non in base ad astratte considerazioni teoriche» (Gillispie, 1959: 271).

La tecnologia, del resto, proprio nel periodo dei Lumi, contribuì a creare quelle condizioni propedeutiche al decollo industriale del secolo successivo. La vera rivoluzione del Settecento, dal punto di vista della tecnologia, fu rappresentata non tanto dalle macchine, quanto piuttosto dagli utensili, giunti a un livello elevatissimo di perfezione e divenuti essenziali per l'affermazione di quell'"apprendimento diretto" da parte dell'artigiano oramai capace di leggere (Chaunu, 1997: 91-110). Non esiste, nella tesi di Chaunu, alcuna conflittualità tra l'utensile del XVIII secolo e la macchina del XIX secolo: anzi, proprio l'abilità dell'artigiano di entrare in relazione con i progettisti, unitamente alla diffusione delle *Encyclopédie* e delle scuole "tecniche", costituì la premessa dello sviluppo tecnologico ottocentesco basato su livelli di intelligenza e abilità pratiche sempre più complessi.

I momenti più intensi di condivisione del sapere tecnologico restavano, però, nel XVIII secolo, le diffusissime dimostrazioni pubbliche, si pensi ai giochi di illuminazione o ai voli in pallone, che consolidavano la tendenza a vivere il progresso come un mondo "meraviglioso", una sorta di *fiction* cui accostarsi semplicemente, senza

alcuna pretesa di comprensione. Persino la letteratura andò incontro a un matrimonio con la tecnica popolare, in un crescendo che indusse molti sedicenti inventori del tempo a cercare fortuna cimentandosi in «una serie di pubblicazioni scientifiche popolari che erano, in realtà, manuali per maghi» (Darnton, 2005: 38).

L'arrivo del nuovo secolo modificò profondamente l'immagine, anche popolare, della tecnologia, a partire dal «numero delle industrie entro cui la tecnologia era una (potremmo quasi dire l'unica) forza dinamica» (Wilson, 1994: 812). L'applicazione al settore tessile del modello di macchina a vapore di James Watt consentì di automatizzare il movimento delle ruote dei telai, dipendente, fino a quel momento, dalla forza delle braccia o dalla corrente dei fiumi, mentre il telaio meccanico, introdotto nel 1785 da Edmund Cartwright, permise di velocizzare ulteriormente la produzione di tessuti.

La macchina a vapore liberava la fabbrica sia dai vincoli geografici di vicinanza alle fonti energetiche naturali, la forza idrica o del vento, sia dai vincoli stagionali, come siccità o piene dei fiumi, e apriva la strada a una modalità produttiva in cui l'antica bottega, fondata sul lavoro del singolo artigiano, perdeva significato. Il sorgere del XIX secolo non coincise soltanto con la cosiddetta "era del cotone": la metallurgia, l'industria meccanica, l'edilizia e la chimica industriale si andarono via via affermando parallelamente allo sviluppo tecnologico.

Il tema della formazione professionale diventava, così, sempre più urgente proprio a causa della rivoluzione industriale: l'uso dei macchinari nelle industrie richiedeva una specifica istruzione intenzionale e rendeva via via sempre più insufficiente quella trasmissione dei saperi domestici sul corretto uso degli utensili, che, in precedenza, poteva essere tramandata da padre a figlio.

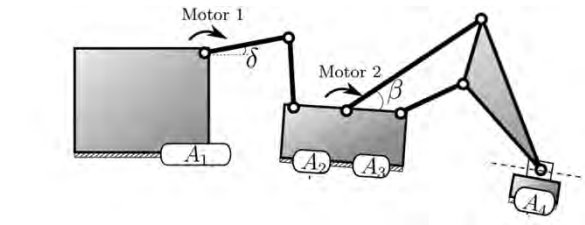
I modelli meccanici dei meccanismi

Il modello teorico affermatosi gradualmente nel tardo Settecento, è alla base delle attuali tendenze nell'ambito della formazione tecnica.

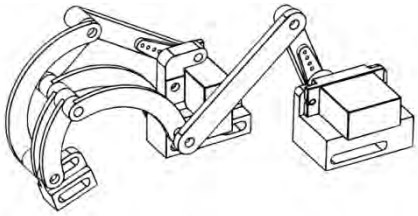
Un meccanismo, da questo punto vista, è un sistema meccanico composto da più corpi in moto relativo il cui scopo è trasmettere moto e forza, come per definizione data ad esempio nella terminologia standard (IFToMM, 2003) e nei libri di testo (Wilson, 1954-1984; Shigley e Uicker, 1995). In generale, un meccanismo può essere considerato un componente chiave di una macchina per la sua funzione di convertire l'energia meccanica a un livello adeguato. Con tale schema è anche possibile riconoscere una modellazione di un meccanismo non solo per scopi progettuali ma anche per spiegare il funzionamento dell'intera macchina e in particolare il funzionamento secondo una funzione prevista. Pertanto, un modello di meccanismo può essere elaborato per scopi di progettazione, simulazione e illustrazione con soluzioni che vanno oggi dalle soluzioni virtuali in pacchetti software orientati al computer a costruzioni meccaniche semplificate in scala fino a prototipi o dimostratori ben definiti, anche facendo riferimento allo stesso modello nella evoluzione della definizione

della soluzione progettuale. Un esempio è illustrato in Figura 1, che si riferisce a un meccanismo come esoscheletro di assistenza al movimento per le dita, (Uicker et al., 2017; Lopez-Cajùn e Ceccarelli, 2013) in cui il modello è progettato con uno schema cinematico in a), con una soluzione CAD in b) e con un prototipo di laboratorio in c). Il modello cinematico è finalizzato sia a spiegare la struttura che il principio funzionale della soluzione, il disegno CAD è utilizzato per definire i dettagli del progetto meccanico e la fattibilità del suo funzionamento e il prototipo è utilizzato per la validazione testandone la funzionalità, con attività che spaziano dalla didattica alla simulazione di progettazione.

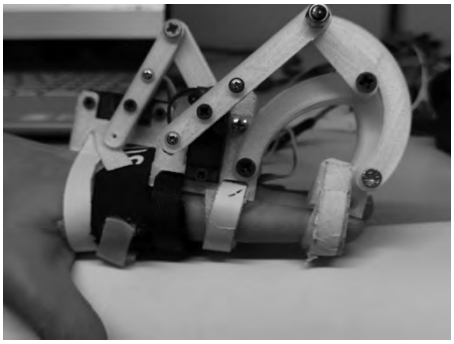
In generale, già nel passato i modelli di meccanismi erano utilizzati in una varietà di attività per l'insegnamento, lo studio, la ricerca e la progettazione come illustrazioni dimostrative e presentazioni di convalida e caratterizzazione del funzionamento, incluso il controllo sperimentale e persino la promozione o l'esposizione di mercato. Modelli sono sviluppati e utilizzati non solo per sistemi meccanici, ma anche come mezzo o parte di sistemi in altre discipline, con finalità analoghe od anche per finalità di servizio complementari come ad esempio indicato in Ceccarelli (2012).



a)



b)



c)

Fig. 1 – Esoscheletro di assistenza al movimento per le dita: a) schema cinematico; b) Soluzione CAD; c) prototipo di laboratorio.

Esempi: formazione per l'ingegneria meccanica

La storia mostra molti esempi di modelli di macchine usati per finalità dimostrative. Fin dall'antichità, infatti, la progettazione e la caratterizzazione della funzionalità dei meccanismi nelle macchine sono state studiate ed elaborate utilizzando modelli di vario genere, non solo a fini progettuali nelle determinazioni dimensionali finalizzate alla costruzione, ma anche per motivare e spiegare l'efficienza delle soluzioni proposte per clienti e pubblico in generale. I modelli generalmente utilizzati possono essere individuati in schemi grafici più o meno corredati da modelli matematici e relativi calcoli numerici, ma anche da modelli fisico-meccanici con realizzazioni sia a grandezza naturale sotto forma di prodotti prototipali, sia in scala a fini di primo studio e spiegazione delle soluzioni proposte. Purtroppo, dei modelli dell'antichità non sono rimaste prove fisiche se non fonti letterarie che comunque ci sono pervenute senza i disegni originali. Si può fare riferimento, ad esempio, all'opera di Archimede, (Ceccarelli, 2013) e degli ingegneri romani, tra tutte le opere di Vitruvio (Cigola e Ceccarelli, 2014), i cui studi specifici su macchine e meccanismi furono poi riscoperti nel Rinascimento e ripubblicati anche con figure e schemi grafici risultanti dalle interpretazioni del testo e dall'esperienza diretta degli autori delle riproduzioni. Tra tutti è da segnalare l'opera di Guidobaldo del Monte (1577), che utilizzò l'opera di Archimede nell'esame della meccanica delle macchine, facendo riferimento a macchine elementari con schemi interpretativi ma anche di base per formulazioni numeriche che furono rielaborate da Galileo Galilei nel primo ciclo di lezioni tenute all'Università di Padova (Ceccarelli, 2016), come riportato nel primo testo specificamente dedicato all'insegnamento sulla progettazione di macchine e meccanismi che furono concepiti e progettati nel corso del Rinascimento da ingegneri e primi scienziati della meccanica (Ceccarelli, 2008). L'esempio di Figura 2 riporta uno di questi schemi sotto forma di modello di macchine elementari in cui la struttura meccanica è rappresentata in forma essenziale sia per il disegno che per la funzionalità del meccanismo di un corpo a vite.

Successivamente, questo scopo didattico-dimostrativo dei modelli grafici delle macchine ha avuto la sua collocazione nel *Theatrum Machinarum* sotto forma di cataloghi di macchine in cui sono rappresentate le strutture delle macchine con un testo di accompagnamento per la descrizione delle funzionalità e peculiarità costruttive. Questo scopo didattico-illustrativo si è sviluppato dai primi manuali di macchina di Francesco di Giorgio, (Ceccarelli, 2018), dal primo Rinascimento fino all'elaborazione di cataloghi complessi nella forma del *Theatrum Machinarum*, e infine anche in specifici capitoli di enciclopedia come nell'*Encyclopédi*e di D'Alembert e Diderot.

In prossimità della rivoluzione industriale, questi cataloghi si sono specializzati nella rappresentazione di modelli grafici di meccanismi all'interno di specifici trattati come quello pionieristico ideato da Gaspard Monge e scritto da Lanz e Betancourt sotto la guida di Hachette, immediatamente tradotto in italiano per uso didattico e

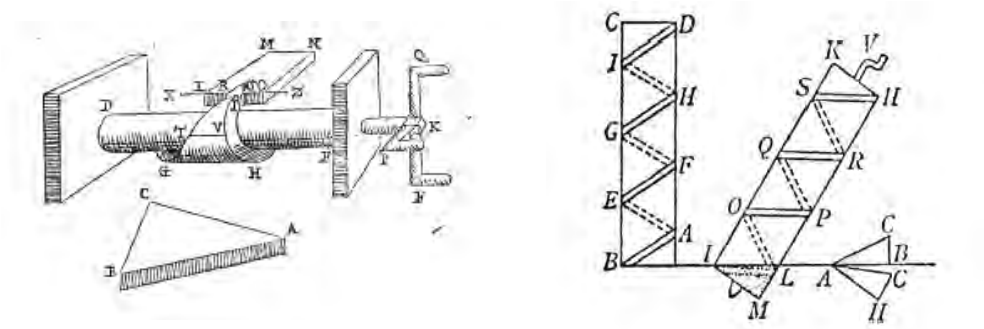


Fig. 2 – Esempi di modelli grafici di macchine elementari.

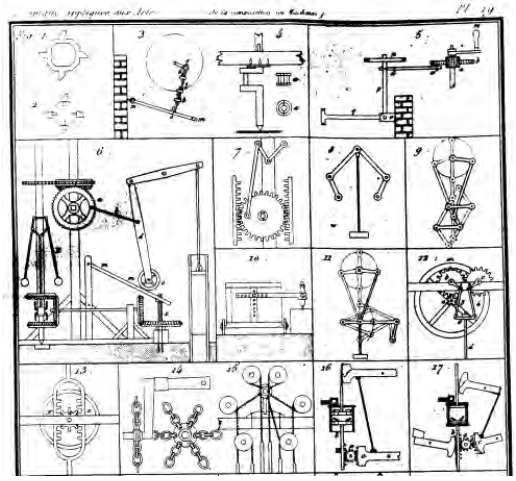


Fig. 3 - Esempio di modellazione grafica di meccanismi nelle classificazioni dal lavoro di Borgnis a Pavia nel 1823 (Ceccarelli, 2014).

professionale, mentre è stato rivisto e ulteriormente sviluppato nel primo manuale europeo, italiano, di Giuseppe Antonio Borgnis (Ceccarelli, 2014), come rappresentato nell'esempio di Figura 3, in cui è rappresentata anche la modellizzazione dei meccanismi con lo scopo di spiegare una classificazione delle possibilità strutturali e funzionali dei vari tipi di meccanismi. Queste finalità progettuali e didattiche hanno dato origine a una specifica letteratura e anche a una ricerca volta a scoprire principi unitari nella varietà dei meccanismi secondo le varie tipologie, anche con l'ausilio di modelli di piccola scala che hanno riscontrato pieno successo con la produzione di modelli disegnati da Franz Reuleaux e prodotti dalla ditta Voigt con circolazione planetaria.

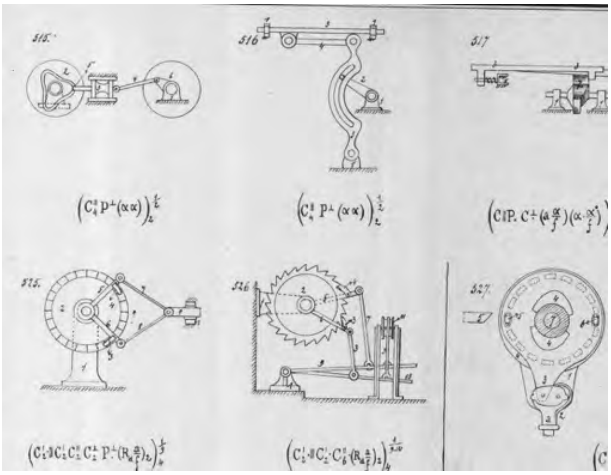


Fig. 4 - Esempio di modelli grafico-analitici di meccanismi dall'opera di Francesco Masi a Bologna alla fine del XIX secolo (Masi, 1883).

In particolare, in Italia questa attività ha visto una produzione di letteratura specifica già nella prima metà dell'Ottocento, con i primi corsi dedicati alla formazione degli ingegneri meccanici presso l'Università di Torino, divenuta poi Politecnico di Torino, con il lavoro del professor Carlo Ignazio Giulio, che riprende lo studio didattico di Gaspard Monge, sviluppato ulteriormente da Robert Willis, e che è proseguita per tutto l'Ottocento fino a giungere all'opera di Francesco Masi (Ceccarelli, 2010) all'Università di Bologna, con il suo trattato enciclopedico (Masi, 1883), in cui la modellazione dei meccanismi è trattata a livello non solo grafico, ma anche analitico-formulistico, come rappresentato in Figura 4.

Ovviamente, questo sviluppo di modelli grafici per formulazioni analitiche ai fini dell'analisi progettuale e dell'insegnamento della funzionalità dei meccanismi è stato accompagnato anche da varie tipologie di modelli fisico-meccanici, sia in scala con emulazione di modelli Voigt che con modelli appositamente progettati dai docenti italiani. La Figura 5 mostra esempi di tali modelli fisico-meccanici che sono stati prodotti dalla fine dell'800 fino agli anni '60 del '900 con evidenti finalità didascaliche per corsi sulla cinematica e progettazione di meccanismi per macchine anche più complesse. La Figura 6 mostra un esempio della diffusione dei modelli nell'intero ambito nazionale, così come conservati rispettivamente al Politecnico di Torino, all'Università di Roma, al Politecnico di Milano e all'Università di Palermo con costruzioni meccaniche rispettivamente in metallo, legno e combinazione di materiali, a rappresentare come tale modellismo anche a fini didattici è stato prodotto con una grande varietà di soluzioni.

Fig. 5 - Esempi di modelli fisico-meccanici di meccanismi a fini didattici nel XX secolo presso: Politecnico di Torino (a sinistra); Università di Roma (al centro); Politecnico di Milano (a destra).

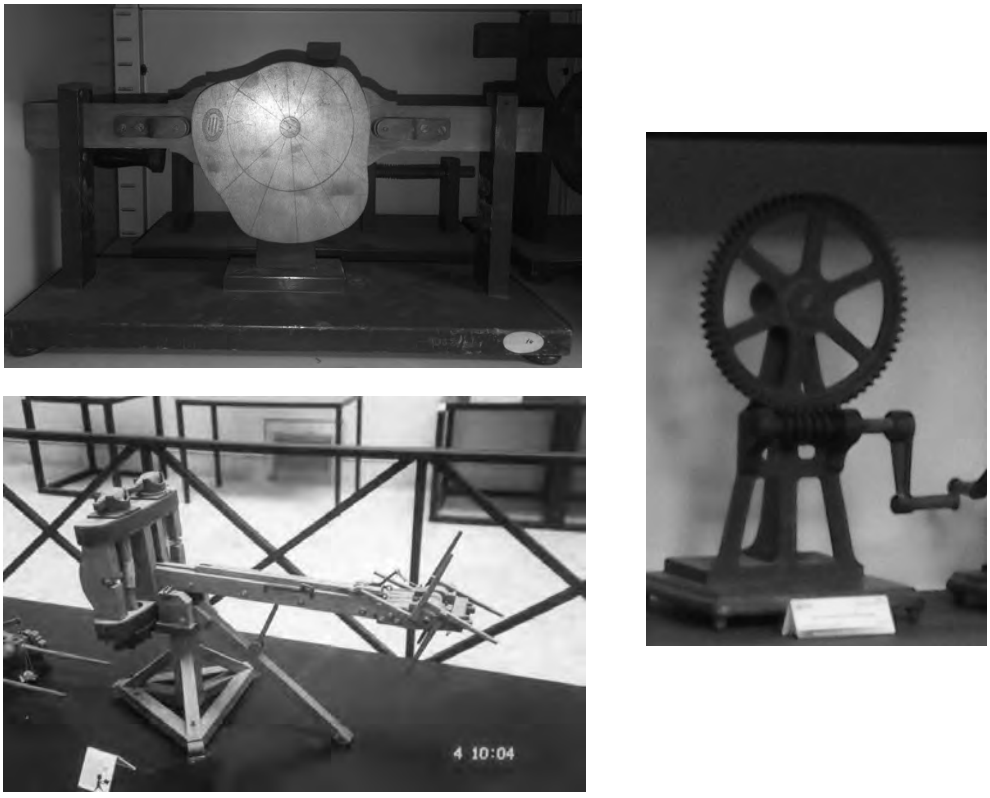


Fig. 6 - Esempi di modelli fisico-meccanici di meccanismi a fini didattici nel XX secolo conservati presso l'Università degli Studi di Palermo.

Negli anni ’80-’90 del Novecento, l’avvento dei computer e delle relative tecnologie di modellazione computerizzata ha prodotto modelli virtuali che ancora oggi vengono utilizzati nei corsi per spiegare le strutture dei meccanismi e la loro funzionalità con algoritmi dedicati per una simulazione virtuale delle loro prestazioni e rappresentazione numerica come caratterizzazione dei principi e delle soluzioni proposte, ma anche utili per ulteriori sviluppi per progetti anche innovativi. In questi processi di modellazione virtuale non ci sono vantaggi concettuali, ma solo convenienza pratica.

Successivamente, all’inizio di questo secolo, sono state sviluppate tecniche didattiche per lo studio di meccanismi e macchine che combinano i vari tipi di modellazione sopra descritti, cioè grafici, fisico-meccanici e computerizzati virtuali, in modo tale che il tecnico in formazione, non solo per l’ingegneria meccanica delle macchine con soluzioni meccatroniche, può apprezzare anche la struttura e le funzionalità meccaniche tipiche dell’interazione uomo-macchina e macchina-macchina, oltre all’integrazione con ulteriori sistemi di altre discipline che sono ormai essenziali nella struttura moderna di una macchina meccatronica o alla combinazione di vari tipi di azionamenti, sistemi di controllo e sensorizzazione necessari per la regolazione delle macchine in base alle applicazioni cui sono dedicate e per cui sono progettate.

Conclusioni

Sebbene oggi le tecniche di insegnamento e progettazione siano basate sulla modellazione assistita da computer e quindi su una modellazione matematica e simulativa, la realizzazione di modelli fisico-meccanici in legno, metallo, plexiglass, stampa 3D ABS o PLA è ancora ritenuta necessaria e fondamentale per una formazione razionale ed efficiente per raggiungere l’adeguata conoscenza e consapevolezza dei problemi e delle soluzioni che un ingegnere deve affrontare per lo sviluppo e la gestione di meccanismi e macchine a struttura meccatronica in modo da garantirne il corretto ed efficiente funzionamento nei più moderni usi attuali.

Bibliografia

Capocaccia A. (Ed.) 1973. *History of technique. From Prehistory to the Year One Thousand*. Turin: UTET.

Ceccarelli M. 2008. Renaissance of Machines in ltaly: from Brunelleschi to Galilei through Francesco di Giorgio and Leonardo. Mechanism and Machine Theory, 43,1530-1542.

Ceccarelli M. 2010. Francesco Masi (1852-1944). In: *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science: Their Contributions and Legacies*, Part 2, Book series on History of Machines and Machine Science, 7. Berlin: Springer.

Ceccarelli M. 2011. Mechanism Designs of Cultural Heritage. In: *Proceedings of 13th World Congress in Mechanism and Machine Science IFToMM 2011*, Guanajuato, 2011, paper n. A2. l-393.

Ceccarelli M. 2012. An Outline of History of Mechanism Design in servicing Science. Physics, Astronomy and Engineering: critical problems in the History of Science and Society. In: *Physics, Astronomy and Engineering. Critical Problems in the History of Science and Society Proceedings of SISFA 2012*, (Pisano R., Capecchi D., Lukešová A. Eds.). lnvited lecture, 1-10. Siauliai: The Scientia Socialis Press.

Ceccarelli M. 2013. Considerations on Mechanism Designs as Suitable for Cultural Heritage Evaluation. Advances in Historical Studies, 2(4).

Ceccarelli M. 2014. Giuseppe Antonio Borgnis (1781- 1863). In: *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science*, Part 3, History of Mechanism and Machine Science, 26. Berlin: Springer.

Ceccarelli M. 2016. Figures and achievements in MMS as landmarks. Mechanism and Machine Theory, I, 05. 105, 529-539.

Ceccarelli M. 2018. Contributions of Francesco di Giorgio. Mechanism Design, Anales de lngeniería Mecánica, 21, Madrid, Septiembre.

Chaunu P. 1987. *La civiltà dell'Europa dei Lumi*. Bologna: Il Mulino.

Cigola M., Ceccarelli M. 2014. Marcus Vitruvius Pollio (Second Half of the Ist Century B.C.). In: *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science*, Part 3, History of Mechanism and Machine Science, 26. Berlin: Springer.

Darnton R. 1968. *Mesmerism and the End of the Enlightenment in France*. Cambridge: Harward University Press.

Del Monte G. 1577. *Mechanicorum Liber*. Pisauri: Apud Hieronymum Concordiam.

Dolza L. 2008. *Storia della tecnologia*. Bologna: Il Mulino.

Gillispie C.C. 1959. The Encyclopédie and the Jacobin Philosophy of Science. In: Critical Problems in the History of Science (M. Clagett Ed.), Madison: University of Wiscosin Press.

Hahn R. 1971. *The Anatomy of a Scientific Institution: The Paris Academy of Sciences, 1666-1803*. Berkeley: University of California Press.

IFToMM 2003. Special lssue: Standardization and Terminology. - Mechanism and Machine Theory, 38,7 (10).

Lopez-Cajùn C.S., Ceccarelli M. 2013. *Mecanismos: Fundamentos cinematicos para el diseno y la optimizacion de la maquinaria*. Ciudad de Mexico: Trillas.

Masi F. 1883. *Manuale di cinematica applicata: Nuova classificazione dei meccanismi*. Bologna: Zanichelli.

Means B., Olson K. 1997. *Technology and Education Reform: Studies of Education Reform*. Washington: Diane Publishing.

Riskin J. 2002. Physique amusante. Dimostrazioni e intrattenimento. In: *Storia della scienza: VI L'ètà dei Lumi* (a cura di S. Petruccioli). Roma: Treccani.

Savage E.N. 2002. A Conceptual Framework for Technology Education: A Historical Perspective. The Journal of Technology Studies, 28, 98-100.

Shigley J. E., Uicker J.J. 1995. *Theory of machines and Mechanisms*. New York: Mc Graw.

Singer C. et al. (Eds.) 2012. *History of technology*. 2. Turin: Boringhieri.

Sterry L., Hendricks R. 1999. *Exploring technology*. Menomonie: T&E Publications.

Toto G.A., Limone P. 2021a. Motivation, Stress and Impact of Online Teaching on Italian Teachers during COVID-19. Computers, 10(75).

Toto G.A., Limone P. 2021b. From Resistance to Digital Technologies in the Context of the Reaction to Distance Learning in the School Context during COVID-19, Education Sciences, 11(4).

Uicker J.J., Pennock G.R., Shigley J.E. 2017. *Theory of Machines and Mechanisms*. Oxford: Oxford University Press.
Wilson C. 1954-1984. Technology and Industrial Organization. In: *A history of technology*, 5 (C. Singer et al. Eds.). London: Oxford University Press.
Zahang B., Ceccarelli M. (Eds.) 2019. Exploration in in the History and Heritage of Machines and Mechanisms. In: *Proceedings of HMM2018*. Cham: Springer Nature Switzerland.

Sitografia

[1] LEGO. 2019.
https://www.fgm.it/_MG/scritti%20di%20marconi/la%20radiotelegrafia1922.pdf

Maria Letizia Conforto

Geometria e architettura, varianti e invarianti di trasformazione

Variants and invariants terms in geometry and architecture

Sommario
Nella logica propria di ciascuna geometria, piana, tridimensionale, sferica, il cambiamento di uno o più elementi di riferimento genera formule di trasformazione le cui proposizioni geometriche esprimono anche fatti fisici. La rappresentazione delle figure nello spazio è, fin dall'antichità, problema scientifico e filosofico, come la corrispondenza tra forma teorica e forma concreta, tra idea e realtà. L'operazione geometrica di trasformazione studia le proprietà invarianti di forme in uno spazio infinito e tridimensionale mediante convenzioni che, estese alla costruzione delle forme concrete e finite dell'architettura, contribuiscono a definirne i modelli di riferimento e le strategie operative. La continua sperimentazione su materiali diversi e la formulazione, nel tempo, di modelli sempre più complessi hanno espresso, negli spazi urbani e nel territorio, le proprie potenzialità di trasformazione che si sono avvalse, di conoscenze scientifiche sempre più avanzate. Le innovazioni introdotte nel progetto di architettura dalle sempre maggiori capacità di calcolo e di resistenza dei materiali sono state amplificate dagli studi matematici che, secondo una nuova concezione dello spazio, esplorano geometrie di ordine superiore e proiettano anche l'architettura nel mondo digitale.

Abstract
The representation of geometric figures in the space has been a scientific and philosophical problem since ancient times, as well as, the correspondence between concept and concrete forms. If the representation of space itself and of any other form may be expressed in analytical or geometrical terms, this must also be true for concrete three-dimensional and finite forms of architecture. The knowledge of theoretical terms, with which ancient and modern cultures investigated, represented and measured space, permits today to understand the terms with which, variants and invariants are to be considered as such in the build environment. This is as long as scientific and figurative studies are expressions of our cultural identity.

Proprietà delle figure

Appartiene al campo della geometria elementare o metrica lo studio delle proprietà invarianti di figure sottoposte a variazione dimensionale le cui similitudini lasciano immutati angoli e proporzioni. Ma esistono anche campi della matematica ai quali i concetti metrici sono totalmente estranei: la geometria proiettiva, che studia le proprietà invarianti delle figure per operazioni di proiezione e sezione, e la topologia, che concerne le proprietà che le figure conservano se sottoposte a trasformazioni continue e biunivoche senza duplicazioni o lacerazioni. Esiste poi la possibilità logica di esplorare, con una teoria razionale, uno spazio geometrico astratto a più dimensioni.

Nella logica della geometria piana, tridimensionale o sferica, la variazione di più di uno degli elementi di riferimento genera formule di trasformazione, operazioni geometriche che definiscono le proprietà invarianti e varianti delle forme rispetto a un determinato gruppo. Nello spazio euclideo le proposizioni geometriche possono considerarsi un sistema di convenzioni mediante il quale si esprimono fatti fisici la cui dimensione non dipende da come è misurata o rappresentata, se in termini geometrici o, privilegiando il primato del numero, analitici.

La rappresentazione delle figure nello spazio è, fin dall'antichità, problema scientifico e filosofico, come la corrispondenza tra concezione e espressione, tra idea e realtà. Il livello teorico raggiunto nel mondo antico nelle applicazioni scientifiche relative alla meccanica, all'astronomia, all'agrimensura, testimoniato dai trattati matematici, ha contribuito a definire anche le regole per la costruzione delle forme tridimensionali, concrete e finite dell'architettura.

Il confronto fra capacità progettuale e realizzazione, che consente di verificare l'ambito di variabilità dei codici di architettura rispetto ai modelli, può ancora, in molti casi, rendere possibile riconoscere la concezione dell'edificio e della città, la corrispondenza tra struttura urbana e struttura territoriale.

Regole e strumenti applicabili all'architettura sono infatti derivati da acquisizioni concettuali della scuola pitagorica sullo spazio geometrico considerato ente continuo, illimitato, omogeneo nel quale il punto rappresenta l'unità di posizione, due punti determinano la direzione di una retta e il segmento che li unisce ne misura la distanza, tre punti individuano la giacitura del piano. Angoli retti, ottusi, acuti danno forma a poligoni piani e solidi tridimensionali. I numeri irrazionali, che fissano la relazione tra il lato del quadrato e la sua diagonale, tra il raggio del cerchio e la sua circonferenza, hanno poi reso possibile, tramite l'uso di squadra e compasso, il controllo di forme poligonali e curve sul piano e nello spazio.

Forma teorica e forma concreta

Come la geometria ha fissato i postulati dai quali discendono, con propria logica, elaborazioni successive, anche il processo progettuale ha preso forma da una serie

di vincoli suggerendone una risposta organizzata, dimensionando lo spazio interno e il suo rapporto con l'esterno, selezionando materiali, tecnica esecutiva, prospettive. Ogni porzione di un manufatto è così sempre stata anche parte di un sistema geometrico che investe la scala dell'edificio, della città, del territorio.

Un punto poteva essere il fuoco dello spazio circolare del rifugio o del tumulo, o il centro di un'area destinata a accogliere un elemento significativo. Più punti potevano definire gli spigoli di poligoni di uno spazio da completare in elevato in modi diversi, o rappresentare i fuochi di strutture policentriche.

Anche la scelta di un sito sul quale dare forma a un nuovo insediamento dipendeva, in antico, da molteplici fattori, dalla possibilità di difesa alle provvigioni alimentari e idriche. Qualità e lavorabilità di materiali disponibili sul posto erano comunque un fattore importante per la definizione e la realizzazione di opere in legno, pietra o mattone da adattare, volta per volta, alla vita della comunità e all'osservanza dei cerimoniali religiosi. Consacrare un tempio alla divinità o stabilire il tracciato delle mura erano opere che trascendevano da sempre lo stesso valore della costruzione. Nella strutturazione degli spazi urbani si definivano dunque i parametri coi quali si potessero operare trasformazioni.

L'osservazione sul comportamento dei materiali contribuiva a codificare l'opera. Il legno, materiale resistente e flessibile, poteva adattarsi a funzioni diverse, dal palo alla capanna, dalla trave al solaio, dall'architrave alla carpenteria del tetto, definendo modelli architettonici imitati poi da squadrate costruzioni in pietra destinate a consolidare il prestigio delle comunità. Antiche civiltà, insediate in luoghi con la sola disponibilità di pezzame di pietra o materiale incoerente diedero, invece, forma a spazi aperti e chiusi basati principalmente su geometrie circolari.

La diffusione di modelli architettonici dimensionati su rapporti proporzionali ha aperto, nel tempo, la strada a nuove forme di produzione edilizia. La diffusione di elementi in marmo, pronti per il trasporto e il montaggio, ha ampliato il campo di influenza dei canoni e dei modelli di architettura. Impasti di creta seccati al sole e ricoperti con strati protettivi hanno invece alimentato la diffusione di fornaci per la cottura di mattoni adatti a dimensionare ampie forme poligonali e circolari.

Nella pratica edilizia, muri rettilinei paralleli definivano spazi basati su figure convenzionali come il quadrato e il rettangolo aureo nei quali l'altezza era proporzionata da precise leggi geometriche. Il modello di riferimento poteva, però, variare nel tempo e essere concluso con un piano orizzontale, con piani inclinati, con superfici di rivoluzione comunque costruite. Volte in pietra o mattone potevano, con diverse curvature, dare forma allo spazio rispettando dimensioni e proporzioni del modello di riferimento, ma da nuove sperimentazioni potevano sempre nascere innovazioni in funzione di vincoli preesistenti o di una migliore risposta strutturale, concludendo, come nell'esempio in Figura 1, geometrie poligonali con forme su base circolare.

Fig. 1 – Iran, Soltaniyeh: edificio in mattoni con cupola su pianta ottagona, inizi XIV sec.

La città e il territorio

La struttura stessa della città, con i suoi spazi pubblici e privati, costruiti e non costruiti, esprimeva il proprio livello culturale nella capacità di variare i modelli teorici, dimostrando potenzialità di realizzazione. Ne sono testimonianza, nel tempo, l'enorme sviluppo dell'ingegneria meccanica utilizzata per la costruzione di strumenti per il trasporto e il posizionamento in opera di materiali estratti dalle cave, la qualità e l'efficienza degli impianti di immagazzinamento e distribuzione, lo sviluppo delle infrastrutture produttive che, articolando il territorio extraurbano, lo legavano alla città. Edifici pubblici e privati, viadotti, magazzini e conserve utilizzavano per l'esecuzione di opere colossali cognizioni di statica e tecnica edilizia, di meccanica applicata alle macchine e al moto dei fluidi. In nessun caso si rinunciava, però, a caratterizzare opere connotate da invarianti funzionali scientificamente acquisite con spettacolari soluzioni del tutto sorprendenti.

La descrizione di Vitruvio sulla polifunzionalità della basilica, che ospitava il mercato, la borsa, il tempio, il tribunale, mette in evidenza l'importanza dell'edilizia pubblica che affidava la mutevolezza della scena urbana all'adattabilità degli edifici e alla potenzialità imprenditoriale. Il rinnovamento della città consolidata rappresentava il punto di riferimento per un'intensa attività edilizia nella quale ordini architettonici e partiti decorativi rappresentavano gli strumenti normativi per mantenere attiva la produzione e il commercio di materiali adatti alla realizzazione di antichi e nuovi modelli.

Terme, ninfei, fontane e mostre d'acqua non erano solo abilissime applicazione dei principi della fisica e della meccanica, ma anche architetture in movimento nel corso della giornata e delle stagioni. L'attenzione alla variabilità dello spazio era particolarmente evidente nelle architetture per lo spettacolo. La diversa geometria del teatro romano rispetto a quello greco dimostrava non solo conoscenza dell'acustica ma anche competenza nell'articolare artifici scenici per dare profondità allo spazio mutando pareti e decorazioni. Costruzioni meccaniche per le scene di teatro o per l'allestimento di naumachie, in uso in Roma in età augustea, consentivano la rotazione delle cavee di due teatri in legno in un unico anfiteatro, testimoniando la capacità e la volontà di stupire, costruendo e mutando forme di architettura. Illusione ottica e funzione sonora, movimento reale e moto riflesso completavano così lo spazio apparentemente vuoto della scena teatrale e di quella urbana. L'architettura posta intorno a uno spazio vuoto proponeva punti di vista continuamente mutevoli, nei quali i partiti architettonici degli edifici erano lo sfondo sul quale si proiettavano i giochi d'acqua delle fontane, moltiplicati da illusioni pittoriche disegnate secondo le regole della prospettiva e dai riflessi dalle superfici specchianti delle vasche secondo le leggi dell'ottica.

In tutto il bacino del Mediterraneo, sia in aree urbane che nel territorio, può ancora oggi essere riconosciuta la sequenza, nei secoli, di varianti costruttive in molteplici edifici. Una sequenza di colonne affiancata a un muro rettilineo in pietra, alla distanza misurata sulla dimensione di un architrave, modificava la portanza dell'edificio e si configurava come un nuovo modello geometrico e strutturale. Lo stesso artificio, basato sulla collaborazione tra un muro continuo e pilastri collegati da archi o, ancor più saldamente, da una sequenza di ambienti voltati, contribuiva a livellare ampi spazi destinati a costruzioni molto estese sul piano e in altezza. Ulteriori varianti potevano derivare dalla tecnica con la quale i materiali venivano posti in opera a concludere lo spazio, mediante la convergenza di elementi inclinati, articolando geometrie nate dall'elaborazione dell'arco o da processi di rivoluzione del cerchio e della parabola o dalla ciclica ripetizione della spirale.

Lo spiccato delle figure geometriche sul piano di campagna definiva in modo inequivocabile la collaborazione strutturale tra le diverse parti del fabbricato, fissando con chiarezza, in base a regole fisse, la conclusione tridimensionale dello spazio. Ma l'inflessibilità dell'idea si è spesso dovuta nel tempo adattare a impreviste esigenze che ne hanno modificato non solo la concezione spaziale, ma anche la stessa concezione strutturale generando modelli diversi. Forme geometriche di sperimentata efficacia sono state a volte modificate in termini dimensionali e razionalizzate con l'insieme della costruzione in una più elaborata complessità architettonica, mediante giustapposizione di materiali diversi, articolando spinte e controspinte di archi, volte, nicchie, cupole e altre figure di rivoluzione.

In spazi monocentrici, poligonali o curvilinei, la collaborazione tra muratura continua e sistemi colonnati poteva essere sviluppata sia all'interno che all'esterno

del perimetro murario di base, consentendo diverse configurazioni della copertura. Gli spigoli di uno spazio poligonale potevano, infatti, essere raccordati, mediante la formazione di spicchi, in una curvatura continua sulla quale impostare una cupola, o essere strutturati a esaltare, anche in terza dimensione, le diverse specchiature piane. Nel caso invece di una pianta circolare la copertura, affiancata all'interno e all'esterno da ambulacri su colonne, poteva, a seconda della dimensione, essere articolata anche su diverse superfici di rotazione in modo da trasferire i carichi sulle strutture di maggiore resistenza come nell'esempio in Figura 2. Molte innovazioni furono anche proposte nella stessa esecuzione strutturale delle cupole. Dalle più antiche superfici voltate in mattoni di terra e pezzame di pietra si è passati a superfici di rivoluzione composte da mattoni di fornace o da pietre squadrate costruite per anelli sovrapposti. Pesanti cupole in conglomerato, impostate su robusti tamburi in muratura, si sono trasformate in strutture a doppia curvatura su tamburi murari perforati da finestre o in volte suddivise da archi portanti, sviluppando nuovi e significativi modelli di edifici, come dimostrato dall'esempio in Figura 3.

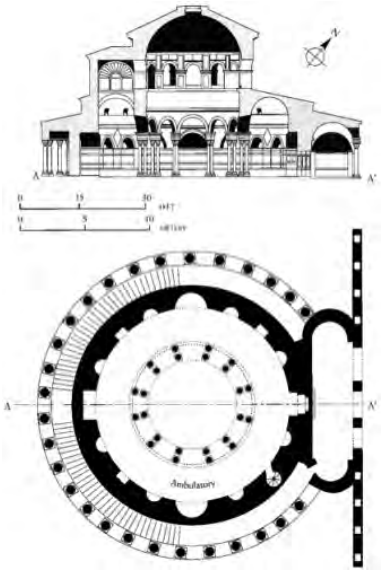


Fig. 2 – Roma: Mausoleo di S. Costanza, IV sec

Fig. 3 – Costantinopoli: S. Sofia, VI sec.

Geometria sulla pietra

È comunque sulla superficie della pietra, piuttosto che su quella di altri materiali, che è ancora possibile riconoscere i riferimenti geometrici per la progettazione e la realizzazione dell'edificio. È la pietra a conservare, anche nelle lavorazioni più antiche, i capisaldi e gli allineamenti imposti dalle scelte strutturali e dal loro dimensionamento. La tecnica antichissima di selezionare e rubricare i blocchi destinati a grandi opere monumentali o alla costruzione di mura ciclopiche è stata nel tempo estesa agli elementi verticali come pilastri, colonne, paraste, che, composti secondo geometrie variabili, hanno dato luogo a realizzazioni che ancora stupiscono per la precisione esecutiva e la fantasia progettuale.

Lo studio di opere in pietra rende possibile riconoscere materiali trasferiti da altri contesti su nuove costruzioni e individuarne la provenienza in base alle dimensioni, alle lavorazioni, alla stessa composizione della materia. La presenza di particolari architettonici come colonne, architravi, capitelli, riutilizzati in successive costruzioni rende possibile il confronto con quanto conservato in siti archeologici, lasciando intuire come ciascuna comunità abbia scelto, da un certo punto in poi, di rappresentare le proprie esigenze adattando e trasformando i modelli degli edifici precedentemente prodotti da una diffusa sapienza costruttiva e da continue sperimentazioni sulla forma.

Molta parte della storia di ogni epoca è ancora scritta o rappresentata sulla pietra. Ogni singola costruzione ha infatti goduto di una propria formulazione del progetto da ogni punto di vista, formale, strutturale, iconografico. Insieme alla complessità delle costruzioni funerarie dell'antico Egitto, alla perfezione dei templi della Grecia, agli archi trionfali e alle colonne celebrative di Roma, la continua e sapiente ricerca di come equilibrare pieni e vuoti nello spazio utilizzando le qualità di resistenza e lavorabilità della pietra ha determinato nuovi modelli nei quali misura e posizionamento di ogni elemento, accuratamente preparato in cantiere, avvenivano secondo il preciso tracciato della struttura e della narrazione iconografica. Nuove architetture sono quindi nate adattando antiche strutture a nuove funzioni, adeguando l'esistente a modelli e capacità esecutive ormai diverse o esplorando impianti ormai abbandonati per recuperarne e riutilizzarne i materiali.

Nell'antico territorio dell'impero romano, edifici pubblici e comunità religiose divennero i luoghi in cui concentrare tutte le attività artistiche del periodo. Conventi e abitazioni fortificate si integrarono nel tempo con nuove comunità urbane dove le cattedrali occuparono un posto unico nella vita dei paesi europei operando come scuole, biblioteche, musei, gallerie e, in assenza della stampa, come luogo privilegiato per le raffigurazioni di storia sacra e profana. La magnificenza di edifici pubblici, privati e religiosi, espressione del potere delle classi dominanti, impose alle comunità urbane nuovi modelli e nuove prospettive di ricerca. Immense cattedrali in pietra e grandi complessi a scala urbana, unificando esperienze diverse in un unico progetto, diedero forma alla nuova architettura.

Un esempio evidente dell'evoluzione del ragionamento, della sperimentazione costruttiva e artistica sulla base di esperienze pregresse, sono i monumenti in marmo realizzati dalla Repubblica di Pisa nel XII secolo, suscitando nella città l'antico entusiasmo per il marmo provato dagli abitanti della Grecia e della Roma imperiale. Questi monumenti, costruiti al limitare dell'abitato nel momento della massima gloria della potenza marittima, esprimono meglio di qualunque documentazione la vicenda storica della città. Il duomo, il battistero, la torre pendente e il camposanto rappresentano un documento unico dell'architettura in marmo preservato quasi intatto nella composizione planimetrica e nella tecnica di esecuzione. Due secoli prima di Brunelleschi la sbalorditiva eleganza delle proporzioni del battistero, coronato dalla doppia cupola in Figura 4, dimostra ancora oggi la capacità degli architetti pisani di evocare, nella ricerca di una nuova architettura, la classicità del marmo.

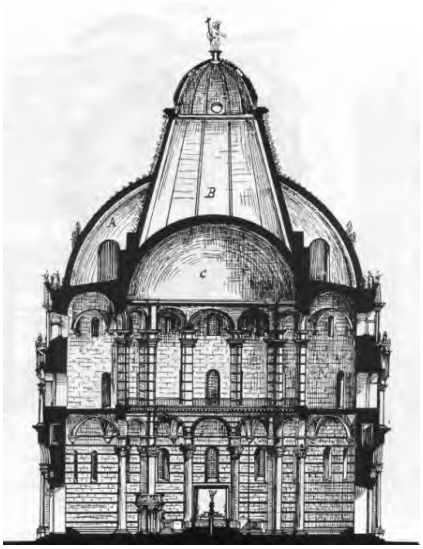


Fig. 4 – Repubblica Pisana: sezione del Battistero, XII sec.

La stupefacente ricchezza delle logge che, appoggiate su colonne a varia altezza, ornano le facciate delle chiese pisane, supera l'invenzione degli architetti romanici e bizantini anche se non sempre nelle proporzioni canoniche. Il valore e il significato della scultura, esaltati in Europa dall'esperienza gotica, si ritrovano in Italia nella grande e vivace scuola dei Pisano, artefici di sculture che, ricordando i primi secoli del cristianesimo, sembrano richiamare l'antica tradizione e i modelli classici.

Nuovi modelli

Il trattato di architettura di Vitruvio, l'unico pervenuto per intero, anche se in formulazioni diverse, esamina le qualità invarianti dell'architettura al tempo di Augusto: «*ut habeatur ratio firmitatis, utilitatis, venustatis*». Nell'architettura antica le scelte progettuali di ciascun edificio facevano esplicito riferimento a modelli analogici apprezzati per solidità, comodità e bellezza. Modelli che, basati sulle proporzioni di ciascuna componente con il tutto, prospettavano come stato di equilibrio ordini i cui limiti erano attentamente vigilati e trasmessi alla fase esecutiva. Il progetto trasferiva con precisione sul terreno la traccia geometrica della costruzione e i vincoli a essa proporzionati da rapporti numerici che ne fissavano articolazione spaziale, misura, spessore e altezza.

Eventi politici, cambiamenti culturali e pratiche religiose che hanno provocato l'esaurimento della originaria funzione in molte antiche architetture hanno anche te-

nuto viva l'attenzione sulla ricchezza e la qualità di manufatti ormai obsoleti dai quali potevano ancora nascere importanti insegnamenti. La riscoperta dell'antico come oggetto da collezionare, da studiare, da imitare si diffuse negli strati più ricchi e consapevoli delle comunità urbane, in competizione fra loro anche per la ricerca di nuovi modelli di architettura, suscitando anche una nuova attenzione alla trasmissione del sapere basata su documenti e immagini, riportati da mercanti, viaggiatori, missioni religiose e studiosi. La caduta di Costantinopoli, che nel 1453 aveva separato le nazioni cristiane da quelle islamiche, consentì la diffusione di antichi testi della cultura alessandrina conservati in oriente in lingua araba nella sola parte occidentale d'Europa mediante traduzioni in latino eseguite a cura dei molti immigrati provenienti dai paesi orientali.

La diffusione a stampa del trattato di Vitruvio in epoca rinascimentale tracciava così la strada a una serie di considerazioni redatte in forma teorica e manualistica restate a lungo alla base degli sviluppi tecnici e concettuali della storia del costruire. Le numerose innovazioni introdotte nei secoli sugli antichi modelli sono ancora ben riconoscibili sugli antichi manufatti superstiti e sulle moltissime più recenti trasformazioni, testimoniando come le varianti introdotte nel tempo abbiano contribuito a definire nuove architetture servendosi di esperienze costruttive consolidate. Si aprì per gli architetti un vasto campo di ricerca progettuale per il rinnovamento della città, dove, mentre si studiavano e si misuravano le antiche tecniche costruttive, se ne demolivano i manufatti per ricavarne i materiali.

Nuovi studi scientifici e il diffondersi di una rinnovata attività artistica favorirono la produzione di artigiani, architetti, ingegneri. Da Brunelleschi a Alberti, da Bramante a Raffaello, da Michelangelo a Vignola vennero rielaborate le caratteristiche architettoniche delle chiese e dei palazzi adottandone, in forma modificata, gli ordini architettonici della tradizione classica.

Il 19 agosto del 1418 a Firenze, dove da più di un secolo era in costruzione la nuova magnifica cattedrale di Santa Maria del Fiore, fu bandito il concorso per il completamento della cupola in Figura 5. Gli studi di Brunelleschi per la realizzazione della copertura del duomo senza l'uso di centine, dimostrando di aver esplorato il complesso equilibrio nello spazio tra strutture formate dall'articolazione dell'arco e i vantaggi di apparecchi murari

Fig. 5 – Firenze: cupola a base ottagona di S. Maria del Fiore.

composti da materiali diversi, richiamano le precedenti esperienze sul tracciamento di cupole mediante archi di cerchio rampanti e sulla pratica di raddoppiare la struttura mediante incatenamenti capaci di trasferire sul tamburo il carico della struttura interna in mattoni. Alberti, umanista e architetto, indagando sugli aspetti teorici del processo progettuale, nel 1435 nella dedica a Brunelleschi del *De pictura*, esaltò la corretta rappresentazione dello spazio attraverso la prospettiva lineare teorizzata dal progettista della cupola fiorentina e, nel *De re aedificatoria* del 1452, esaminò l'importanza della rappresentazione degli edifici al fine della costruzione, distinguendo il metodo proprio del pittore da quello dell'architetto.

Il rinnovamento urbano di Roma, al quale i più noti artisti e architetti del XV secolo furono chiamati a partecipare, non solo creò l'occasione per un più diretto confronto dei nuovi modelli di architettura con le antichità, ma anche le condizioni per rielaborare la concezione pittorica, unificando le regole geometriche per la rappresentazione dello spazio in pittura con quelle dello spazio costruito. La composizione pittorica della Cappella Sistina, dove le traboccanti idee di Michelangelo già prefiguravano il barocco, segnò dunque il passaggio da una configurazione della pittura per quadri a soggetto a una concezione congruente con lo spazio architettonico. Il confronto tra le nuove architetture e i monumenti romani consentì, infine, di selezionare e imitare regole e qualità degli antichi manufatti ricomponendone l'immagine con disegni e trasformazioni funzionali.

Raffaello, architetto e pittore, incaricato della conservazione delle antichità di Roma dopo attente analisi e puntuali rilievi, impostò una nuova pianta geometrica e misurata della città sulla quale fosse possibile trasferire il progetto di un completo rinnovamento urbano, superando così le precedenti rappresentazioni topologiche segnate dalla sola presenza dei monumenti antichi. Raffaello sovrintese anche al rinnovamento della basilica di S. Pietro, dove gli affreschi delle stanze vaticane rivelarono come l'architetto, attento studioso delle regole dell'architettura antica e del valore delle proporzioni, aspirasse alla coerenza e all'equilibrio fra le parti, costruendo nella distribuzione dello spazio nuovi modelli di riferimento.

La sequenza degli eventi che hanno trasformato l'antica basilica di S. Pietro in un modello rappresentativo della nuova architettura è dunque emblematica e segnò un momento cruciale nella trasformazione della città. Al progetto della nuova cattedrale parteciparono molti architetti che, con successivi e infiniti ampliamenti e rimaneggiamenti, seppelliscono, come ben visibile in Figura 6, le antiche mura nel sottosuolo. Il disegno a pianta centrale di Bramante, sottoposto a continue revisioni da Sangallo, Fra Giocondo, Raffaello fu trasformato in una pianta a croce latina. Scartata la proposta di Peruzzi di ripristinare la pianta centrale, Antonio da Sangallo confermò la scelta della croce latina allargandone le navate poi completate da Vignola con le cupole minori. Sul progetto e sulla costruzione della cupola centrale a doppia calotta intervennero Michelangelo, Giacomo Della Porta e Domenico Fontana.

Fig. 6 – Roma: Fabbrica di S. Pietro, Maarten van Eemskerck, sec. XVI.

I lavori dell'imponente cantiere furono portati a termine nel XVII secolo da Maderno e Bernini con il grandioso modello barocco efficacemente rappresentativo, in tutta la sua magnificenza, della volontà di imitare la scala urbana della città antica e di segnare lo spazio con l'impronta del nuovo potere.

La Roma rinascimentale fu così un grande laboratorio di ricerca e innovazione, dove l'osservanza dei canoni nelle nuove costruzioni procedette contemporaneamente al restauro, allo studio e alla ricostruzione ideale di antiche strutture monumentali, con l'obiettivo di formulare nuovi modelli per la società contemporanea. Anche se la pura e sintetica immagine concepita da Bramante per la cattedrale di Roma non ebbe fortuna, architetture basate su proporzioni e rapporti fra numeri e misure possono ancora essere riconosciute in città e altrove in edifici che, privi di ogni segno superfluo, sono stati consegnati alla storia come modelli di estrema sobrietà e acutezza intellettuale. Vignola, sull'esperienza dei predecessori elaborò un nuovo trattato di codici capaci di aggiornare e definire modelli architettonici che proiettassero l'architettura oltre le mura urbane. Palazzo Farnese a Caprarola, Villa Lante e Villa Giulia a Roma, rappresentarono così l'anello di congiunzione tra la Roma classica e quella barocca.

Modelli architettonici e costruzione in stile

I *Quattro Libri dell'Architettura* di Palladio affiancano ai disegni ricostruttivi di antichi impianti monumentali i trattati di tecnica di progettazione nei quali si illustra-

no in pianta e prospetto edifici e fabbriche in corso d'opera. I volumi, stampati in Inghilterra con il titolo *Architetture di Palladio*, diffusero il misurato classicismo dell'autore, che fu agevolmente adottato come modello dalla cultura inglese in progetti impegnativi a Londra e in diverse altre città. Costruttori, capomastri, artigiani e giardinieri si giovarono delle indicazioni tecniche e delle immagini compositive anche nelle ricche e assai numerose residenze di campagna. La fortuna del modello palladiano durò a lungo fino a essere concepito come uno stile confrontabile con il neoromanico, il neogotico, il neoclassico non solo in Inghilterra e in Europa, ma anche nella nascente nazione degli Stati Uniti d'America.

L'attenzione al linguaggio classico rimase nelle grandi opere destinate a magnificare la potenza delle nazioni con l'esibizione di immense ricchezze provenienti dalle colonie di recente acquisizione, mentre nell'ambito urbano e nel territorio furono edificate magnifiche residenze e sviluppate attività organizzate su scala industriale.

Le rinnovate conoscenze scientifiche e tecnologiche consentivano ormai di affidare al calcolo matematico dimensione e comportamento dei materiali in uso per la costruzione di edifici e di progettare sistemi meccanici destinati a allargarne il campo di applicazione. Le stesse convenzioni geometriche basate sull'esperienza di precedenti architetture, cambiando di scala, misero in opera nuovi materiali affrancandosi dagli stili utilizzati ormai solo come decoro di superficie.

Un nuovo linguaggio metamorfico, sperimentato nella ricerca figurativa si venne affermando nell'architettura nel XIX e XX secolo, scomponendo immagini e colori, negando prospettive e rapporti, razionalizzando dimensioni e impianti geometrici. Si moltiplicarono così le costruzioni basate su semplificazioni dello spazio abitativo e di lavoro, con smisurati fuori scala degli edifici pubblici, residenziali, industriali. La qualità dello spazio urbano e architettonico non risiedeva più nell'equilibrio delle forme ma nella loro capacità di usare al massimo tutte le superfici e, nel migliore dei casi, di attirare con soluzioni innovative l'attenzione degli utenti.

La geometria dello spazio

Anche per la geometria sono state elaborate, nel frattempo, nuove convenzioni e dimensioni. L'impossibilità di dimostrare il V° postulato di Euclide non solo non escludeva la possibilità logica dell'esistenza di geometrie diverse, ma anche ammetteva la possibilità di calcolare, anche in questo campo, lunghezze, aree e volumi con i metodi della geometria analitica.

Si è così aperto uno spazio cosmico, mentre l'architettura, ben ancorata alla propria sede terrestre per adeguarsi ai vorticosi cambiamenti di funzioni elaborava nuovi modelli e nuove proporzioni ricercando spazi congruenti alle esigenze della comunità. Cognizioni tecnologiche e sostenibilità produttiva, ricerca scientifica e sperimentazione tecnologica, vennero così messe in contatto con il mondo della geometria astratta.

Le potenzialità, intuite dalla ricerca scientifica circa le sempre più ampie prospettive di conoscenza, furono impegnate nello sviluppo delle strumentazioni per l'esplorazione della geometria astratta dello spazio cosmico attraverso strumenti di calcolo sempre più veloci e complessi relativi alla misurazione delle distanze, alla traiettoria di orbite di rivoluzione e alla consistenza fisica dei pianeti.

La progettazione e realizzazione di moduli orbitanti, destinati a consumarsi nello spazio o al rientro alla base, ha richiesto sofisticati programmi di ricerca e calcolo per adattare alla geometria astratta dello spazio forme e materiali rispondenti agli obiettivi, influendo in modo significativo anche sulla produzione di macchine e sulla progettazione di componenti. Questo lungo processo storico e tecnologico porta oggi non solo a potersi servire di possibilità di calcolo sempre più estese e di materiali con sempre migliori prestazioni ma vincola anche il processo di progettazione a uno sviluppo dinamico nel quale lievi differenze nelle condizioni iniziali possono generare variazioni e evoluzioni temporali molto diverse.

Federigo Enriquez, professore ordinario di Geometria Algebrica a Bologna e Roma così definiva la geometria astratta: «la moltiplicazione dei nostri poteri intuitivi ... pare quasi che agli occhi mortali, … con cui è dato esaminare una figura sotto un certo rapporto si aggiungano mille occhi spirituali per contemplarne diverse trasfigurazioni, mentre l'unità dell'oggetto splende alla ragione arricchita che ci fa passare dall'una all'altra forma» (Enriquez, 1922: 138-141).

Dopo un secolo, le rinnovate conoscenze scientifiche e tecnologiche hanno aperto gli occhi spirituali anche sui progetti di architettura. Non si tratta infatti più di realizzare con sistemi computerizzati i disegni esecutivi tradizionali degli antichi manuali, né di adattare alla progettazione programmi destinati alla modellazione di oggetti spaziali, ma di esplorare e realizzare forme derivate da geometrie di ordine superiore secondo una nuova concezione sulla misura dello spazio. Lo studio della forma e delle parti che la compongono, non più bidimensionale ma direttamente volumetrico e spaziale, viene attuato tra infinite possibilità di concretizzazione, attraverso una scelta calcolata di elementi strutturali singolarmente predisposti e poi verificati nella loro consistenza materiale e nella loro collocazione d'insieme. Il compito di scomporre e ricomporre la forma nella sua interezza ancorandola al terreno, come nell'esempio in Figura 7, viene demandato, da remoto e secondo progetto, a macchine appositamente programmate.

L'architettura, non ancora concepita per essere inviata nello spazio, si avvicina alla rampa di lancio.

Gli occhi spirituali del mondo contemporaneo possono oggi compiere per via telematica quello che, con secoli di esperienza, compivano corporazioni di architetti e scultori nei cantieri delle cattedrali dove ciascuno conosceva forma e dimensioni di ogni pezzo da tagliare e trovava sulla pietra precedentemente montata il testimone per la nuova collocazione.

Fig. 7 – Rabat, Marocco: Gran Teatro, Zaha Hadid Architects, 2021.

Bibliografia di riferimento

Alberti L.B. 1435. *De pictura*. S.l.: s.n.

Alberti L.B. 1485. *De re aedificatoria.* Firenze: Nicolò di Lorenzo

Enriquez F. 1922. *Per la storia della logica. I principi e l'ordine della scienza nel concetto dei pensatori matematici*. Bologna: Zanichelli.

Palladio A. 1570. *I quattro libri dell'architettura*. Venezia: appresso Dominico de' Franceschi.

Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta

La porosità come strumento per la riscrittura della relazione tra struttura e spazio nei processi di trasformazione urbana

Porosity as a tool for rewriting the relationship between structure and space in urban transformation processes

Sommario
La recente vicenda della demolizione dell'edifico dell'ex Catasto in via de Gasperi a Napoli ha accesso un significativo dibattito circa il futuro delle opere di architettura moderna in disuso e non sottoposte ad alcuna forma di tutela. L'edificio, che fino a qualche anno fa ha ospitato uffici, caduto in abbandono è stato poi rivenduto e demolito per fare spazio a un nuovo complesso edilizio con un cospicuo numero di appartamenti privati. La vicenda si è prestata a numerose critiche che hanno riguardato la necessità di rivedere la demolizione come strumento di trasformazione urbana. Questo caso locale si avvicina ai tantissimi altri casi che continuamente in Italia e all'estero sono dibattuti per la necessità di adeguamenti funzionali e di manutenzioni. Questo contributo propone di riconsiderare la demolizione totale a favore di una strategia che utilizzi la porosità come strumento per riscrivere la relazione tra spazio e struttura. In particolare, gli edifici costruiti in epoca moderna, essendo caratterizzati dall'indipendenza del telaio strutturale dall'organizzazione spaziale, si prestano ad azioni di trasformazione attraverso parziali e controllate erosioni di parti dell'edificio. Distinguendo la struttura dall'organizzazione spaziale è possibile produrre porosità all'interno dell'edificio. Alla parziale e progressiva decostruzione di porzioni dell'edificio corrisponde la possibilità di costruire nuove relazioni tra le parti, tra l'edificio stesso e la città, con nuove possibilità visive e spaziali. Il tema della porosità come strumento per la riscrittura della relazione tra struttura e spazio viene affrontato attraverso questioni teoriche, con commenti e riletture di testi di riferimento, e attraverso sperimentazioni progettuali su casi studio.

Abstract
The recent demolition of the former Cadastral Building in de Gasperi street in Naples sparked off an important debate about the future of un-used and not-listed modern buildings. The former Cadastral Building, which until a few years ago hosted

offices, fell into neglect and then was sold and demolished to make a new building complex with a great number of private apartments. The sad end of the building was accompanied by various criticisms concerning the need to review the demolition as a tool of urban transformation. This local demolition example is close to many other cases debated over and over in Italy and abroad due to functional revisions and maintenance transformations. This paper reconsiders the total demolition in place of a strategy that uses porosity as a tool to rewrite the relationship between space and structure. In particular, the buildings built in the modern age, characterized by the independence of the structural frame from the spatial organization, are appropriate to be renovated through partial and controlled erosions of building parts. The topic of porosity is addressed through theoretical issues, with analysis and comments of texts and through design solutions on specific case studies.

Introduzione

Negli ultimi anni sono sempre più frequenti le campagne mediatiche per salvare architetture realizzate nel secolo scorso minacciate di trasformazioni o demolizioni. Ogni storia, nella sua specificità, riaccende il dibattito circa il futuro delle opere di architettura non sottoposte a tutela.

Numerose critiche sono rivolte alla necessità di rivedere la demolizione come strumento di trasformazione urbana con un risvolto esclusivamente economico che non tiene in conto del valore, dello stato di conservazione, dell'uso originario, del ruolo urbano e dello specifico valore identitario di ogni singola opera all'interno della città. Trasformazione e demolizione sono due poli opposti di processi urbani che contemplano condizioni ed interessi diversi, spesso divergenti, e che incidono significativamente sulla vita dei cittadini e sulla città in generale. Le demolizioni in particolare sono sempre più associate a una specifica tipologia di patrimonio costruito che ha difficoltà a essere riconosciuta, perché spesso si tratta di architetture che rientrano nella sfera urbana dell'ordinario. Anche quando diventano oggetto di interesse, le proposte di trasformazione restano su carta e sono portate a compimento solo le operazioni che riescono ad essere economicamente vantaggiose. Eppure ci sono tanti edifici che potrebbero sembrare anonimi ma che hanno invece un ruolo urbano, identitario o funzionale importante per la comunità e che hanno grandi potenzialità di trasformazione urbana. Valutare gli aspetti positivi dell'edificato esistente e di possibili trasformazioni risulta sempre più difficile in una logica urbana che non guarda alla città nel suo insieme, ma piuttosto al vantaggio della singola proprietà.

La demolizione come strumento di trasformazione urbana può essere messa in discussione da una cultura del progetto che sappia contrastare la politica del massimo rendimento economico attraverso soluzioni concrete e guardando con creatività al riuso dell'esistente. In particolare, le politiche e i processi di trasformazione urbana

devono guardare alla città non per sommatorie di singoli edifici, ma come un sistema di relazioni complesso fatto di edifici pubblici, residenze, spazi aperti, parchi, giardini e strade. La sfida attuale consiste nel riconoscere il valore del patrimonio esistente e valorizzarlo guardando all'interno dei meccanismi urbani esistenti.

Piuttosto che promuovere una conservazione *tout court* è dunque necessario aprire il progetto a una visione multidisciplinare che sappia controllare i temi della trasformazione attraverso la promozione di nuove e più significative condizioni spaziali e urbane da conquistare.

I grandi centri urbani oggi sono caratterizzati da una grande compattezza del costruito dovuta anche alle politiche di urbanizzazione che hanno sempre guardato alla massimizzazione dell'uso dello spazio. In questo senso il sistema costruttivo ereditato dall'epoca moderna ha accompagnato questo processo agevolandolo con la sua versatilità. Il sistema strutturale composto da solai e pilastri ha semplificato il mondo delle costruzioni, garantendo una certa libertà nelle soluzioni adottate. La città contemporanea, così come ereditata dal passato, è oggi una città in cui gli edifici hanno caratteri, forme e dimensioni diversificate pur utilizzando lo stesso sistema costruttivo che è nascosto da rivestimenti e paramenti.

Questo contributo propone di riconsiderare l'abbattimento totale degli edifici a favore di una strategia che utilizza la demolizione parziale come strumento per riscrivere la relazione tra spazio e struttura. In particolare, gli edifici costruiti in epoca moderna, essendo caratterizzati dall'indipendenza del telaio strutturale rispetto all'organizzazione spaziale, si prestano ad azioni di trasformazione attraverso parziali e controllate erosioni di parti dell'edificio, portando alla luce la struttura dell'edificato. Distinguendo la struttura dall'organizzazione spaziale è possibile produrre vuoti e nuove possibilità di spazio all'interno dell'edificio. Alla parziale e progressiva decostruzione di porzioni dell'edificio corrisponde la possibilità di costruire nuove relazioni tra le parti, tra l'edificio stesso e la città, con nuove possibilità visive e spaziali. La demolizione parziale è studiata come un processo che progressivamente erode parti di costruito. Da un punto di vista teorico è vicina all'idea della porosità, sia perché crea vuoti e interruzioni nella compattezza della materia, sia perché si costruisce nel tempo secondo fasi graduali.

All'interno della riflessione sulle demolizioni urbane e sulla porosità diviene centrale il riferimento alla città di Napoli, legata all'immagine di città porosa attraverso il racconto di Walter Benjamin e Asja Lacis (Benjamin e Lacis, 2007). È a partire dalla grande compattezza di parti del suo tessuto urbano, che la città è osservata come un grande laboratorio dove progetti di ieri e proposte di oggi si confrontano in un dialogo che se da una parte riflette su questioni teoriche e storico critiche che hanno comportato la grande densità urbana della città di oggi, dall'altra propone sperimentazioni di progetto che utilizzano la densità urbana come tema per la trasformazione dell'esistente.

Porosa come la pietra è questa città: appunti da e su Napoli

L'analogia tra la città e il materiale con cui è costruita, il tufo, con il suo caratteristico colore giallo e il suo aspetto cavernoso, ha ispirato la Napoli moderna, costruendo continuità con l'antico e con la sua tradizione costruttiva. L'immagine di città porosa si deve al citato racconto su Napoli di Walter Benjamin ed Asja Lacis che ha avuto una grande influenza sulla città. I due autori, da osservatori esterni, hanno saputo raccontare meglio di altri la relazione di scambio tra natura geografica, antropologica e materiale della città partenopea.

L'occasione del racconto su Napoli coincide con il soggiorno dei due autori nel 1924 sull'isola di Capri, da dove si recano nella città partenopea per osservare i suoi spazi e i suoi abitanti.

All'immagine della città confusa e anarchica si intervallano riflessioni che entrano nel profondo della sua anima a partire dalla sua materia, la porosità della pietra con cui è costruita. Secondo i due autori, i viaggiatori che sono stati a Napoli hanno raccontato la città con descrizioni fantastiche e colorate, ma in realtà la città è grigia. Vista all'ora di sera, verso il crepuscolo, dal punto più alto della collina di San Martino, essa appare morta, senza vita: «un tutt'uno con la roccia». Oltre una sottile striscia di terra sulla costa, le case irrompono sulla parte collinare della città che si affaccia sul golfo come «grandi casermoni, di sei sette piani che si arrampicano dalle fondamenta, che in confronto alle ville appaiono grattacieli». Nel basamento della roccia sono scavate grotte usate come cantine, depositi e ricoveri delle barche. La notte le grotte si illuminano di luci e suoni. Nelle osterie ricavate nelle rocce forse si intrattengono i pescatori prima di andare a lavoro. La città si caratterizza per la compresenza di parti costruite per addizione e di parti, al contrario, ricavate per sottrazione di materiale dalla compattezza della geografia naturale dei luoghi fatta di promontori, colline e rocce.

«Il viaggiatore, che fino a Roma, come un lungo steccato, procede a tastoni da opera d'arte ad opera d'arte, a Napoli prova un senso di disagio». Nella città partenopea non puoi trovare così facilmente i suoi tesori, perché chiusi o perché nascosti. Non riesci ad orientarti facilmente. Osservi la cupola di una chiesa, la segui con lo sguardo ma non riesci a capire da dove poterci accedere. «Impossibile distinguere la massa della chiesa dagli edifici civili attigui», scrivono gli autori. La città non distingue spazio interno di una casa e spazio pubblico di una strada o di una chiesa. Allo spazio sacro accedi attraverso una soglia delimitata solo da una semplice tenda, ma quando entri al suo interno senti forte il contrasto con lo spazio esterno. La sequenza strada - casa - luogo sacro - cortile costruisce un ritmo spaziale e urbano singolare per uno straniero per cui «dalla confusione dei cortili sporchi ci si trova trasportati nella pura solitudine dell'ambiente alto ed imbiancato di una chiesa».

La città è percepita come un luogo scandito da sequenze e ritmi diversificati composti da contrasti di luci e ombre, spazi alti e spazi bassi, grandi e piccole dimensioni.

A Napoli l'interiorità esplode e si riversa fuori dalle case, lungo le strade, nei

vicoli e nelle piazze. Non solo non c'è un limite tra interno ed esterno, ma c'è una completa compenetrazione tra le parti che caratterizza anche i comportamenti privati che «sono inondati di vita comunitaria». La casa infatti è descritta non come il luogo in cui le persone si ritirano e si rifugiano, ma piuttosto «il serbatoio da cui escono a fiotti». In strada si ricostruisce l'ambiente domestico con il suo focolare e allo stesso tempo, come rovescio della medaglia, la strada penetra all'interno delle case. Proprio nei quartieri più poveri «la miseria ha provocato una dilatazione dei confini che è immagine speculare della più radiosa libertà di spirito». Una delle caratteristiche urbane della città partenopea è la continuità che si crea tra lo spazio interno e lo spazio esterno, che annulla l'idea di soglia e di limite determinando una condizione di compenetrazione.

La compenetrazione che definisce la relazione tra il privato e il pubblico è alla base del processo di costruzione della città. «Costruzione ed azione si compenetrano in cortili, arcate e scale», andando a caratterizzare la città in perenne trasformazione. Napoli diviene in questo modo una fabbrica aperta dove niente è definitivo e da ritenersi concluso, dove «nessuna forma dichiara il suo "così e non diversamente"».

La città si stratifica per azioni successive che piuttosto che sovrapporsi si fondono l'una all'altra, costruendo un dialogo di continuità tra epoche e stili. La porosità diventa «la legge che questa vita inesauribile fa scoprire». «Balcone, ingresso, finestra, passo carraio, scala e tetto fanno contemporaneamente da palco e da scena», la città, con i suoi cantieri non finiti, è infatti un gran teatro all'aria aperta.

Il racconto sottolinea come la città è vissuta attraverso i suoi spazi intermedi, luoghi dove le persone trascorrono la loro quotidianità. Questi spazi non sono completamente determinati a priori, non sono completamente privati o pubblici, non sono tutti aperti o tutti chiusi; si tratta piuttosto di luoghi dove si verificano condizioni intermedie.

Il racconto di Benjamin e Lacis ha legato in maniera indissolubile la città alla porosità, definendola come propensione sociale e culturale, ma soprattutto descrivendo immagini nitide dei luoghi e delle situazioni spaziali in cui la porosità si determina come spazio urbano. Ma la porosità non è solo caratteristica del progetto urbano, definisce piuttosto un insieme di regole di relazione tra parti che si verifica alla piccola e alla grande scala dell'architettura.

Laboratorio Napoli: learning from porosity

La metafora della porosità è utilizzata dai due autori (Benjamin e Lacis, 2007) per spiegare l'essenza di Napoli e questa strana resistenza che la città oppone al cambiamento, alla modernità (LAN, 2021). La porosità di Napoli si riferisce alla città, alla sua geografia territoriale, ed è intesa anche come radice, la pietra di tufo, la materia con cui la città è costruita. Il tema della porosità caratterizza l'edificato tradizionale di Napoli per le relazioni profonde che si creano tra la materia, il tufo, e lo spazio a partire dalla sottrazione del materiale dalla sua radice, l'estrazione dalla sua cava.

Questo processo a Napoli ha assunto tradizionalmente caratteri peculiari dovuti a una condizione di sostanziale coincidenza tra cava e cantiere. Nella parte più antica della città partenopea, infatti, ogni palazzo aveva un pozzo all'interno della corte che veniva usato come cava di materiale da costruzione. Il cantiere non era distante dalla cava, ma addirittura il materiale veniva reperito dalle fondamenta del luogo e utilizzato per costruire in superficie. La storia di Napoli può essere considerata quindi come la costruzione di una città per progressivi scavi che mano a mano hanno determinato la sua forma urbana.

Questo processo di sottrazione ed estrazione della materia non solo racconta di un uso antico di costruire la città di Napoli, ma caratterizza anche alcuni importanti spazi e progetti nel contemporaneo, come, ad esempio, il Cinema Metropolitan, opera dell'architetto Stefania Filo Speziale. Qui lo spazio per le proiezioni, il più grande d'Italia al momento della sua realizzazione, nel 1948, è ricavato all'interno delle cavità del sovrastante Palazzo Cellamare, adibite negli anni a rifugio antiaereo e a deposito. Progetti significativi come questo della Filo Speziale, uniti ai racconti di città di Benjamin a Lacis, sono stati negli anni pretesti per occasioni di riflessioni sulla geografia naturale e urbana della città.

Negli anni '80 del secolo scorso, attraverso il Laboratorio Internazionale Napoli Sotterranea, si è aperto un dibattito intorno al progetto degli spazi di cavità che ha coinvolto progettisti come Paolo Portoghesi, Mario Botta, Carlo Aymonino, Aldo Rossi, Manuel Di Solà-Morales e Marco Zanuso con Eduardo Vittoria. Più che la ricerca di una soluzione specifica il Laboratorio ha rappresentato un momento di riflessione sulla forma della città, sul senso delle sue cavità, con possibili aperture verso usi contemporanei di questi spazi (Pozzi e Di Pace, 1988; De Fusco, 1996). Il tema specifico della porosità è stato inoltre alla base delle conversazioni sulla città curate dal giornalista Claudio Velardi in cui sono stati coinvolti personaggi del mondo culturale della città come il registra Mario Martone e lo scrittore Gustaw Herling. In questa occasione l'architetto Francesco Venezia ha sottolineato quanto sia importante per l'identità della città partenopea l'armonia tra geografia naturale e geografia costruita. In particolare, l'associazione tra le radici delle parole madre e materia sembra evidenziare la relazione tra la pietra tufacea e porosa di Napoli come madre dell'architettura e della città stessa (Velardi, 1992).

Opposta alla città sotterranea c'è poi la parte di città che emerge in superficie. La città che sale è caratterizzata da complessi residenziali a più piani realizzati in pieno boom edilizio durante la seconda metà del Novecento. La geografia urbana della città non ha mai permesso che si ripartisse da zero, piuttosto la città è stata costruita attraverso aggiunte temporali e compenetrazioni. In particolare, la collina del Vomero è stata progressivamente occupata da edifici residenziali a più piani, uno dei quali è comunemente chiamato "muraglia cinese", per sottolineare la continuità e la compattezza dell'edificato in questa parte di città. Nel film di Francesco Rosi

del 1963, Le mani sulla città, che racconta appunto della delinquenziale gestione delle politiche urbane a Napoli nella seconda metà del ‘900, sono presenti numerose sequenze che indugiano sulla costruzione e sui cantieri di questo quartiere, in cui gli edifici sono come su palafitte conficcate nel paesaggio.

Il collegamento tra la parte alta della città, appunto il Vomero, e la parte bassa, il centro storico, avviene attraverso Corso Vittorio Emanuele che è una strada realizzata intorno alla metà dell’800 e che in parte è tracciata assecondando le linee sinuose della collina. Ai bordi della strada la città è cresciuta con lo sviluppo di diversi complessi residenziali. Come ricorda De Fusco, per questa strada vigeva un regolamento risalente all’epoca borbonica che definiva misure e distanze dalla strada e in particolare vietava agli edifici prospicienti la strada di assumere altezze tali da negare la vista del golfo dalla strada stessa. Questo ha comportato la nascita dei cosiddetti “grattaterra”, particolari grattacieli napoletani «il cui sviluppo verticale non va verso l’alto (come il grattacielo), bensì dal filo della strada verso il basso» (De Fusco, 1996). I grattaterra utilizzano la differenza di quota tra strade: presentano un ingresso nella parte alta, dove la facciata ha una altezza minima, mentre sul fronte opposto sono organizzati su piani orizzontali, godendo di ampie viste panoramiche sul golfo.

Tra i grattaterra, il Palazzo della Morte, progettato da Stefania Filo Speziale nel 1957, è particolarmente significativo per la soluzione adottata che in parte utilizza il salto di quota decostruendo l’edificio in più corpi, poi ricollegati da giardini e passerelle pedonali a più altezze (Burrascano e Mondello, 2014). La decostruzione dell’edificio, che da unità a tutta altezza si divide in più parti, permette all’architetto di costruire un ruolo significativo per gli spazi aperti che diventano un’estensione dello spazio urbano. I tetti e i terrazzi degli appartamenti sono la quinta facciata di questa architettura (De Fusco, 1996). La soluzione spaziale, attraverso un lavoro di controllo sulla porosità dell’edificato, definisce nuove tipologie di relazioni tra parti chiuse e aperte e soprattutto tra la geografia naturale del luogo e il tessuto urbano esistente di questa parte di città.

La città di Napoli è stata un laboratorio urbano con una forte continuità tra passato e presente e le sue diverse identità a partire dal creare spazi scavando ed erodendo i banchi di tufo della sua geografia naturale. Questo processo di sottrazione e addizione urbana portato all’estremo ha prodotto una città che è oggi sempre più compatta e chiusa nella sua geometria urbana. All’interno della morfologia urbana e delle forme esistenti della città ci si interroga sulle possibilità di trasformazione per l’edificato esistente a partire dalle sue componenti essenziali e dalle caratteristiche specifiche.

Riflessioni sulla trasformazione della città compatta a partire dall’analisi del sistema costruttivo della Maison Dom-ino di Le Corbusier

Le aree a grande sviluppo urbano del dopoguerra, quali quelle di Napoli, ma anche di molte altre città cresciute durante il boom edilizio degli anni ’60, sono caratteriz-

zate da una forte compattezza e dalla mancanza di spazi comunitari e di servizi. Per risolvere tali problematiche è necessario l'inserimento di vuoti urbani, sia all'interno degli edifici che nella relazione tra questi. In risposta alle esigenze specifiche, i nuovi vuoti dovranno rispondere alle necessità di spazi comuni, così come potranno aprire viste e passaggi connettivi. La porosità, ovvero un processo di erosione urbana, può dunque risolvere, se opportunamente studiata, questioni architettoniche e urbane.

Se il processo della porosità commentato da Benjamin per Napoli partiva dal materiale di cui è costituita la città, il tufo, lavorare nella città costruita del secondo dopoguerra con l'obiettivo di studiare processi di erosione urbana conduce al confronto con il materiale, il cemento armato, con il quale in modo prevalente sono stati realizzati edifici e quartieri negli anni del boom edilizio. L'indipendenza strutturale tra la griglia di pilastri e travi con le superfici orizzontali dei solai e con quelle verticali dei divisori interni, così come dai tompagni di facciata, rende possibile l'inserimento di vuoti al piano terreno come ai piani superiori con limitate difficoltà costruttive ed economiche e al contempo con possibilità di radicali trasformazioni architettoniche e conseguentemente urbane. Innescare un processo di erosione condurrà a uno smontaggio dell'edificio nelle sue parti e a una rivisitazione della relazione tra spazi e struttura.

La riflessione sulla relazione tra architettura e struttura in cemento armato trova come principale referente il progetto di Le Corbusier della maison Dom-ino (1914-15), in Figura 1, sviluppato per la realizzazione di edifici abitativi nei processi di ricostruzione, definito nella relazione tra spazio domestico, Domos, e processi innovativi, Innovazione.

Il disegno assonometrico della soluzione con il sistema strutturale dei 6 pilastri e dei 3 piani di solaio, di cui il primo staccato dal terreno attraverso i 6 appoggi e tutti in collegamento grazie alla scala a due rampe, è come l'immagine emblematica dell'architettura dell'era del cemento armato. Più che solo un sistema costruttivo da applicare per incentivare la produzione di massa, è divenuto un'icona che stabilisce il punto di partenza e le nuove possibilità dell'architettura grazie al cemento armato. Eppure il disegno, semplicissimo e quasi astratto, è del tutto privo di architettura. Quasi dieci anni più tardi Le Corbusier svilupperà i suoi famosi 5 punti dell'architettura che esplicitano le conseguenze in architettura della struttura in cemento armato, fissando caratteristiche spaziali e di linguaggio. Se Dom-ino parla solo della struttura, i 5 punti parleranno solo di architettura. Nonostante ciò il disegno Dom-ino, proprio per quel carattere di essenzialità e semplicità brutalista, è stato capace di divenire archetipo, paragonato alla capanna di Laugier per l'epoca moderna.

Il disegno Dom-ino è stato oggetto di numerose riflessioni da parte di studiosi e architetti, sia dal punto di vista storico e archivistico, da parte di storici e conoscitori dell'opera di Le Corbusier, che a livello teorico-critico e nelle implicazioni nel contemporaneo. Numerosi sono i testi intorno alla Dom-ino, a partire dagli articoli pubblicati alla fine degli anni '70 in *Oppositions* fino ai numerosi confronti avvenuti in

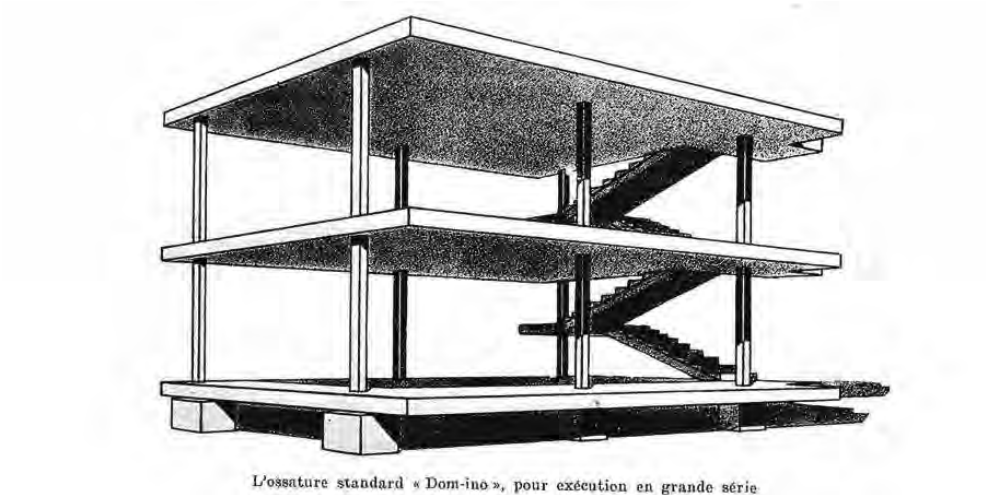


Fig. 1 – Vista prospettica del sistema Dom-ino (Le Corbusier e Jeanneret, 1929).

occasione de La Biennale di Architettura del 2014 con la realizzazione della maison Dom-ino in scala reale a Venezia e con il convegno "Dom-Ino Effect". all'Architectural Association School of Architecture di Londra. Eppure Dom-ino resta, anche dal punto di vista degli storici, un po' un enigma (Cohen, 2014).

Il progetto prevede 6 pilastri che sono disegnati a sezione circolare in uno schizzo, ma risultano poi a sezione quadrata nello schema assonometrico. I pilastri sono arretrati rispetto al limite del solaio e dunque rispetto alla facciata e sono posti a un interasse di 4,20 metri, studiato in relazione alle diverse possibilità distributive dell'interno. Le travi, in acciaio a doppio T, sono inserite nel pacchetto del solaio. La mancanza di travi a vista, insieme alla soletta costituita da parti portanti e portate, definisce il sistema Dom-ino come non espressamente tettonico e introduce una ambiguità strutturale, tale da mettere in crisi la sua definizione di capanna primitiva dell'epoca moderna. L'intradosso liscio del solaio, la posizione di arretramento dei pilastri e la scala adiacente al limite del solaio esaltano la dimensione orizzontale. La Maison Dom-ino si presenta quindi essenzialmente come una sovrapposizione di piani opportunamente distanziati e sorretti da pilastri.

Le misure sono studiate secondo proporzioni tra le parti: «un ritmo palaziale, una tranquillità Pompeiana» scrive Le Corbusier nella sua lettera ad Auguste Perret cui presenta il progetto al fine di riceverne consigli (Cohen, 2014). Nella stessa lettera Le Corbusier enfatizza come il progetto derivi dallo studio delle possibilità del cemento armato: «Il cemento armato mi ha fornito risorse incredibili e affascinante plasticità in sé e per esso stesso»[1].

Il solaio presenta una parte mancante, un vuoto angolare, che invita alla connessione tra le diverse unità. Il termine Dom-ino è infatti riferito anche al gioco del domino che prevede l'accostamento delle pedine rettangolari in adiacenza o perpendicolarmente l'una rispetto all'altra. I disegni prospettici preparati da Le Corbusier mostrano diverse combinazioni e possibili realizzazioni; seppure non chiariscano le modalità di connessione e di aggregazione tra i moduli, suggeriscono diverse possibilità e varietà. Riportano facciate di tipo tradizionale, ovvero con muri finestrati e pilastri inclusi nel paramento di facciata.

Il processo di costruzione era studiato per coinvolgere sia le imprese locali che la produzione su larga scala usando un sistema di standardizzazione. Il sistema era infatti misto: l'impresa avrebbe gettato in opera usando un sistema standardizzato di solaio che sarebbe stato fornito dall'azienda; imprese locali avrebbero poi realizzato le partizioni e i diversi componenti dei serramenti e così via. I privati avrebbero potuto entrare nel processo: ognuno poteva costruire la propria casa a proprio piacimento (Le Corbusier e Jeanneret, 1929).

Dom-ino rappresentava quindi la soluzione di un sistema economico oltre che costruttivo, proponendosi come metodologia di intervento e modo di ricostruire le città. La facilità di applicare il sistema costruttivo in modo ripetitivo e al contempo con il coinvolgimento dei proprietari e delle imprese locali, oltre che dei grandi produttori di parti standardizzate, avrebbe innescato un laboratorio per la città.

La Maison Dom-ino definisce un processo di costruzione della città attraverso la combinazione di elementi; alla soluzione architettonica definita, oppone una logica di intervento e relazione delle parti dalle quali si innesca un sistema per pianificare quartieri e brani di città. Essa mostra le nuove potenzialità dell'architettura e della città a partire dalle nuove opportunità strutturali e induce a considerare l'architettura come processo di crescita e di combinazione di elementi. L'astrattezza e forza del disegno Dom-ino è dunque nel suo rappresentare e contenere in sé una molteplicità di soluzioni urbane e diverse possibilità aggregative, invitando a un processo di costruzione della città. L'assenza di architettura che appare così fortemente evidente nel semplice disegno e al contempo il suo significato in relazione allo sviluppo urbano, conduce ad intendere l'architettura essenzialmente come processo, piuttosto che legata a definite soluzioni spaziali.

Il sistema Dom-ino, in quanto basato sull'uso del cemento armato e attivato con un coinvolgimento dei privati, è stato accostato allo sviluppo intensivo ad iniziativa individuale e privata, che caratterizza l'edilizia senza qualità del secondo dopoguerra. Così si è detto che dalla Dom-ino si è arrivati alle *polykatoikia*, gli edifici multipiano per le abitazioni del ceto medio di Atene, che hanno riempito ed esteso la città in assenza di pianificazione urbana (Aureli, 2014), o agli scheletri dismessi degli edifici incompleti o abusivi che caratterizzano il paesaggio dell'abbandono italiano, mostrati nel video "*99* dom-ino" dello studio Space Caviar a Monditalia, La Bien-

nale di Venezia 2014. Dom-ino è divenuta il simbolo delle conseguenze negative del cemento armato nelle città e dell'estrema riduzione dell'architettura fino al suo stesso annullamento. Pensiamo che la Dom-ino si differenzi da tali esempi non solo per lo studio accurato delle parti con proporzioni e misure che controllano a partire dalla struttura il possibile sviluppo dell'architettura, ma, soprattutto, per proporre un sistema urbano che anche se non regolamentato da un disegno di pianificazione è il risultato di regole combinatorie e sistemi di relazioni, quelli che associano il progetto alle pedine con i pallini del gioco del domino con le diverse disposizioni associative.

Lo studio di aggregazioni, l'invito alla ricerca di soluzioni e a un processo trasformativo e generativo è insito nella concezione Dom-ino. Assumere oggi la forza del progetto Domi-no per le condizioni contemporanee di parti della città che necessitano di essere trasformate e che si intende trasformare attraverso la porosità, induce ad accogliere l'invito a innescare un processo. È un processo che, come il gioco del domino, potrebbe inserirsi nella città costruita in modo analogo ma alternativo alla costruzione, aggiungendo vuoti, spazi di passaggio, giardini sopraelevati, connessioni tra le parti, o semplicemente rivelando il funzionamento interno degli edifici, traendo vantaggio delle potenzialità della struttura in cemento armato e dunque dell'indipendenza costruttiva tra le diverse parti, restituendo sezioni e spaccati di città. È un processo di erosione ma che piuttosto che di demolizione parziale diventa, attraverso la concezione Dom-ino, decostruzione e smontaggio, creazione di vuoti in coerenza con la struttura e con il sistema costruttivo.

La porosità come strategia di trasformazione urbana. Il caso studio del palazzo dei Veterani

La porosità può essere usata come strategia di trasformazione urbana nelle aree a forte congestione per risolvere connessioni, liberare viste e, più in generale, per trasformare edifici in opportunità di nuovi spazi per la città. Il cemento armato e la tecnologia costruttiva a esso connessa se hanno reso possibile lo sviluppo caotico e veloce di aree urbane nel secondo dopoguerra in Italia e altrove, oggi possono rappresentare un vantaggio ai fini di trasformazioni che possono avvenire a partire dall'indipendenza della parte strutturale da quella d'uso. Dalla trasformazione di un singolo manufatto si può arrivare fino al coinvolgimento di brani di città più ampi, aree oggi congestionate e che possono tornare a respirare creando occasioni di spazio.

La strategia di trasformazione a partire dal processo di erosione urbana è stata sperimentata sul caso studio del Palazzo dei Veterani nel quartiere di Chiaia a Napoli, in un'area dove la città è cresciuta per progressive addizioni aggrappate alla collina che è andata mano a mano scomparendo sotto lunghe cortine di edifici. Si tratta di un progetto di concorso organizzato dal centro di ricerca e galleria Storefront for Art and Architecture di New York dal titolo *Taking Buildings Down*, che richiedeva di affrontare la questione della demolizione all'interno del progetto di architettura,

sulla base di una scelta libera dell'area di studio. La proposta presentata (Como et al., 2017), in alternativa alla demolizione totale, prevede un processo di erosione progressiva che accompagna la trasformazione architettonica, con una strategia di intervento che ha i caratteri della porosità benjaminiana.

Il palazzo dei Veterani è un complesso di edilizia residenziale pubblica realizzato negli anni '60 all'interno di una corte del Seicento che ospita un edificio religioso, il complesso di Santa Maria di Betlemme. I suoi dieci piani hanno creato un'ostruzione visiva, interrompendo la sequenza graduale degli edifici lungo la collina verso il mare. La sua geometria è inoltre ruotata rispetto alla maglia urbana e dunque anche rispetto alla corte seicentesca in cui si inserisce in modo violento, fino a quasi toccare parti del complesso seicentesco. Il palazzo è infatti divenuto un famoso caso di prevista demolizione che per difficoltà economiche e attuative non è stata poi portata avanti. Attualmente l'edificio versa in uno stato di degrado e nonostante sia localizzato in un quartiere centrale della città, è vissuto come luogo poco sicuro e separato dal quartiere a causa della scarsa visibilità degli spazi e degli accessi limitati e quasi nascosti. La proposta ha escluso la demolizione totale non solo perché troppo onerosa per essere attuata, ma anche perché avrebbe elevati costi sociali, tra cui la dislocazione di circa cinquanta famiglie che occupano gli edifici e il conseguente verificarsi del fenomeno della gentrificazione. Attraverso l'operazione di erosione, la proposta mira a ristabilire quella continuità orografica che l'edificio degli anni sessanta del Novecento ha interrotto, a riaprire le viste verso il mare e a costruire nuove connessioni urbane creando continuità tra i piani terra dell'edificio svuotati, la corte seicentesca e le strade. La sequenza urbana è progettata per proiettare l'interiorità della corte verso la città e allo stesso tempo per creare un dialogo, oggi negato, tra l'edificio moderno e la corte la cui vicinanza diviene occasione per creare percorsi anche ai livelli superiori sfruttando le coperture come spazi urbani a quote più alte, come mostrato in Figura 2.

La demolizione attraversa poi i piani superiori del palazzo, creando mix funzionali utili anche per rendere l'operazione sostenibile da un punto di vista economico e commerciale. La proposta prevede infatti di conservare alcune unità residenziali e di rendere altri spazi liberi prevedendone usi differenziati. Si tratterebbe ad esempio di mettere in vendita spazi a uso commerciale particolarmente appetibili localizzati in una zona particolarmente centrale e ben collegata e caratterizzati da ampie viste panoramiche sul golfo. Le trasformazioni con demolizioni parziali potrebbero inoltre essere guidate da un protocollo che supervisioni l'intero processo, dividendolo nel tempo. Le operazioni possono essere realizzate in momenti diversi e la trasformazione avvenire per passi progressivi, in modo da rendere l'operazione sostenibile economicamente perché supportata dalle entrate economiche di affitti e di vendite delle parti di edificato già in uso.

L'erosione urbana è un processo che interessa parti del costruito ma che viene interpretata rispetto al caso specifico per valorizzare le potenzialità di trasformazione

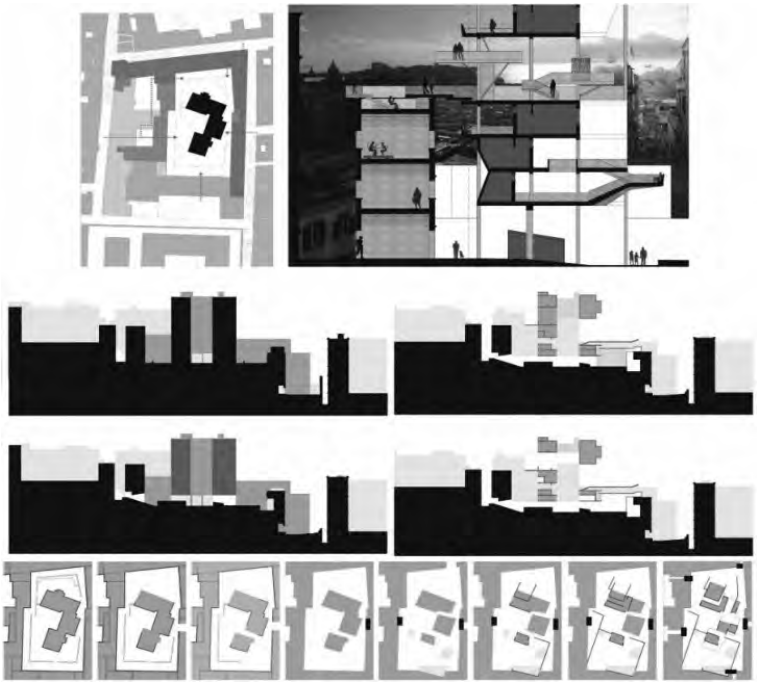


Fig. 2 – Proposta progettuale per Palazzo dei Veterani.

dei luoghi da un punto di vista edilizio ed urbano. Dal caso studio del Palazzo dei Veterani lo studio potrebbe essere esteso a brani di città compatta in cui l'erosione potrebbe comprendere più edifici e creare collegamenti e relazioni tra le parti.

Conclusioni

Nel progetto contemporaneo la porosità assume ancora un ruolo importante. Steven Holl, nell'elencare i principi su cui si basa la sua idea di "Urbanismo", definisce come caratteristica essenziale della città contemporanea: «Non è interessandosi alle forme scultoree di oggetti isolati, ma è attraverso l'esperienza del fenomeno delle "sequenze spaziali", intorno e in mezzo a loro, che scaturiscono le emozioni», sottolineando dunque il legame tra la percezione dello spazio urbano e la porosità (Holl, 2010). La necessità di creare più vuoti urbani e spazi intermedi è stata evidenziata anche negli ultimi anni, durante i quali le difficili condizioni cui ci ha costretto la pandemia, hanno messo in discussione la forma della città e la sua densità. Come ha scritto Richard Sennett: «per prevenire o inibire future pandemie, potremmo avere bisogno di trovare diverse forme fisiche di densità, che permettano alle persone di comunicare, di vedere i vicini, di partecipare alla vita di strada, anche se costrette a

separarsi temporaneamente» (Sennet, 2020). C'è dunque la necessità di rivedere e di ripensare la città, la sua forma, i suoi spazi urbani e la loro relazione con la vita degli abitanti, a partire dalla scala del quartiere.

La trasformazione della città attraverso processi di parziale demolizione urbana può offrire possibilità di ripensare alla città compatta dal suo interno, attraverso l'osservazione del suo patrimonio costruito. Creare dei vuoti nella città guardando alla porosità può guidare una rivoluzione urbana lenta, da costruire nel tempo, negoziata considerando tutti gli interessi. Porosità urbana non può essere il solito slogan o la soluzione last minute o low cost per risolvere i problemi della città, ma piuttosto deve essere aspirazione per costruire soluzioni innovative e inclusive per migliorare lo spazio delle città.

Bibliografia

Aureli P.V. 2014. The Dom-ino Problem: Questioning the Architecture of Domestic Space. Log, 30, 153-68.

Benjamin W., Lacis A. 2007. Napoli. In: *Immagini di città* (a cura di W. Benjamin). Torino: Giulio Einaudi Editore.

Burrascano M, Mondello M. 2014. *Lo Studio Filo Speziale e il modernismo partenopeo. Palazzo Della Morte*. Napoli: Clean Edizioni.

Cohen J.L. 2014. The Dom-ino Intrigue. Log, 30, 122-137.

Como A., Santangelo V., Smeragliuolo Perrotta L., Vece C. 2017. Napoli città porosa. Strategie per un processo di valorizzazione del paesaggio urbano e naturale della città. In: *La Baia di Napoli. Strategie integrate per la conservazione e la fruizione del paesaggio culturale* (a cura di A. Aveta, B.G. Marino, R. Amore). 375-378. Napoli: Editore artstudiopaparo s.r.l.

De Fusco R. 1996. *Storia, progetti e «parole» su Napoli. Scritti brevi (1979-1996)*. Napoli: Fausto Fiorentino Editore.

LAN. 2021. *Napoli Super Modern*. Macerata: Quodlibet.

Holl S. 2010. *Urbanisms. Lavorare con il dubbio.* Melfi: Libria.

Le Corbusier J.P. 1929. *Oeuvre complète, volume 1, 1910-1929* (a cura di W. Boesiger e O. Stonorov). Zurich: Les Edition d'Architecture.

Pozzi P., Di Pace M., 1988. *Laboratorio internazionale Napoli sotterranea*. Napoli: CUEN.

Sennet R. 2020. Come dovremmo vivere? La densità nelle città del post-pandemia. Domus, 1046, 13-15.

Velardi C. 1992. Il deserto, il corpo, il sottosuolo. Conversazione con Francesco Venezia. In: *La città porosa. Conversazioni su Napoli* (a cura di C. Velardi). Napoli: Edizioni Cronopio.

Note

1. «Reinforced concrete has provided me with incredible resources, and fascinating plastic in and of itself». Traduzione a cura delle autrici.

Claudio D'Ambra, Gian Piero Lignola, Andrea Prota

Valutazioni numeriche preliminari della risposta sismica di strutture murarie baraccate ad Ischia (Italia)

Preliminary numerical evaluations of the seismic behavior of "baraccato" masonry structures in Ischia (Italy)

Sommario

L'utilizzo di sistemi costruttivi ad intelaiatura lignea per la difesa da azioni sismiche degli edifici ha origini antiche. Questo sistema di protezione antisismica per gli edifici è stato ampiamente utilizzato per le fasi di ricostruzione post sismica dopo alcuni eventi italiani e, oggigiorno, coinvolge una porzione del tessuto storico italiano. Per capire l'effetto benefico dell'inserimento di un telaio in legno in una struttura in muratura tipicamente non resistente a trazione, sono stati implementati modelli matematici nel software di calcolo commerciale SAP 2000 considerando le diverse geometrie del telaio in legno rinvenibili nella prassi costruttiva. In questo lavoro ci si è soffermati sul sistema che prevede l'inserimento del telaio a filo parete muraria. Dall'analisi di una parete in muratura costituita da due maschi e una fascia, osservando lo stato tensionale si è riscontrata la formazione di bielle compresse nel maschio così come per il pannello di fascia, che vengono confrontate con la stessa parete in presenza del telaio ligneo. Le analisi effettuate hanno mostrato notevoli incrementi di duttilità delle pareti baraccate dovute alla presenza dei telai in legno. Inoltre, la configurazione degli elementi lignei può avere effetti sulla resistenza, ma anche sulla rigidezza e quindi potenziali ripercussioni sulle sollecitazioni che investono la struttura in condizioni sismiche.

Abstract

The use of wooden frame construction systems for the protection of buildings against seismic actions has ancient origins. This anti-seismic protection system for buildings has been widely used for the post-seismic reconstruction phases after some Italian events and, nowadays, involves a portion of the Italian historical building stock. To understand the beneficial effect of inserting a wooden frame into a masonry structure typically not resistant to tractions, numerical models were implemented in the commercial structural software SAP 2000, considering the different geometries of the wooden frames found in construction practice. In this work the focus is on the wooden frames on the lateral surface of the masonry wall. From the analysis of

a masonry wall consisting of two piers and a lintel, observing the stress state, the formation of compressed struts in the piers and spandrel was compared in the cases with and without the wooden frame. The analyses carried out showed significant increases in ductility due to the presence of wooden frames. In addition, the configuration of the wooden elements could affect strength, but also stiffness and therefore it has potential impact on the seismic behavior.

Introduzione

Dopo ogni evento sismico o altro tipo di catastrofe naturale, l'uomo ha sempre cercato di trovare soluzioni innovative per garantire alle strutture una maggiore capacità di resistere a tali eventi (Flora et al., 2021). In Italia, territorio ad alta sismicità, ci sono numerose testimonianze delle soluzioni adottate dall'uomo per fronteggiare tali tipi di catastrofi (Lignola et al., 2015; Lignola et al., 2010, Lignola e Manfredi, 2011, Russo et al., 2010), basta far caso ai numerosi presidi antisismici (tiranti o barbacani) presenti in quasi tutti i centri storici. Ischia, non da meno, è ricca di soluzioni all'epoca innovative, utilizzate per garantire alle strutture un comportamento migliore rispetto a quanto realizzato prima di ogni evento, essendo un luogo con elevata sismicità. Un evento che ha certamente rivoluzionato il sistema costruttivo isolano si è verificato sul finire del secolo XIX.

Il terremoto del 1883

Il 28 luglio 1883, ore 21:30 circa, un terribile terremoto colpì l'isola di Ischia, con un'intensità all'incirca pari al X grado della scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg, MCS, e con magnitudo stimata compresa tra 4.3 e 5.2, ipocentro compreso tra 1 e 2 km ed epicentro situato nei pressi di piazza Maio, centro della zona residenziale del comune di Casamicciola; in particolare furono investiti i comuni di Casamicciola, Lacco Ameno e Forio. La scossa durò all'incirca 13 secondi, portando con sé morte e distruzione.

Gli effetti del terremoto furono differenti da comune a comune; ciò può essere spiegato dal fatto che l'isola è di origine vulcanica, nata per effetto di diverse eruzioni, alcune delle quali di natura esplosiva, come quella del tufo Verde verificatasi circa 55000 anni fa, che sono avvenute fino a tempi recenti dal punto di vista geologico: nel 1302 d.C. vi è stata l'ultima eruzione che ha dato origine alla formazione della colata dell'Arso. La composizione stratigrafica dell'isola, e quindi la sua geologia, è estremamente variegata, costituita da rocce vulcaniche, depositi franosi e rocce sedimentarie che danno luogo a caratteristiche geologiche molto diverse tra le diverse zone del territorio; tali depositi franosi sono presenti in particolar modo lungo tutta la cintura che costeggia la parte più pendente del monte Epomeo, nelle zone di Monterone, Baiola, Fango, Maio e Cretaio, generando oltretutto dei significativi effetti di sito e quindi una maggiore vulnerabilità, differente tra i due lati dell'isola. Sul versante est

c'è la diffusa presenza di lava trachitica ben consolidata, mentre sul versante ovest si trovano depositi di terreni, il che implica una maggiore vulnerabilità sismica dato che un terreno meno addensato tende a essere soggetto ad azioni amplificate.

Il costruito ischitano a quel tempo era caratterizzato da strutture in muratura. A Ischia, in particolare, la pietra utilizzata era il tufo verde ischitano, una roccia dalle caratteristiche molto simili a quelle del tufo giallo, ma più friabile. La tessitura era caotica per il ricorso a pietre non lavorate o lavorate su una sola faccia e inoltre veniva utilizzata una malta povera di cemento con bassissime proprietà leganti, visto l'elevato costo del legante dovuto al trasporto sull'isola. Spesso, a causa degli elevati costi di costruzione, gli edifici non presentavano spessori murari adeguati a sopportare elevate azioni verticali, o si utilizzavano murature a sacco con paramenti murari sottili e spesso non collegati da diatoni, e quindi i solai venivano realizzati in legno, leggeri, in modo da non produrre elevate sollecitazioni, strutture quindi modeste con una bassissima resistenza alle azioni orizzontali.

La superficialità dell'evento, caratterizzato da elevate accelerazioni sugli edifici, l'inadeguata tecnica costruttiva dell'epoca, ideata per resistere esclusivamente ai carichi verticali, e il danno lieve già prodotto sulle strutture dal terremoto di due anni prima 1881, che probabilmente produsse danni seri preparando la strada alla distruzione che si sarebbe verificata 2 anni dopo, causando già molti crolli e la morte di 124 persone a Casamicciola e 5 a Lacco Ameno, determinò nei comuni interessati la distruzione di parecchi edifici, come dettagliato in Tabella 1 (Polverino, 1998).

I Consigli di Mercalli

Numerosi furono gli scienziati del tempo che si recarono a Ischia per studiare il particolare evento sismico, tra essi il sismologo e vulcanologo Giuseppe Mercalli, il quale, anche grazie agli studi effettuati sull'isola, riuscì poi, negli anni seguenti, a ideare l'omonima scala che misura l'intensità macrosismica di un terremoto. Frutto di questi studi fu un piccolo opuscolo, reperibile presso l'Archivio di Stato di Napoli, dal titolo

Tab. 1 – Danni agli edifici a seguito del terremoto di Casamicciola del 1883.

	Abitanti	*Case (c) / Vani (v) abitabili*	*Case/Vani crollati*	*Case danneggiate*	*Case illese*
Casamicciola	4.300	672 (c)	537 (c)	134	1 a Perrone
Lacco Ameno	1.800	389 (c)	269 (c)	102	18
Forio	6.800	2713 (v)	1344 (v)	997	392
Serrara Fontana	2.000	1159 (v)	65 (v)	937	121
Barano	4.600	2639 (v)	65 (v)	937	121
Ischia	6.600	Solo qualche fabbricato subì lievi lesioni			

"L'Isola d'Ischia, Terremoto del 28 Luglio 1883", nel quale Mercalli fornisce anche alcune indicazioni utili sia su dove che su come ricostruire (Mercalli 1884):

« 1) Non fare nessuna costruzione nuova in muratura e neppure riattare quelle lesionate nei luoghi più danneggiati (Casamicciola alta, Casamonte, Pannella, Mezzavia, Monterone, Ciglio, ecc.).
2) Non riattare le case e tantomeno le chiese gravemente lesionate in Panza Fiajano, Fontana, Moropane, Barano, Casamicciola marina, Lacco inferiore, Forio inferiore.
3) Si dovrebbero abbattere tutti i secondi piani e terzi piani che vi sono in tutte le località.
4) In tutti i paesi enumerati ai nn 1. e 2. non si facciano costruzioni nuove in muratura ordinaria, ma in legno od in ferro od almeno col sistema delle case baraccate quale è proposto nella Relazione degli ingegneri Giordano e Cometto al Ministro Genala.
5) Non si facciano nuove costruzioni neppure con il sistema baraccato sui terreni in pendio e presso il ciglio delle colline, quando il terreno è composto dai tufi e dalle marne poco resistenti e franosi.
6) Non si facciano nuove costruzioni di nessuna sorta presso le spiagge del mare; perché, come accadde nella eruzione di Timeo, succede frequentemente che in occasione di eruzioni o di violenti terremoti, il mare si rovesci sulla terra inondandola per un tratto più o meno lungo.».

Sulla base di queste prescrizioni e indicazioni fu redatto quello che fu uno dei riferimenti normativi più avanzati realizzati fino a quel momento, ossia il "Regolamento Edilizio per i Comuni dell'Isola di Ischia danneggiati dal Terremoto del 28 luglio 1883" (s.a., 1884).

Per i comuni maggiormente colpiti fu elaborato in tempi brevissimi il Piano Regolatore, nel quale viene riportata la sistemazione planimetrica dei nuovi rioni delle baracche e dal quale si evince come l'organizzazione planimetrica fosse ben schematizzata e caratterizzata da un certo distacco tra i vari corpi, in modo da creare un luogo sicuro in caso di nuovo terremoto, realizzando tra le baracche le strade principali e quelle secondarie. In realtà, nel caso ischitano furono diverse le tecniche utilizzate per la ricostruzione, infatti si adottò una prima tecnica, che prevedeva l'utilizzo esclusivamente di legno per la realizzazione di nuove abitazioni provvisorie e/o definitive, favorendo una più rapida costruzione; sebbene si trattasse solo di case provvisorie, non furono viste positivamente e quindi si passò a una nuova forma costruttiva, che prevedeva appunto una intelaiatura lignea, che non aveva una geometria unica, ma variava la propria configurazione.

Con il terremoto di Ischia, venne redatto anche il primo documento ben dettagliato che trattava argomenti antisismici, e, in particolare, fu data la possibilità di realizzare case in completa muratura a patto di limitarne l'altezza.

Il sistema baraccato

L'utilizzo di sistemi costruttivi a intelaiatura lignea per la difesa da azioni sismiche degli edifici ha origini antiche. Esempi sono ritrovabili già in età minoica, come a Knossos e Phestos, risalenti al 2130-2110 a.C., ma anche ad Akrotiri e Thera, in cui sono presenti edifici multipiano risalenti al XVII secolo a.C. e in tutta l'area mediterranea, persino al nord dell'Europa. Sono ben studiate le evidenze archeologiche dell'*opus craticium* di Ercolano e Pompei. Nel 1755, dopo il terremoto di Lisbona, per la ricostruzione fu proposta la *gaiola*, struttura lignea intelaiata, ripresa poi in area borbonica dopo i terremoti della Calabria del 1783, come "casa baraccata" (Vivenzio, 1788; Ruggeri, 2015). Il sistema, proprio grazie ai consigli di Mercalli fu utilizzato a Ischia nelle fasi di ricostruzione post sisma. Per la realizzazione della baraccatura in legno furono generalmente utilizzati il castagno e l'abete: la scelta non fu casuale, in effetti il castagno era l'unico "legno forte" presente sull'isola ed era da tempo utilizzato nella carpenteria napoletana. Il problema era che gli elementi in castagno avevano un costo elevato, e inoltre, anche se in alcuni casi avevano durata secolare, in altri era evidente il danneggiamento dovuto ai tarli. Per tale motivo invece del castagno, il cui uso fu, comunque, incontrastato nella realizzazione di porte e finestre, per i tavolati si impiegò anche l'abete. Di questa tipologia di legno erano presenti sul mercato due differenti qualità: quella "di Calabria" proveniente dalla omonima regione e dalle zone interne della Campania, e quella "di Trieste", denominazione con la quale invece si indicò il materiale proveniente dal Triveneto e dai Paesi dell'Est europeo. Delle suddette qualità, per la realizzazione dell'ossatura delle pareti e per le travi degli orizzontamenti fu adoperato l'abete di Calabria perché di più facile reperibilità, di minor costo e perché dotato di fibre più compatte di quello triestino.

Tecnologia costruttiva

Il sistema costruttivo prevedeva un'ossatura principale in legno formata da elementi verticali, i ritti, ed elementi orizzontali, i traversi (Polverino, 1998), ben visibili in Figura 1. I ritti principali, di dimensioni tra i 15 e i 20 cm di lato, sono posizionati nei cantonali degli edifici e in ogni incrocio con pareti perimetrali o di separazione interna; i traversi, di simili dimensioni, sono posti in corrispondenza dei due orizzontamenti e del piano di gronda.

Tra gli elementi che costituivano la struttura principale veniva disposta quella secondaria, composta anch'essa da elementi lignei verticali e orizzontali che venivano fissati all'ossatura primaria mediante collegamenti a tenone e mortasa, oppure ponendo in mutuo contrasto i pezzi e collegandoli tra loro con staffe con squadri metallici fissati con chiodi, oppure con semplici chiodature.

Per le fondazioni, venivano adottate due tipologie specifiche: la prima prevedeva che i ritti principali, di altezza tale da raggiungere il piano di gronda, venissero ben conficcati nel terreno e annegati per un tratto nell'elemento di fondazione; su quest'ultima

Fig. 1 – La baraccatura (sopra) e i tramezzi (sotto) (foto di C. D'Ambra).

era poi appoggiato un primo traverso interrotto in corrispondenza dei montanti principali e a questi fissato, per supportare le sollecitazioni indotte dalla struttura secondaria. Nel secondo sistema, l'estradosso della fondazione in muratura (platea, trave continua) era assunto come piano di posa dell'intera baraccatura, con un corrente di base, all'epoca denominato "renaio inferiore", non interrotto in corrispondenza dei ritti, che fungeva da elemento di appoggio sia per l'ossatura principale che per quella secondaria.

I travetti dell'unico solaio intermedio generalmente presente erano posti a un interasse compreso tra 80 cm e 120 cm, con luci correnti comprese tra 4,00 m e 4,50 m, e hanno dimensioni di 10 cm · 15 cm circa. Ad essi era fissato il sistema di tavole di castagno sul quale venivano realizzati il lastrico d'intersuolo e la pavimentazione di quadroni d'argilla. Realizzata la baraccatura del primo piano, allo stesso modo di quella del piano terra, una trave di coronamento generalmente chiudeva in corrispondenza del piano di gronda e allo stesso tempo fungeva da elemento di appoggio per le incavallature del tetto. Su tale trave scaricavano i travetti dell'elemento di calpestio del sottotetto, i quali sopportavano il normale carico dell'impalcato e fungevano anche da catena per le capriate. La pavimentazione era posta al primo calpestio, dove un battuto di circa 8 cm di spessore chiudeva superiormente il vespaio di pietrame a

secco, oppure copriva le volte del piano interrato. Le capriate, solitamente semplici e a spinta eliminata, erano generalmente coperte con un tavolato di castagno, o di abete, sul quale, direttamente o su correntini a esso sovrapposti, è fissata la lamiera ondulata galvanizzata; in alternativa si utilizzavano tegole di Marsiglia che risultavano essere saldamente fissate al supporto. Un tavolato di castagno, ordito ortogonalmente ai travetti e a essi fissato, costituiva di solito la base dell'elemento di calpestio del sottotetto. Sulle tavole, spesse dai 3 ai 5 cm, era realizzato un massetto battuto di lapillo e calce su cui risultava posata con malta di calce la pavimentazione di elementi d'argilla.

Configurazione del Telaio

Circa la configurazione dei telai lignei compresi nelle murature, sono state individuate quattro diverse geometrie nel posizionamento degli elementi.

Nel sistema baraccato l'indeformabilità dell'intera struttura portante era raggiunta rendendo quanto più possibile indeformabili le maglie che la componevano. L'esempio più semplice e con un livello prestazionale più basso è dato dagli edifici con pareti intelaiate, dove i riquadri della struttura erano definiti da soli ritti e traversi e alla muratura compresa nelle campiture era affidato il compito di contrastare, con bielle compresse, l'effetto delle forze orizzontali e sismiche. In altri casi l'azione di contrasto alle forze sismiche e di irrigidimento del sistema risultava invece affidata a uno o due elementi controventanti, ciascuno dei quali abbracciava più campiture. Il più diffuso tipo di disposizione dei legni all'interno della maglia strutturale era quello alla beneventana, secondo il quale ogni campitura è caratterizzata da ben due elementi controventanti posti a croce di sant'Andrea lungo le diagonali, in modo da rendere massima l'azione di contrasto della parete nei confronti delle forze orizzontali e, data la riduzione delle dimensioni degli interspazi, consente la migliore solidarizzazione delle parti lignee con quelle in muratura, come mostrato in Figura 2.

La baraccatura risultava completamente inglobata nella muratura di tufo e la solidarizzazione degli elementi della parete d'ambito era affidata alla presenza di conci lapidei a tutto spessore, opportunamente sagomati e disposti a cavallo degli elementi lignei. Oltre che in asse alla parete, la baraccatura poteva essere posizionata a filo con una delle superfici libere dell'elemento di chiusura d'ambito.

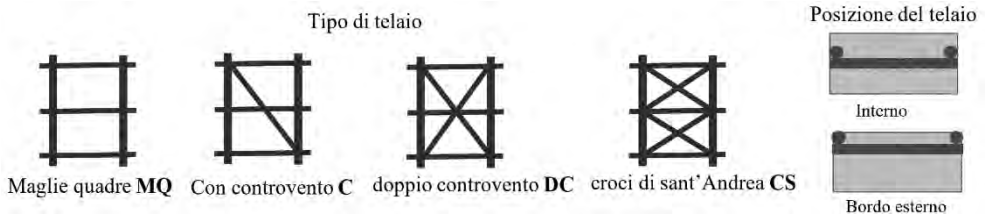


Fig. 2 – La tipologia di telaio (De Vivo, 2018).

Le connessioni

Le varie tipologie di strutture baraccate sono accomunate dal tipo di connessioni, principalmente caratterizzate da unioni chiodate. Inoltre, gli incontri tra le diagonali, e tra le diagonali ed eventuali traverse intermedie, sono realizzati con connessioni "a metà legno": in pratica, le estremità degli elementi sono generalmente incastrate e/o chiodate ai ritti ed ai traversi con connessioni "a dente".

Tramezzi

Le campiture degli elementi di partizione interna sono generalmente riempite di materiale lapideo che è strettamente contenuto entro lo spessore del telaio ligneo ed è rivestito di intonaco, come risulta ben visibile in Figura 1.

Tale modo di realizzare le tramezzature, a causa del differente comportamento elastico della struttura lignea rispetto a quelle dello strato di intonaco, comporta la presenza di lesioni che segnano sulle superfici a vista l'andamento della sottostante ossatura. Data l'esigenza di limitare la presenza di carichi superflui, gli elementi di partizione potevano essere realizzati in modo diverso, ad esempio lasciando vuote le campiture mentre le facce dell'ossatura erano rivestite da tavolati di castagno o di abete oppure da intonaco su incannucciata o su listellato.

Comportamento dinamico

A seconda della posizione e della tipologia del telaio si può osservare una riposta differente alle azioni dinamiche. In un sistema baraccato coesistono due materiali diversi sia per natura che per caratteristiche meccaniche, uno rigido con una elevata resistenza a compressione e una bassissima resistenza a trazione, la muratura, e uno con una più bassa rigidezza ma con una resistenza a trazione decisamente superiore, il legno o l'acciaio. Il sistema così come è stato congegnato dovrebbe essere in grado di sfruttare al meglio le peculiarità dei due materiali:

– le azioni di compressione dovute ai pesi propri, i carichi e gli incrementi dovuti alle azioni sismiche sono affidati alla muratura;
– le trazioni dovute principalmente alle azioni sismiche sono affidate al telaio.

In questo sistema composto il telaio, almeno quelli perimetrali, assume una funzione trascurabile per le azioni statiche, mentre diventa il sistema portante per le azioni dinamiche quando vengono raggiunti valori di trazione nella muratura non più trascurabili. Il telaio, costituito da aste orizzontali, verticali e inclinate, sollecitate principalmente da azioni assiali, interagisce con la parte in muratura per mezzo di legami attritivi e dell'ingranamento tra legno e muratura. Il comportamento dinamico di questo tipo di strutture è anche influenzato dalla tessitura muraria: la dimensione e la forma degli elementi infatti permettono o meno di portare parte delle sollecitazioni di trazione per effetto dell'ingranamento meccanico tra gli elementi lapidei che caratterizzano la muratura.

Le diverse strutture presenti sul territorio del comune di Casamicciola Terme edificate a seguito del terremoto del 1883 hanno subito un diverso grado di danneggiamento nell'ultimo evento del 21 agosto 2017, a seconda della vicinanza dall'epicentro. Le strutture baraccate situate nella parte bassa del comune, denominata Marina, hanno subito lesioni molto leggere riconducibili a spostamenti differenziali tra muratura e telaio in legno, dovuti anche al pessimo stato di conservazione (Romano et al. 2016); diverso è stato il comportamento delle strutture con una manutenzione migliore, che non hanno presentato alcun tipo di lesione. Man mano che ci si avvicina a piazza Maio si osservano lesioni sempre maggiori dovute al diverso comportamento dei due materiali con espulsioni locali di muratura. I danni maggiori, come per il resto degli edifici, si sono riscontrati nella parte alta del comune, nei pressi di piazza Maio, dove le elevate accelerazioni registrate hanno determinato collassi locali della porzione in muratura della struttura portando alla luce il vecchio telaio presente da oltre 100 anni, che, seppur presentando gli evidenti segni del tempo, ha ben funzionato e scongiurato il collasso della struttura. Diverso il comportamento della chiesa Santa Maria Maddalena Penitente, che pur ubicata nei pressi dell'epicentro, ha avuto danni leggeri per la buona fattura della costruzione sia in termini di muratura, regolare costituita da blocchi squadrati in tufo giallo, sia per la presenza di un telaio in acciaio. Innovativo, soprattutto per gli inizi del '900, è il campanile in alluminio di questa chiesa.

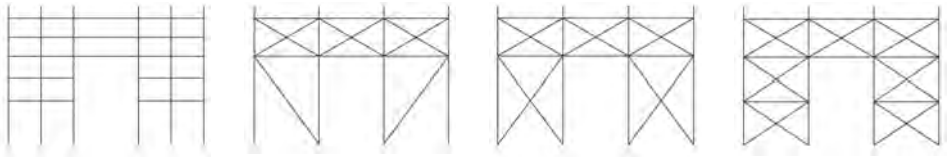
Analisi numeriche

Le analisi numeriche hanno riguardato lo sviluppo di modelli matematici per interpretare il comportamento del sistema composto, muratura più telaio. I modelli sono stati ricavati mediante l'utilizzo del software di calcolo SAP2000 utilizzando modelli semplificati atti a descrivere il comportamento del sistema complesso parete più telaio (Ruggieri, 2015; Cruz et al., 2015; Ruggieri et al., 2015).

La parete di muratura è stata modellata mediante l'utilizzo di elementi shell a maglia quadrata, utilizzando un legame omogeneo non lineare parabolico in compressione ed esponenziale in trazione; la taratura dei parametri meccanici è stata effettuata con riferimento ai parametri previsti dalla normativa NTC 2018 per la tipologia di muratura considerata.

Il telaio in legno è stato modellato mediante elementi trave lineari con plasticità concentrate in corrispondenza dei nodi; le caratteristiche meccaniche delle cerniere plastiche sono state ottenute da risultati sperimentali presenti in letteratura (Cruz et al., 2015; Ruggieri et al., 2015).

Le diverse configurazioni di telaio riscontrate, a maglie quadre con singolo controvento o doppio controvento, e infine la tipologia più frequente, telaio con croci di sant'Andrea, sono state implementate in un modello agli elementi finiti per valutare la risposta in termini di taglio alla base e spostamento, come mostrato in Figura 3.

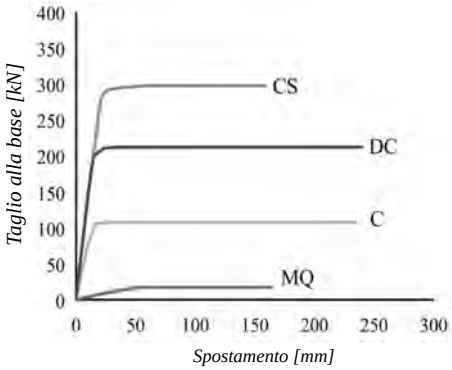


(a) *(b)* *(c)* *(d)*

Fig. 3 – Schema geometrico dei telai lignei: (a) telaio a maglie quadre (MQ), (b) telaio con controvento (C), (c) telaio con croci di sant'Andrea (CS), (d) telaio con doppio controvento (DC) (De Vivo, 2018).

Analizzando i risultati dei soli telai in legno (De Vivo, 2018), in Figura 4, si osserva che per il telaio a maglie quadre (MQ) si ottiene un valore di taglio alla base relativamente basso rispetto alle configurazioni di telaio, nell'ordine dei 20 kN, con uno spostamento ultimo all'incirca di 17 cm.

Il telaio con singolo controvento (C) raggiunge un valore del taglio alla base circa 6 volte superiore rispetto a quello a maglie quadrate (MQ), 108 kN, con uno spostamento ultimo di circa 25 cm. Valori pressoché simili in termini di spostamento ultimo si ottengono per la configurazione con doppio controvento (DC) ma con un valore di taglio circa doppio.



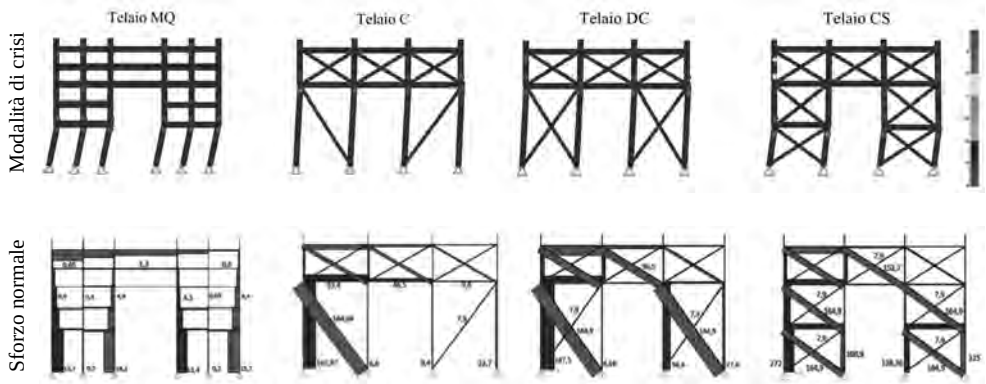
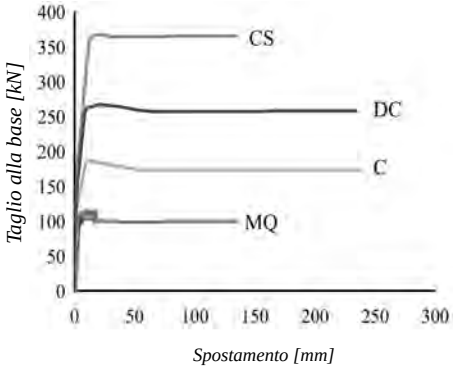


Fig. 4 – Confronto tra la risposta taglio-spostamento e la sollecitazione dei telai in legno per le diverse configurazioni (De Vivo, 2018).

In ultima analisi, la configurazione con croci di sant'Andrea (CS), tipologia molto frequente di baraccatura, ha mostrato il più alto valore di taglio alla base ma con uno spostamento ultimo inferiore rispetto alle altre due configurazioni esaminate (C) e (DC), valore analogo a quello registrato per la tipologia a maglie quadre (MQ).

La diversa tipologia di telaio è stata poi analizzata nel sistema composto muratura più telaio, ipotizzando una baraccatura posta in affiancamento della muratura lungo il lato interno di quest'ultima (Figura 5).



Stato tensionale S_{min} kN/m²

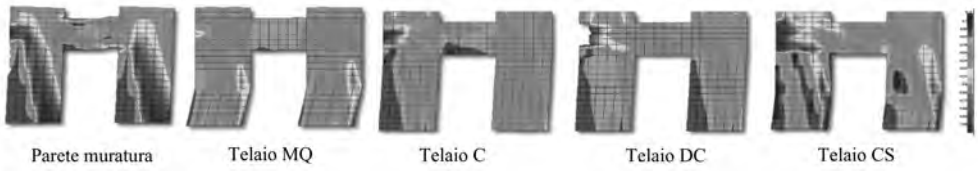


Fig. 5 – Curve di capacità di pareti baraccate e stato tensionale nella muratura (De Vivo, 2018).

Telaio in legno

I risultati delle analisi mostrano che l'intelaiatura in legno conferisce alla parete in muratura una elevata duttilità, permettendole di raggiungere spostamenti ultimi di gran lunga superiori a quelli della parete priva di baraccatura. La tipologia di telaio in legno determina variazioni sulla risposta complessiva del sistema in accoppiamento.

L'inserimento nella muratura di un telaio a maglie quadre (MQ) permette di ottenere un notevole incremento di duttilità alla parete, pur non determinando nessun incremento di capacità tagliante.

Nel caso di telaio a singolo controvento (C), si osservano una rigidezza maggiore rispetto al ramo elastico, indice di un comportamento in accoppiamento dei due sistemi già per le prime fasi di carico, e un incremento di resistenza e duttilità, comportamento analogo al caso di telaio con doppio controvento (DC) che ha fatto registrare un incremento di capacità maggiore.

Infine, la baraccatura realizzata con telaio a croci di sant'Andrea (CS), conferisce alla parete il più grande incremento di capacità e rigidezza tra tutte le configurazioni analizzate, pur registrando uno spostamento ultimo minore.

Muratura più telaio

Il comportamento di parete in muratura più telaio è molto simile a quanto già osservato per i soli telai in legno. Confrontando le curve delle analisi effettuate si può osservare che la duttilità finale del sistema composto parete più telaio è dovuta essenzialmente al telaio e alla sua configurazione, mentre la capacità tagliante è somma delle capacità dei due sistemi.

Il confronto viene effettuato anche in termini di sollecitazioni nelle sezioni di interesse, che corrispondono alle sezioni di estremità dei maschi e del pannello di fascia. In particolare, per i maschi si osserva, rispetto al caso di semplice parete in muratura e per ogni tipologia di baraccatura analizzata, una riduzione di sforzo normale, dettata dalla collaborazione della muratura con la struttura lignea. Tuttavia, la riduzione dello sforzo normale determina per il maschio murario uno spostamento verso sinistra lungo il dominio di rottura, con conseguente riduzione della capacità; quindi la presenza del telaio non influisce sulla rottura dell'elemento murario. Per quanto riguarda invece il pannello di fascia, si è sempre in condizioni di crisi flessionale e tagliante, eccetto per il caso a maglie quadre ove non si raggiunge la crisi flessionale, come mostrato in Figura 6.

Indice di rischio relativo allo SLV

È stato anche valutato l'indice di rischio relativo allo stato limite di salvaguardia della vita, SLV. La parete in muratura priva di telaio presenta un indice di poco minore all'unità, circa il 97% della capacità richiesta, pertanto l'inserimento del telaio in legno permette di ottenere valori molto elevati dell'indice di rischio, anche se il recente terremo di Casamicciola del 2017 ha mostrato spettri di accelerazioni superiori a quelli di norma (0,23g), e terremoti con periodo di ritorno di 2475 anni.

Conclusioni

Da sempre a Ischia la comunità tecnico-scientifica ha ricercato tecniche innovative per rendere gli edifici antisismici.

Il terremoto del 1883 è di certo l'evento sismico più importate che ha interessato l'isola, studiato da molti scienziati; tra i tanti, il geologo Giuseppe Mercalli che, grazie anche agli studi condotti in loco, partendo dall'osservazione dei danni che il sisma produce sulla superficie terrestre redasse l'omonima scala di intensità del terremoto, appropriata per misurare gli eventi sismici di natura principalmente vulcanica caratterizzati da magnitudo basse e ipocentro superficiale. Frutto di questi studi fu anche un piccolo opuscolo, nel quale Mercalli fornisce alcune indicazioni utili sia sul dove che sul come ricostruire, consigli grazie ai quali le costruzioni isolane hanno rappresentato per buona parte del '900 l'avanguardia dell'edilizia antisismica italiana e sono state in grado, nonostante l'età, di resistere alle azioni sismiche generate dal terremoto del 21 agosto 2017.

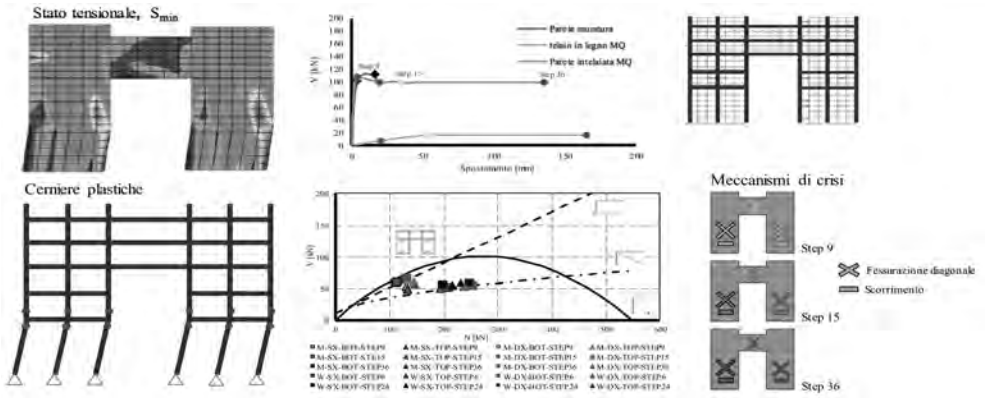


Fig. 6 – Meccanismi di crisi (De Vivo, 2018).

Dalle analisi effettuate è stato possibile definire il diverso comportamento dei sistemi baraccati esaminati, in particolare, a fronte di un maggior potenziale degrado dovuto all'impiego del legno, sono state osservate varie implicazioni strutturali:

– il sistema baraccato costituito dal telaio a maglie quadre (MQ) ha mostrato un notevole incremento di duttilità senza però mostrare variazioni di rigidezza iniziale e incrementi di resistenza. La distribuzione tensionale indotta sulla muratura di base dal telaio in legno mostra una variazione delle bielle compresse, che scaricano l'azione orizzontale applicata in sommità della parete alla base della stessa. Il confronto tra modalità di crisi per il modello del telaio in legno "nudo" e quello inglobato nella muratura non ha mostrato sostanziali differenze, cambia invece la distribuzione dello stato tensionale con elementi caricati in maniera differente;
– il sistema baraccato con controvento (C) ha mostrato un incremento ulteriore in termini sia di spostamento ultimo che di taglio alla base. Per quanto concerne lo stato tensionale, si osserva una variazione della biella compressa, con riduzione delle tensioni. Confrontando il telaio "nudo" con il telaio in legno nella parete baraccata, si osserva una variabilità delle sollecitazioni dato il contributo della muratura stessa;
– il sistema baraccato con doppio controvento (DC) ha un comportamento analogo al caso prima descritto, in termini di duttilità, tuttavia mostra un incremento del valore del taglio alla base. Inoltre, si riscontra una riduzione dello stato tensionale, comportando una variazione della biella;
– il sistema baraccato con croci di San Andrea (CS) prevede un irrigidimento ulteriore della parete, incrementa il valore di taglio alla base, e riduce lo spostamento ultimo, e quindi la duttilità.

Bibliografia

Cruz H., Saporiti Machado J., Campos Costa A., Xavier Candeias P., Ruggieri N., Manuel Catarino J. 2015. *Historical Earthquake-Resistant Timber Framing in the Mediterranean Area*. Berlin: Springer Editore.

De Vivo A. 2018. *Modellazione della risposta sismica di strutture murarie "baraccate"*. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Flora A., Chiaradonna A., de Sanctis L., Lignola G.P., Nappa V., Oztoprak S., Ramaglia G., Sargin S. 2021. Understanding the Damages Caused by the 1999 Kocaeli Earthquake on One of the Towers of the Theodosian Walls of Constantinople. International Journal of Architectural Heritage.

Lignola G.P., Nigro E., Cosenza E. 2010. Seismic vulnerability of natural stone pinnacles on the Amalfi Coast in Italy. Journal of Cultural Heritage, 11(1), 68-80.

Lignola G.P., Manfredi G. 2011. Damage assessment and design of structural interventions for monte di Pietá in Naples, Italy. International Journal of Architectural Heritage, 5(6), 647-676.

Lignola G.P., Giamundo V., De Martino G. 2015. Influence of Short Segments in the Trabeation with Opposing Inclined Edges on the Seismic Vulnerability of the Marble Blocks Colonnade in the Archaeological Site of Pompeii. International Journal of Architectural Heritage, 9(7), 883-895.

Mercalli G. 1884. L'isola d'Ischia ed il terremoto del 28 luglio 1883. Memorie del Regio Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, s.III, vol.6, 99-154.

Polverino F. 1998. *Ischia. Architettura e terremoto*. Napoli: Clean Edizioni.

Romano N., Lignola G.P., Brigante M., Bosso L., Chirico G.B. 2016. Residual life and degradation assessment of wood elements used in soil bioengineering structures for slope protection. Ecological Engineering, 90, 498-509.

Ruggieri N. 2015. *L'ingegneria antisismica nel regno di Napoli (1734-1799)*. Roma: Aracne Editrice.

Ruggieri N., Tampone G., Zinno R. (a cura di). 2015. *Historical Earthquake-Resistant Timber Frames in the Mediterranean Area*. Berlino: Springer.

Russo V., Lignola G.P., Vassallo E., Zinno A. 2010. Second world war damages of the architectural heritage: St. Maria del Popolo agli Incurabili church in Naples. Advanced Materials Research, 133-134, 1137-1142.

s.a. 1884. *Regolamento Edilizio per i Comuni dell'Isola di Ischia danneggiati dal Terremoto del 28 luglio 1883: Casamicciola, Lacco Ameno, Forio, Serrara Fontana e Barano*. Roma: Tip. Eredi Botta.

Vivenzio G. 1788. *Istoria de' tremuoti avvenuti nella Provincia della Calabria ulteriore e nella città di Messina nell'anno 1783, e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787, preceduta da una Teoria ed Istoria generale de' Tremuoti*. 2 voll. Napoli: Stamperia Reale.

Simona Talenti, Annarita Teodosio

Il contributo degli ingegneri alla costruzione degli edifici alti in Italia

The contribution of engineers in the construction of tall buildings in Italy

Sommario
Il paper propone una riflessione sul ruolo degli ingegneri nella costruzione dei grattacieli italiani, a partire dalle prime esperienze degli anni Trenta, focalizzandosi sul loro essenziale contributo per la definizione della nuova tipologia architettonica di importazione e sui relativi sistemi strutturali.

Abstract
The paper offers a reflection on the role of engineers in the construction of Italian skyscrapers, since the first experiences in the Thirties, focusing on their essential contribution to the definition of the new imported architectural typology and on the related structural systems.

Introduzione
Anche in Italia, nella costruzione di edifici alti forse più che in altre tipologie, da sempre si sintetizzano ed esplicitano in maniera inequivocabile i risultati empirici e teorici della ricerca tecnologica e strutturale. Da una parte trova conferma la diatriba, innescatasi già durante il Ventennio, acciaio vs cemento armato, che proclama quest'ultimo materiale prediletto per ragioni pratiche – è «logico, razionale, economico, nazionale» (Goldstein Bolocan, 1935: 158) – ma anche per questioni culturali, come dimostra il fatto che talvolta siano gli stessi addetti ai lavori a ostacolare la diffusione del metallo affermando, in modo piuttosto semplicistico, che la metodologia americana di costruzione dei grattacieli non possa «essere applicata alle nostre strutture così diverse da quelle metalliche dei costruttori d'oltreoceano» (Cevini, 2001: 75; Traverso, 1941). Sul cemento armato si alimenta così un fruttuoso dibattito che porta a una varietà di innovazioni costruttive e tecnologiche. Tuttavia non mancano pioneristiche ricerche legate all'uso del metallo, come quelle condotte

in seno alla Triennale di Milano del 1933 da Luigi Vietti e Luigi Carlo Daneri, o gli esperimenti sulle ossature di acciaio in serie di Guido Fiorini, tanto apprezzate persino da Le Corbusier (Talenti e Teodosio, 2021). Mentre si configurano come casi isolati ed eccezionali le realizzazioni della Torre Littoria (1933) in Parco Sempione a Milano di Giò Ponti, con gli ingegneri Cesare Chiodi ed Ettore Ferrari, un'opera d'arte monumentale con struttura in elementi tubolari di acciaio (Irace, 2009), e della Torre della Reale Mutua Assicurazioni di Torino (1934) di Armando Melis, il primo edificio multipiano italiano sostenuto da uno scheletro portante metallico elettrosaldato progettato dallo strutturista Giovanni Bernocco (D'Orazio, 2008). Ancora oggi in Italia si prediligono strutture miste e l'utilizzo di telai in acciaio per gli edifici alti è nettamente inferiore rispetto al resto dell'Europa.

D'altro canto, la costruzione di questi organismi sempre più articolati e complessi, rende imprescindibile, sin dagli anni Trenta, la collaborazione tra architetti e ingegneri, come testimoniano le varie esperienze condotte ad esempio da Piacentini con Invernizzi, Rimini con Mettler, Bega con Danusso, Ponti con Nervi. Ciò contribuisce a ricomporre la radicata contrapposizione tra le due figure professionali e accresce l'importanza della cultura tecnica nella definizione della nuova tipologia architettonica del grattacielo e dei relativi sistemi portanti, ormai carichi di valenze molteplici e non più esclusivamente statiche.

Il rapporto tra struttura e forma negli edifici alti è estremamente mutevole e in continua evoluzione. Se negli anni Trenta la complessità delle prime sperimentazioni sul cemento armato applicato alla verticalità non aveva consentito di istituire un modello ripetibile, alla fine degli anni Cinquanta alcuni ingegneri, come Danusso, tentano di individuare schemi portanti efficaci e facilmente adattabili alla tipologia senza tuttavia pregiudicare l'intuito strutturale e il genio creativo. Dopo questo rapido momento di gloria connesso alla Ricostruzione, gli ingegneri della contemporaneità, sembrano essere diventati nuovamente una categoria di "invisibili", offuscati dalle archistar che figurano spesso come gli unici veri progettisti di queste ardite strutture[1].

Il ruolo gregario degli ingegneri nelle prime torri italiane

Le prime esperienze italiane di grattacieli si fanno risalire ai progetti per la torre I.N.A. di Brescia (1930-32) e per quella in piazza Dante di Genova (1935-40) entrambi elaborati da Marcello Piacentini. Per le strutture di questi innovativi edifici alti, l'architetto si avvale delle competenze tecniche di alcuni colleghi ingegneri. Il torrione realizzato nella città lombarda costituisce infatti il primo esperimento italiano in cemento armato di questa tipologia architettonica e, in quanto tale, richiede «un accurato esame» e una «laboriosa indagine statica» condotti da un abile calcolatore ed esperto di questo materiale, l'ingegner Luigi Campagna[2]. Tra i consulenti spicca il nome dell'ingegner Arturo Danusso, all'epoca professore ordinario presso il Politecnico di Milano, responsabile del Laboratorio per le esperienze sulla resistenza dei materiali, nonché uno

dei massimi esperti dell'impiego del conglomerato cementizio e delle strutture orizzontali (Crippa et al., 2020)[3]. L'intervento di questi tecnici riguarda essenzialmente i calcoli delle strutture e la progettazione delle fondazioni, ma sembra contribuire in maniera poco significativa alla fisionomia architettonica dell'edificio.

Fig. 1 – La Torre Piacentini di Genova in costruzione (Archivio Piacentini, Firenze).

A Genova, invece, la presenza dell'ingegnere Angelo Invernizzi, committente nonché costante supervisore della torre Piacentini, influisce più direttamente sulle scelte formali dell'architetto del Regime (Cevini, 2001) [1]. Il grattacielo ligure, in Figura 1, nasce così come il frutto di un lavoro sinergico e di un profondo rispetto reciproco. L'apporto del professionista veneto, così come quello del consulente strutturista Eugenio Traverso, si esplicitano indubbiamente nelle soluzioni tecnologiche, per esempio nella velocità degli ascensori o nei serramenti a saliscendi delle finestre. Ma tra Piacentini e il progettista del primo garage con struttura elicoidale in calcestruzzo armato in Italia (1926) e della originale villa rotante Girasole (1931-34), in cui si erano fuse arte e tecnica, nasce un profondo sodalizio, attestato da un intenso scambio epistolare che intercorre tra Genova e Roma, ricco di riflessioni, schizzi e suggerimenti. L'architetto condivide esplicitamente l'auspicio espresso da Invernizzi di continuare a progettare grattacieli, rispondendo alla sua missiva: «debbo dire che l'aver lavorato con voi è stata per me una grandissima gioia. Vi ho conosciuto geniale e modesto, grande organizzatore e correttissimo, avendo avuto con me tutti i riguardi. È così facendo che si fanno le grandi cose, e potremo ancora farne delle altre» (Cevini, 2001: 83).

La collaborazione tra i due professionisti, intensa e continua, ha quindi delle indubbie ed esplicite ricadute sull'intero iter progettuale. Lo studio genovese di Invernizzi modifica non solo le piante elaborate dall'architetto romano, ma suggerisce diversi interventi anche sui prospetti. L'ingegnere consiglia infatti di modificare il fronte nord inserendo delle aperture per illuminare maggiormente alcune stanze, o di introdurre logge sovrapposte in facciata, sul modello del padiglione italiano ideato dallo stesso Piacentini assieme a Giuseppe Pagano e Cesare Valle per l'esposizione di Parigi del 1937 e tanto apprezzato da Invernizzi (Cevini, 2001). Recependo le osservazioni del collega, l'architetto rimette mano al progetto, dando vita a una

nuova versione aggiornata e più razionalista. Non mancano però tra i due professionisti alcuni momenti di tensione, legati per esempio alla disposizione delle finestre, che si sarebbero affacciate sulle logge del piano inferiore sollevando un problema di visuali inopportune. Ma la "flessibilità" dell'ideatore e la perspicacia del tecnico stemperano i dissidi e consentono di individuare una serie di possibili compromessi.

D'altra parte, per la torre genovese, anche la proposta inizialmente prevista per uno dei quattro vertici di Piazza Dante di un grattacielo a struttura metallica saldata elaborata dall'architetto-ingegnere Fiorini nel 1934 per l'Istituto Nazionale delle Assicurazioni, si era presentata come un esempio di fruttuosa interazione tra l'architetto e gli esperti costruttori della Savigliano (Zorgno, 1988)[4], come sottolineava tra l'altro Giuseppe Pagano in un articolo sulle strutture in acciaio pubblicato nel 1933 su Casabella: «E appunto nella scelta e nella determinazione di questi materiali consiste la tecnica della costruzione a scheletro in acciaio, poiché, effettivamente, non basta pensare e immaginare una costruzione qualsiasi per poi tradurla a struttura di acciaio: occorre che tra l'architetto e l'ingegnere addetto alla struttura in ferro esista una perfetta collaborazione in modo da conoscere a priori, prima dell'inizio dello scheletro in acciaio, il tipo, la misura e la qualità dei diversi materiali che completano l'edificio» (Pagano, 1933: 63).

Il grattacielo genovese, frutto di una profonda e inusuale sinergia progettuale, rimane un'eccezione nel panorama degli edifici multipiano del primo dopoguerra, da ascriversi probabilmente al doppio ruolo ricoperto da Invernizzi nonché alla sua forte determinazione. I primi esempi milanesi degli anni Trenta, come la Torre Rasini di Giò Ponti e Emilio Lancia, realizzata con la collaborazione dello strutturista Gaetano Angilella, o quella della Snia Viscosa (1935-37), in piazza San Babila, di Alessandro Rimini coadiuvato dal tecnico dell'impresa Guido Mettler, continuano infatti ad avvalorare la tesi che questi ingegneri, seppure interlocutori autorevoli alla ricerca delle migliori soluzioni costruttive, raramente intervengono sulle scelte progettuali degli architetti. Il loro compito prevede l'individuazione di ossature aderenti alle specifiche richieste, senza l'elaborazione di modelli strutturali ripetibili. Difatti, anche dal punto di vista prettamente formale, le esperienze italiane non sembrano ancora finalizzate a una standardizzazione architettonica, come sottolinea anche l'affermato collaudatore di opere in cemento armato Alessandro Goldstein Bolocan nel suo articolo sui grattacieli meneghini (Goldstein Bolocan, 1936).

L'ingegner Angilella, all'epoca assistente alla cattedra di Tecnica delle Costruzioni al Politecnico di Milano, mette a disposizione di Ponti e Lancia le sue competenze tecniche, immaginando per la Torre Rasini una muratura perimetrale di mattoni pieni irrobustita con pilastri in cemento armato volti ad «assottigliare le murature adeguandole alle disposizioni del progetto architettonico e guadagnando parecchio nella superficie utile dei locali» (Goldstein Bolocan, 1935: 148). Anche a proposito della torre Snia Viscosa, Bolocan, accanito difensore dell'impiego del conglomerato cementizio, mette in evidenza nel 1935 l'estrema plasticità del calcestruzzo, ma so-

prattutto la facile adattabilità del materiale «ai capricci del progetto architettonico» (Goldstein Bolocan, 1936: 331). Oltre a questa innovativa soluzione costruttiva, il telaio in calcestruzzo armato che scarica su una piastra alta un metro paragonabile a un «rigidissimo solaio rovescio» (Goldstein Bolocan, 1936: 330), il contributo di Mettler è quello di assecondare le esigenze architettoniche grazie alla versatilità del materiale impiegato: «La cura con cui pilastri, travi, solai sono stati dimensionati e armati testimoniano l'accortezza e la prudenza nata dalla collaborazione tra architetto e ingegnere» (AA.VV., 2002: 81). Risulta difficile affermare oggi che tale collaborazione abbia visto lo strutturista svolgere un ruolo propositivo e non di semplice supporto, interloquendo in maniera sinergica con il progettista.

Il *modus operandi* dei team che hanno edificato nell'immediato dopoguerra i diversi grattacieli milanesi, come per esempio la Torre Breda (1950-55), non appare fondamentalmente dissimile. Si tratta in genere di costruzioni multipiano ancora caratterizzate da volumetrie piuttosto semplici, le cui variabili si legano essenzialmente all'altezza e alla sperimentazione nell'uso strutturale del cemento armato (Talenti e Teodosio, 2021). Non è un caso che la commessa del "grattacielo di Milano", in Figura 2, venga affidata a progettisti tutti poco più che trentenni: gli architetti Luigi Mattioni, Eugenio e Ermenegildo Soncini, gli ingegneri strutturisti Piero Papini, Antonio Rognoni, Emilio Sozzani, l'ingegnere impiantista Oscar Piccinino (Alfonsi e Zucconi, 1985: 42). Difatti si auspica che questa giovane generazione sia in grado non solo di risolvere tutte le difficoltà tecniche legate all'uso del conglomerato cementizio per l'ossatura e le fondazioni[5] di quello che sarebbe diventato il più alto edificio in cemento armato del mondo, ma anche di dare vita a una nuova architettura progressista, moderna e soprattutto "italica".

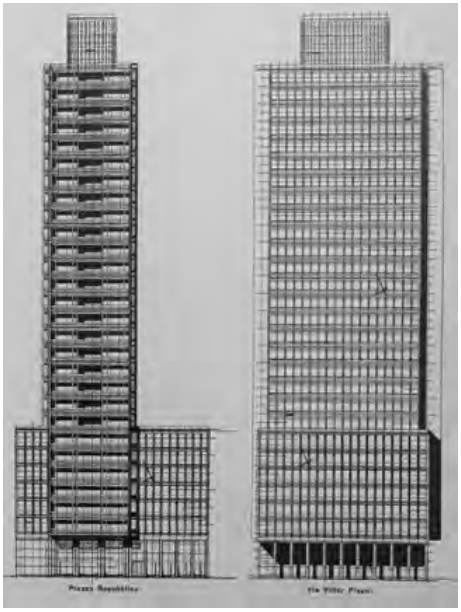


Fig. 2 – Due prospetti del grattacielo di Milano di Luigi Mattioni (Alfonsi e Zucconi, 1985).

Così come era già avvenuto nelle torri degli anni Trenta, anche in questo caso le esigenze pratiche e distributive interne trovano riscontro nella impaginazione delle facciate, mentre l'ossatura non contribuisce alla fisionomia architettonica, ma riveste esclusivamente una valenza statica. La figlia dell'architetto Mattioni ricorda molto bene come nello studio del padre i ruoli fossero d'altronde «molto precisi: un ingegnere che era anche socio,

aveva il compito di fare i calcoli delle strutture, e poi c'era la figura del prospettivista, Giorgio Barletta, che non essendoci ancora i computer realizzava rendering fatti a mano...» (Coppa e Tenconi, 2015). E in effetti l'architetto milanese ha sempre dichiarato come fosse necessario "un solo direttore d'orchestra" capace di coordinare i saperi tecnici dei diversi esperti[6], ascrivendo quindi a questi professionisti dei ruoli definiti e probabilmente pure moderatamente subalterni. Anche durante questo primo decennio del secondo dopoguerra gli ingegneri sembrano quindi essere ancora prevalentemente al servizio degli "ideatori formali" e il loro contributo emerge difficilmente nel progetto. La difficoltà a reperire talvolta i nominativi di questi strutturisti che hanno collaborato alla realizzazione di molti grattacieli di quegli anni non fa che convalidare l'ipotesi che all'interno dell'iter progettuale essi fossero professionisti invisibili, a volte anonimi, pronti a offrire le loro capacità tecniche ad artefici più carismatici e raramente alla ricerca di uno scambio proficuo di competenze.

La nuova dialettica tra struttura e forma nei grattacieli degli anni Cinquanta

Le novità tecnologiche e progettuali, ma anche le esigenze di *urban renewal* della seconda metà degli anni Cinquanta incoraggiano il progressivo superamento di modelli di grattacielo troppo schematici a favore di composizioni più complesse e diversificate (De Magistris, 2004: 75-76) in cui la concezione architettonica e quella strutturale diventano indissolubili e quasi simultanee (Pace, 2013: 121). Ciò implica un inevitabile rinnovamento di ruoli e gerarchie nell'iter progettuale: gli ingegneri, non più anonimi "calcolatori", assumono una funzione sempre più rilevante e vincolante. Una fitta rete di collaborazioni coinvolge professionisti affermati, come Danusso, Nervi, Giuseppe Valtolina ed esponenti di una giovane generazione di strutturisti formatisi al Politecnico di Milano, quali Luigi Antonietti, Piero Locatelli, Piero Papini, Antonio Rognoni ed Emilio Sozzani. E non è un caso che ormai sempre più spesso i nomi dei progettisti strutturali compaiano accanto a quelli dei designer architettonici, quasi a suggellare il loro apporto: basti pensare a Ponti, Nervi e Danusso per il Pirelli (1953-60) o a quest'ultimo con i BBPR (Banfi, Belgiojoso, Peressutti, Rogers) per la Velasca (1956-58), probabilmente i due casi più esemplificativi in tal senso. Queste nuove torri rappresentano dunque il risultato di uno sforzo corale, transgenerazionale e sinergico basato, come afferma lo stesso Nervi, su una «unione di intenti e competenze» in grado di garantire risultati migliori della semplice "somma" di singole abilità (Nervi, 1960: 35).

La costruzione di edifici alti contribuisce anche all'ammodernamento dei processi esecutivi. L'organizzazione dei cantieri diventa più efficiente e razionale. L'introduzione di nuove dotazioni strumentali, come la gru di tipo navale a braccio articolato ancorata all'edificio usata per la Breda e la Velasca (Crippa et al., 2020), o i sofisticati impianti di sollevamento del Pirelli in grado di raggiungere i 140 metri di elevazione, a fronte dei 40 consentiti dalle attrezzature convenzionali[7], facilita la realizzazione delle opere. L'introduzione di elementi prefabbricati, come il modulo

Fig. 3 – Dettagli della facciata e del coronamento della Velasca (Foto dell'autrice).

solaio della Galfa (1956-59), o alcuni dettagli in facciata della Velasca (Crippa et al. 2020: 179), dimostra l'intensificarsi delle relazioni tra ingegneria e architettura (De Magistris, 2013: 166) e ottimizza le fasi di lavorazione, si veda Figura 3.

In questo momento molto fervido per l'ingegneria italiana (De Magistris, 2013), la realizzazione di grattacieli costituisce anche una preziosa occasione di confronto e aggiornamento teorico e pratico su materiali e tecniche costruttive. La ricerca di soluzioni innovative per rifuggire la standardizzazione delle forme e raggiungere il massimo dell'efficacia dal punto di vista statico, soprattutto in relazione all'annoso problema delle fondazioni e dei rilevanti carichi orizzontali, sembra essere l'obiettivo comune dei tanti tecnici che si approcciano al progetto di edifici alti. Le sperimentazioni si concentrano essenzialmente sul calcestruzzo armato il cui uso sembra non concedere deroghe, come dimostra l'inesorabile fallimento dei rari tentativi di introdurre soluzioni alternative. Nel caso della Galfa, ad esempio, Melchiorre Bega, nonostante sia affascinato dalle potenzialità dell'acciaio, vi rinuncia, pur senza apparenti impatti sulla composizione architettonica, cedendo alle perplessità del giovane strutturista Antonietti[8]; nella Velasca, invece, i BBPR abbandonano la primitiva struttura metallica, elaborata dallo studio Edwards di New York, a favore di una più tradizionale in cemento armato che stravolge però il carattere figurativo dell'opera rendendo chiuse e compatte superfici inizialmente più aperte e vetrate (Bordogna, 2017: 19).

La fondazione dell'Istituto Sperimentale modelli e Strutture-ISMES di Bergamo nel 1951 incentiva l'uso della modellazione strutturale quale irrinunciabile ed effi-

cace strumento per la verifica pratica di quell'«intuito statico» (Ponti, 1956: 4) da cui trae forma la nuova architettura[9]. La riproduzione in scala di elementi nevralgici, come fondazioni (Breda), solai (Galfa, Velasca, Pirelli), controventature e pilastri (Velasca, Pirelli) (Neri, 2015: 315), consente di testare la stabilità di tanti grattacieli del dopoguerra. Danusso, presidente dell'Ente, considera i modelli «la più perfetta macchina calcolatrice» (Nervi, 1960: 38). E difatti, riesce a rendere esecutivo l'organismo ideato da Nervi per il Pirelli proprio grazie a prove empiriche condotte non solo su dettagli strutturali, ma anche su un eccezionale modello cementizio, in Figura 4, in scala 1:5, alto 9 metri, che riproduce l'edificio nella sua interezza e rappresenta un vero e proprio "capolavoro di scienza e artigianato" (Neri, 2014: 83-84).

La ricerca danussiana sulla stabilità degli edifici alti degli anni Cinquanta sembra rappresentare la trasposizione di alcune esperienze degli anni Trenta. Dal suo studio per una casa antisismica a Messina deriverebbe, infatti, l'intuizione dei sistemi di controventamento che caratterizzano i 3 modelli strutturali codificati e implementati dall'ingegnere nella Milano del dopoguerra: il telaio a nodi rigidi combinato con setti murari (Breda), il sistema a gravità con due nuclei decentrati (Pirelli) e il *core* centrale con telaio perimetrale (Velasca), trapiantati persino in alcuni edifici americani dell'epoca e ripresi ancora nella contemporaneità per il Burj Khalifa di Dubai e lo Shard di Londra (Sumini, 2015: 317).

I nuovi organismi portanti contribuiscono, assieme ai moderni sistemi di rivestimento, a rinnovare il dialogo tra "nocciolo" e pelle dell'edificio. D'altronde gli

Fig. 4 – Modello in scala 1:5 della Torre Pirelli (Ponti, 1966).

ingegneri italiani del secondo dopoguerra, Danusso incluso, ritengono che le ossature non si debbano nascondere ma evidenziare, conciliando stabilità, resistenza ed eleganza (Siviero e Zampini, 2006: 177). E difatti i grattacieli della Ricostruzione, in nome del realismo costruttivo perseguito dall'ingegneria strutturale dell'epoca (Siviero e Zampini, 2006: 179), assumono riconoscibilità e carattere proprio grazie alle loro ossature, sempre più esplicite, qualificate e qualificanti.

Nella Galfa (1956-59) di Bega, in Figura 5, la trama portante affiora all'esterno sui lati corti dell'edificio, creando un contrasto con la purezza e la trasparenza di quelli lunghi che rincorrono l'astrazione dell'International Style (Crippa et al., 2020: 25). L'innovativa struttura progettata dal giovane Antonietti, con la collaborazione dei colleghi Papini e Rognoni e la consulenza di Danusso, composta da uno scheletro centrale con setti diversamente orientati combinati con mensole a sbalzo, svincolando gli angoli, riesce a garantire la continuità del *curtain-wall* sui fronti principali (Bega, 1959; Bega, 1961; Coppa, 2015).

Ma sicuramente gli esempi più rappresentativi della dialettica tra struttura e forma, autorefenzialità e riconoscibilità, sono quelli divenuti poi l'icona della Milano alta: da una parte la Torre Velasca, che tenta di ricavare dal contesto urbano in cui si inserisce gli elementi figurativi che la caratterizzano, e dall'altra il grattacielo Pirelli, pura forma "stereometrica" antitetica rispetto all'immagine della città antica (Moioli Titone, 1998, 38-39). La Velasca, "il grattacielo più discusso d'Europa" esibisce impavidamente la sua ossatura costituita da possenti costoloni rastremati che percorrono tutta l'altezza delle facciate e si allargano in caratteristici puntoni di raccordo al diciottesimo piano (Samonà, 1959). L'immagine architettonica del complesso, definita da una trama chiara e cristallina, sembra rimandare dialogicamente a "l'altra torre", realizzata negli stessi anni in corso Francia a Torino dai BBPR con l'ingegnere Giulio Pizzetti (Pace, 2013), in cui riappare la medesima logica compositiva seppur ribaltata. Lo scheletro della Velasca costituisce il punto di arrivo della ricerca di Danusso, portando al perfezionamento le soluzioni già paventate nella Breda del cui progetto era stato consulente (Crippa et al. 2020; Mattioni, 1955). Come chiarisce Belgiojoso, «La forma delle strutture in cemento armato è stata lungamente studiata perché queste potessero esprimere in ogni punto gli sforzi cui erano sottoposte e corrispondessero ovviamente ad una concezione complessiva dei valori espressivi»[10]. Le nervature, che servono anche a correggere «il senso troppo ostentato di casa gigante» cui la torre rimanda (Samonà, 1959: 659), sono enfatizzate solo dalla propria consistenza materica e creano un rapporto dialettico con la parete retrostante più compatta e scandita da piccole bucature. La voluta distinzione tra gli elementi portanti e quelli di tamponamento risente probabilmente anche dell'influsso di Rogers, che in quegli anni pubblica una monografia su Perret in cui riflette sulla composizione per parti (Bordogna, 2017). La facciata sembra dunque esprimere una chiara opposizione all'unitarietà del modello americano, confermata anche dalla ricerca di una relazione col contesto e la tradizione attraverso l'uso

Fig. 5 – Prospetti e pianta della Torre Galfa di Melchiorre Bega (L'Architettura. Cronache e storia, 48, 1959).

di elementi strutturali prefabbricati, come pannelli, pilastrini, spallette e davanzali, che emblematizzano il raggiungimento di un «equilibrio italiano tra artigianalità e industrializzazione» (Crippa, 2020: 179).

Su presupposti differenti si basa la concezione del grattacielo Pirelli, che intende invece rappresentare la «potente e vigorosa realtà milanese» del suo tempo attraverso una «forma vera», che rifugge i «formalismi classici» e in cui «ogni cosa corrisponde sinceramente alla sua realtà tecnica funzionale, costruttiva, sostanziale» (Edilizia moderna, 1960: 7). L'ossatura di sostegno, composta da due nuclei triangolari autoportanti collocati alle estremità e da quattro grandi piloni a farfalla che riaffiorano nei prospetti principali, risulta perfettamente leggibile e comprensibile anche dall'esterno per la sua «semplicità» che, tuttavia, non è frutto di «una semplificazione, ma di un'invenzione strutturale» (Edilizia moderna, 1960: 6). La torre si presenta come un grande oggetto di design connesso ai principi estetici del Movimento Moderno in cui la struttura partecipa alla determinazione della purezza compositiva arrivando a identificarsi con l'architettura stessa senza mediazioni (Ponti, 1956: 2). L'opera, nata dalla «libera collaborazione di uomini intelligenti» e dal loro «impegno e ingegno» (Ponti, 1956: 3), con la sua forma finita immodificabile e irripetibile sembra rispondere perfettamente a quell'esigenza di integrazione tra arte e tecnica tanto auspicata da Ponti e Nervi sin dagli anni Trenta (Ponti, 1956).

Gli anni Sessanta rappresentano un momento critico in cui lo slancio dovuto alla ricostruzione subisce una battuta d'arresto e la verticalità non sembra più costituire una priorità. I confini disciplinari e professionali vengono progressivamente ridefiniti favorendo la separazione delle carriere di ingegneri e architetti (Pace, 2013: 124). Gli interessi della ricerca strutturale pratica e teorica, infatti, si dirottano su altri ambiti progettuali quali infrastrutture e industrie, che implicano principi compositivi differenti: semplificazione, velocità di realizzazione, standardizzazione (Siviero, 2006: 179). La tipologia del grattacielo che, sin dalla sua origine, aveva costituito un ambito privilegiato di sperimentazione e collaborazione, viene provvisoriamente accantonata a discapito di quella convergenza di saperi e abilità che la sua realizzazione implicava.

Conclusioni

In una recente pubblicazione dal titolo significativo *Invisibles: The Power of Anonymous Work in an Age of Relentless Self-Promotion*, l'autore David Zweig, scrittore e musicista americano, inserisce gli ingegneri strutturisti accanto agli interpreti, agli anestesisti e a tutte quelle figure professionali che pur svolgendo un lavoro indispensabile restano quasi sempre nell'ombra. D'altro canto, non mancano però, tra gli ingegneri che si interfacciano con il progetto di architettura, quelli che cercano di guadagnare un certo protagonismo «asservendo in modo acritico la ricerca di forme stupefacenti» come afferma Mauro Eugenio Giuliani, direttore di Redesco, uno dei principali studi di ingegneria strutturale (Molinari e Visini, 2017: 211) allontanando paradossalmente ancora di più le due discipline. Si dovrebbe invece cercare, conclude l'ingegnere «un sufficiente grado di comprensione reciproca, e un riequilibrio dei ruoli di ciascuna» (Molinari e Visini, 2017: 211). Se a una più profonda cultura tecnica degli architetti facesse riscontro da parte degli strutturisti una più grande consapevolezza delle istanze formali, si potrebbe ricreare quella mutua comprensione che ha caratterizzato diversi periodi della storia della costruzione. Per certi versi il mondo digitale e i software di modellazione parametrica, che consentono oggi la simulazione strutturale in una rappresentazione grafica tridimensionale, potrebbero facilitare l'incontro e lo scambio di saperi tra queste due discipline, dando la possibilità a entrambe di ideare soluzioni innovative, senza però scadere nella spettacolarizzazione dell'una o dell'altra. Nella torre Generali di Zaha Hadid (2014-17) a City Life, per esempio, la continua ricerca di nuovi sistemi strutturali ha condotto la società Redesco a realizzare appositamente un nuovo software per il calcolo dei carichi e della torsione dei pilastri. Il risultato del lavoro, condotto in stretta collaborazione con il team dell'architetto di origine irachena, è stato quello di ottenere una «struttura [che] si sviluppa [….] in totale coerenza con l'architettura» (Giuliani, 2017: 23). Anche in altri skyscrapers contemporanei, come dimostrano per esempio i puntoni della torre Allianz (2012-15) di Arata Isozaki, gli elementi strutturali diventano parti integranti della soluzione architettonica cui conferiscono carattere e riconoscibilità

esemplificando l'importanza dell'arte del costruire «in quanto atto intrinsecamente poetico» oltre che tecnico e civile (Malacarne, 2008). Il rischio, però, resta quello della ostentazione, formale e/o strutturale. Pertanto ritornano attuali le parole di Nervi che, in una delle sue lezioni romane tenute tra la fine del 1959 e l'inizio del 1960, sottolineano la necessità di un continuo confronto tra l'artista e il tecnico dato che «I carichi che gravano su una struttura influiscono sulla forma e sul profilo della struttura stessa. Mai, mai dovete prendere una forma a priori e calcolarla in modo tale da poter sopportare i carichi»[11].

Contributo delle Autrici

Simona Talenti ha curato i paragrafi Il ruolo gregario degli ingegneri nelle prime torri italiane e Conclusioni; i paragrafi Introduzione e La nuova dialettica tra struttura e forma nei grattacieli degli anni Cinquanta sono stati redatti da Annarita Teodosio.

Bibliografia

AA.VV. 2002. *Il primo grattacielo di Milano. La casa torre di piazza San Babila di Alessandro Rimini*. Cinisello Balsamo: Silvana Editoriale.

Alfonsi G., Zucconi G. (a cura di). 1985. *Luigi Mattioni, architetto della ricostruzione*. Milano: Electa.

BBPR.1982. *La Torre Velasca. Disegni e progetto della Torre Velasca* (a cura di Fiori L., Prizzon M.), 22. Milano: Abitare Segesta.

Bega M. 1959. Il grattacielo Galfa di Milano. L'architettura - Cronache e storia, 48, 370-377.

Bega M. 1961. Le torri di Milano: la torre Galfa. Domus, 377, 3-16.

Bordogna E. 2017. *La Torre Velasca dei BBPR a Milano, simbolo e monumento dell'architettura italiana del dopoguerra*. Napoli: CLEAN.

Cevini P. 2001. *Piacentini a Genova. Il grattacielo dell'orologio*. Genova: Sagep.

Comolli S. 1960. Il cantiere. Edilizia Moderna, 71 (Numero speciale dedicato al Centro Pirelli), 43-52.

Coppa A. 2015. La torre Galfa. In: *Grattanuvole. Un secolo di grattacieli a Milano* (a cura di A. Coppa, L. Tenconi). 327-340. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.

Coppa A., Tenconi L. (a cura di) 2015. *Grattanuvole. Un secolo di grattacieli a Milano*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.

Crippa M.A., Cimbolli Spagnesi P., Zanzottera F. (a cura di). 2020. *Arturo Danusso e il suo tempo. Intuito e scienza nell'arte del costruire.* Roma: Quasar.

D'Orazio M. 2008. Contributi alla storia della costruzione metallica. Città di Castello: Alinea.

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.

De Magistris A. 2013. Circostanze e fortune internazionali dell'ingegneria italiana. In: *La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta* (a cura di P. Desideri et al.). 163-177. Torino: Allemandi & C.

Edilizia Moderna. 1960. 71 (numero speciale dedicato al Centro Pirelli).

Giuliani M.E. 2017. Torre Hadid (Generali) nell'area CityLife, In: *Strutture complesse, libero pensiero. Teoria e progetti di Redesco* (a cura di L. Molinari, A. Visini). 23-55. Milano: Skira.

Goldstein Bolocan A. 1935. Le prime realizzazioni milanesi di edifici a grattacielo. L'industria italiana del cemento, 5, 146-158.
Goldstein Bolocan A. 1936. Grattacieli milanesi: la Torre San Babila. L'industria italiana del cemento, 12, 328-336.
Irace F. 2009. *Giò Ponti*. Milano: Motta Architettura.
Magni S. 2013. *Abitare in alto a Milano 1920-1960*. Tesi di laurea Magistrale, Politecnico di Milano A.A. 2013-14.
Malacarne G. 2008. Introduzione. In: *La lezione di Pierluigi Nervi* (a cura di A. Trentin e M. Agnoletto). Milano: Mondadori.
Mattioni L. 1955. Il grattacielo di Milano. Edilizia Moderna, 56, 9-30.
Moioli Titone G. 1998. *La poesia del grattacielo*. Roma: Bulzoni Editore
Molinari L., Visini A. (a cura di) 2017. Strutture complesse, libero pensiero. Teoria e progetti di Redesco. Milano: Skira.
Neri G. 2014. *Capolavori in miniatura. Pier Luigi Nervi e la modellazione strutturale*. Mendrisio: Mendrisio Academy Press.
Neri G. 2015. Il grattacielo in una stanza: Arturo Danusso e i modelli in scala ridotta delle torri milanesi. In: *Grattanuvole. Un secolo di grattacieli a Milano* (a cura di A. Coppa, L. Tenconi). 307-316Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
Nervi P.L. 1960. L'ossatura. Edilizia Moderna, 71, (numero speciale dedicato al Centro Pirelli), 35-42.
Pace S. 2013. L'altra torre. Concezione strutturale, architettura e città nell'edificio in corso Francia a Torino (BBPR, Gian Franco Fasana e Giulio Pizzetti: 1955-1959). In: *La concezione strutturale. Ingegneria e architettura in Italia negli anni cinquanta e sessanta* (a cura di P. Desideri et al.). 115-127. Torino: Allemandi & C.
Pagano G. 1933. Le strutture di acciaio in Italia. Casabella, 8-9, 61-64.
Pisanu M. 2014. *L'architettura dell'acciaio in Italia negli anni Trenta. La società nazionale delle officine di Savigliano*. Tesi di Dottorato, Università di Cagliari, A.A. 2014-2015.
Ponti G. 1956. "Espressione" dell'edificio Pirelli in costruzione a Milano. Domus, 316, 1-16.
Samonà G. 1959. Il grattacielo più discusso d'Europa: La Torre Velasca a Milano. L'architettura - Cronache e storia, 40, 638-675.
Siviero E., Zampini I., 2006. L'ingegneria italiana dei ponti nel XX secolo. In: *L'ingegneria e la sua storia. Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel XIX e XX secolo* (a cura di A. di Leo). 173-182. Cava de' Tirreni: Marlin Editore.
Sumini V. 2015. Gli alberi di calcestruzzo armato di Arturo Danusso. In: *Grattanuvole. Un secolo di grattacieli a Milano* (a cura di A. Coppa, L. Tenconi). 317-326. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
Talenti S., Teodosio A. 2021. The skyscrapers of Milan: from experiments to recent constructive challenges. In: *History of Construction Cultures, Proceedings of the 7th International Congress on Construction History-7ICCH 2021* (a cura di J. Mascarenhas-Mateus e A.P. Pires). 1, 108-115. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.
Traverso E. 1941. Note sulle strutture di cemento armato nel grattacielo Invernizzi a Genova. Bollettino dei Sindacati Fascisti Ingegneri della Liguria, 9, 28-31.
Trentin A., Agnoletto M. (a cura di). 2008. *Architettura 28. Il progetto dell'edificio alto*. Bologna: Clueb.
Trentin A., Trombetti T. (a cura di). 2010. *La lezione di Pierluigi Nervi*. Milano: Mondadori.
Zorgno A.M. 1988. Guido Fiorini e le Officine di Savigliano. Casabella, 549, 42–53.

Sitografia

[1] Su Invernizzi
http://docplayer.it/11112205-Angelo-invernizzi-un-costruttore-il-suo-tempo-e-il-dopo.html
[2] Intervista a Dennis Poon
https://www.teknoring.com/news/ingegneria-strutturale/grattacieli-la-piu-grande-sfida-dellingegneria-intervista-a-dennis-poon-di-thortnon-tomasetti/

Note

1. Si veda a questo proposito l'intervista realizzata nel 2016 a Dennis Poon, responsabile strutturale di alcuni tra i più spettacolari edifici alti della contemporaneità: *I grattacieli come ingegneria della sfida: intervista a Dennis Poon di Thornton Tomasetti [1].*
2. La citazione si trova in: Il palazzo torrione dell'Istituto Nazionale delle assicurazioni, *Popolo di Brescia*, 3.9.1931 (Archivio Piacentini, Università degli studi di Firenze. Biblioteca di scienze tecnologiche. Architettura: faldone 64.4, Nuovo centro di Brescia (Piazza della Vittoria, 1929-1932). Si veda anche, conservato nello stesso faldone: Il più alto edificio d'Europa sarà elevato a Brescia, *Cronaca Prealpina: gazzetta dei tre laghi*, 6/09/1931.
3. Cfr. Il più alto edificio d'Europa….Op. cit.
4. Su Invernizzi si veda anche L. Ferrari, *Angelo Invernizzi - Un costruttore, il suo tempo... e il dopo* (PDF), disponibile su: sanmartinoba.it.
5. Si veda anche (Pisanu, 2014), in cui l'Autore ricorda che anche l'architetto-ingegnere Luigi Carlo Daneri, assieme alla Badoni di Lecco, aveva progettato un grattacielo a struttura metallica alquanto simile alla proposta di Fiorini, da ubicare in questa medesima area di Genova.
6. All'ingegnere Danusso viene affidata la consulenza per le strutture e per le sperimentazioni empiriche. Cfr. (Crippa et al., 2020).
7. Archivio privato Mattioni, Grattacielo di Milano, faldone 1, lettera di Mattioni datata 13 maggio 1953 indirizzata alla Grattacielo di Milano S.p.A.
8. L'iter realizzativo del Pirelli è ampiamente conosciuto grazie alla ricca documentazione fotografica e alle accurate descrizioni del cantiere fornite dell'ingegner Comolli sull'organizzazione e le macchine utilizzate. Cfr. (Comolli, 1960).
9. In una intervista di qualche anno fa, l'ingegnere Antonietti afferma che «Nell'uso dell'acciaio non eravamo così avanti come con l'utilizzo del cemento armato, veniva studiato poco, c'erano pochi esempi. A quell'epoca l'acciaio era vietato, non c'era o non si sapeva lavorarlo. Di conseguenza c'erano poche aziende in grado di soddisfare la domanda di mercato». Cfr. (Magni, 2013: 107).
10. Dell'intuito statico come capacità indispensabile per definire il progetto e della possibilità di verificarne la correttezza attraverso la modellazione strutturale parlano anche Danusso nel discorso *Intuito e scienza nel cemento armato* tenuto per il Corso di Perfezionamento per le costruzioni in cemento armato del Politecnico di Milano (Neri, 2015: 315) e Nervi nella sua pubblicazione *Costruire correttamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate* (Neri, 2014: 103-104).
11. Da una intervista all'architetto Belgiojoso contenuta in: *BBPR.*1982. *La Torre Velasca. Disegni e progetto della Torre Velasca* (a cura di Fiori L., Prizzon M.), 22. Milano: Abitare Segesta 1982, 22 citata in (Sumini, 2015: 324).
12. Malacarne G. *Introduzione* a (Trentin e Agnoletto, 2008).
13. Lezione del 22 dicembre 1959, in (Trentin e Trombetti, 2010: 75).

Paolo Vigo, Laura Canale, Giorgio Ficco

Contabilizzazione del calore negli edifici residenziali: una tecnologia in forte divenire

Heat allocation in buildings: a technology characterized by a rapid evolution

Sommario
Nonostante l'Unione Europea promuova la misura individuale del consumo energetico come strumento strategico per migliorare l'efficienza energetica negli edifici, solo nel 2012 la Energy Efficiency Directive-EED ha definitivamente sancito l'obbligo di installare sistemi di contabilizzazione del calore negli edifici in presenza di impianti di riscaldamento/raffrescamento centralizzati. La ratio di tale misura è quella di aumentare la consapevolezza degli utenti, mettendo loro a disposizione una quantificazione chiara e trasparente dei propri consumi energetici in un settore, quello degli edifici con impianti centralizzati o delle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento, in cui storicamente la necessità di misurare i consumi dei singoli utenti è stata trascurata fino agli inizi del XXI secolo. In questo lavoro si analizza l'evoluzione storica dei dispositivi di contabilizzazione indiretta dei consumi di energia termica, con particolare riferimento ai ripartitori di calore, esaminando nel contempo la letteratura tecnico-scientifica riguardante l'analisi dei benefici energetici derivanti dalla loro applicazione in campo dal 1920 ad oggi.

Abstract
The European Union is pushing individual metering also for space heating and cooling in the residential sector since this has been recognized as a strategic tool for reaching energy efficiency goals. To this aim, in 2012 the Energy Efficiency Directive (EED) has imposed the installation of individual metering systems for heat cost allocation in buildings where a central heating/cooling plant is present. In fact, through individual metering systems each tenant will pay heating/cooling cost proportionally to his own consumptions, thus avoiding cost allocation methods based on "flat" principles, such as the surface area, volume, etc. In this paper, the authors analyse the historical evolution of indirect individual metering system for heating/cooling and their benefit in reducing heat consumptions in residential buildings.

Introduzione

La contabilizzazione dell'energia consumata nelle singole abitazioni è argomento multidisciplinare che coinvolge la metrologia, la politica, la gestione energetica insieme ad aspetti sociali e comportamentali.

Di fatto, la contabilizzazione dell'energia termica negli impianti centralizzati e nelle reti di teleriscaldamento e raffrescamento, a livello sia di edificio che di singola utenza, ha da sempre rappresentato una operazione con importanti risvolti economici: si pensi alle esigenze di fatturazione dei gestori, ma anche alla necessità di ripartire equamente i consumi tra i vari condomini; solo nell'ultimo trentennio ha assunto rilevanza anche come strumento di efficientamento energetico. Nel 2012, infatti, la Direttiva sull'Efficienza Energetica-EED (Commissione Europea, 2012) ha imposto agli Stati l'obbligo di installare sistemi di contabilizzazione del calore individuali negli edifici alimentati da una fonte centralizzata di riscaldamento/raffreddamento/produzione di acqua calda sanitaria, a patto che ne sia verificata la fattibilità tecnico-economica, e ha incoraggiato gli Stati ad adottare norme trasparenti sui consumi. La Direttiva afferma che la fatturazione dei costi per riscaldamento, climatizzazione estiva e produzione di acqua calda sanitaria in base ai consumi individuali contribuisce al risparmio energetico nel settore residenziale, individuando così nella consapevolezza dell'utente finale dei propri consumi energetici uno dei pochi strumenti funzionali al raggiungimento degli obiettivi europei di abbattimento delle emissioni di CO_2 entro il 2020, 2030 e 2050.

Attualmente sul mercato sono disponibili due diverse categorie di sistemi di contabilizzazione del calore, i Contatori di Energia Termica-CET diretti e i sistemi di contabilizzazione indiretti, anche detti ripartitori di calore. La EED pone come prioritaria l'installazione dei CET, se fattibile dal punto di vista economico e tecnico; in alternativa, è consentita l'installazione di ripartitori dei costi di riscaldamento o totalizzatori dei tempi di inserzione. In Europa, i primi dispositivi di ripartizione indiretta dei consumi energetici sono stati sviluppati e brevettati intorno agli anni '20, con la prima applicazione in campo registrata in Danimarca nel 1927. Ciononostante, il primo tentativo di regolamentare l'installazione di sistemi di contabilizzazione del calore e controllo della temperatura nelle singole abitazioni è contenuto, anche se indirettamente, solo nella Direttiva 2002/91/UE sulla prestazione energetica degli edifici, la Energy Performance of Buildings Directive (Commissione Europea, 2002), successivamente abrogata dalla Direttiva 2010/31/UE (Commissione Europea, 2010).

L'uso alternativo dei CET o dei ripartitori implica conseguenze in termini di protezione dei consumatori. L'accuratezza dei sistemi indiretti potrebbe variare tra il 3,0% e il 12,4% (Ficco et al., 2016) e raggiungere anche valori pari al 30% (Saba et al., 2017; Dell'Isola et al., 2017). Inoltre, solo i contatori diretti sono attualmente regolati dalla metrologia legale [1], quindi possono essere utilizzati sia per misurare l'energia termica nel punto di fornitura, sia per ripartire il consumo di energia

all'interno dell'edificio. Viceversa, i sistemi indiretti sono carenti dal punto di vista normativo in termini di tutela del consumatore e delle relative prestazioni metrologiche, visto che nella maggior parte degli Stati membri i contatori diretti sono anche soggetti a verifiche sul campo, mentre i sistemi indiretti non hanno vincoli legali di verifica delle prestazioni in campo.

D'altra parte, dal punto di vista del risparmio energetico, i primi studi riguardanti tali aspetti risalgono agli anni '20, quando si verificarono le prime installazioni che tendevano di fatto a stimare il beneficio energetico in un range compreso tra il 20 e il 30% (Felsmann et al., 2015). Tuttavia, studi più recenti condotti anche nei paesi mediterranei hanno messo in discussione tali stime, riducendo il beneficio intorno al 10-20% (Teres-Zubiaga et al., 2018; Canale et al., 2018). Infatti, i risparmi ottenibili dai sistemi di contabilizzazione sono fortemente legati alle caratteristiche energetiche dell'edificio e dei sistemi di riscaldamento installati, alle condizioni climatiche e agli aspetti culturali ed economici, fattori che giocano un ruolo cruciale nella diffusione degli interventi di retrofit energetico. Ciò si traduce in un risparmio energetico complessivo ancora non esattamente quantificabile, anche a causa dell'ampia variabilità dei costi di installazione e di esercizio dei dispositivi contabilizzazione.

A causa della configurazione dell'impianto di riscaldamento e dei vincoli tecnici e architettonici, l'installazione dei CET non è spesso fattibile dal punto di vista tecnico, mentre quella dei ripartitori è quasi sempre tecnicamente realizzabile in edifici esistenti con radiatori convenzionali, sempre in presenza anche di valvole termostatiche sui singoli radiatori. Infatti, a oggi, oltre il 70% del parco edilizio europeo è precedente al 1970 (Celenza et al., 2015) e negli impianti centralizzati a radiatore la tipologia impiantistica prevalente del sistema di distribuzione è del tipo a colonna montante verticale. In tali sistemi, l'installazione dei CET renderebbe necessaria l'intercettazione dei tubi di mandata e ritorno di ogni radiatore con conseguente installazione di un CET su ogni terminale di emissione, abbattendo di fatto la convenienza economica derivante dal possibile risparmio energetico. Ciò rende prevalente in Europa l'impiego di dispositivi indiretti di contabilizzazione, e in particolare di ripartitori di calore, anche detti heat cost allocators.

Storia dei sistemi di ripartizione del calore

Evoluzione storica degli impianti centralizzati negli edifici

Il riscaldamento centralizzato ha iniziato a diffondersi negli edifici residenziali con la Rivoluzione Industriale (Celenza et al., 2015; Donaldson e Nagengast, 1994). Tra il XVIII e il XIX secolo, i primi impianti di riscaldamento centralizzato erano costituiti da una caldaia a legna o a carbone e da un sistema di tubazioni per la distribuzione del fluido termovettore negli ambienti da riscaldare. I primi sistemi d'aria a circolazione naturale riscaldavano gli ambienti grazie a griglie dotate di serrande di regolazione. Con l'avvento dell'elettricità si pensò di utilizzare un ventilatore per ot-

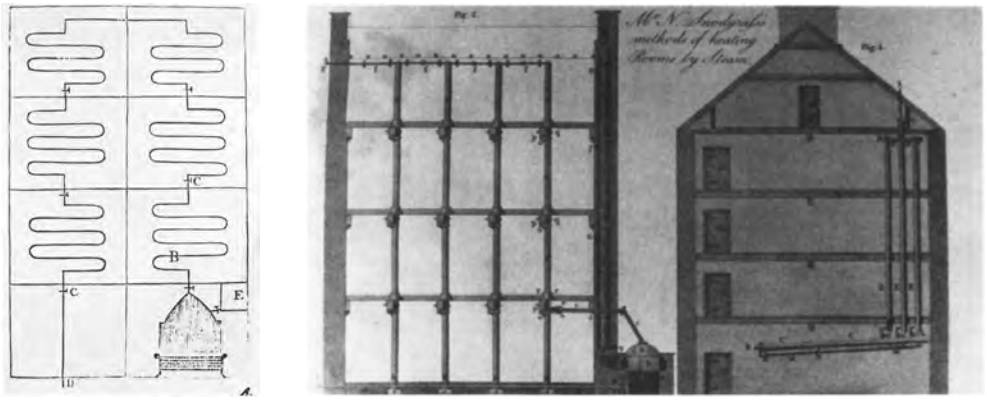


Fig. 1 – Schema di impianto di riscaldamento a vapore (a sinistra); installazione di un sistema di riscaldamento a vapore in un mulino a Dornoch, Scozia, risalente all'incirca al 18oo e riscaldamento a vapore con colonne strutturali (a destra) (Bruegmann, 1978).

tenere una circolazione forzata dell'aria, ma i sistemi forno-soffiante non si diffusero fino al 1930 (Celenza et al., 2015). Contemporaneamente allo sviluppo dei sistemi ad aria, nel Regno Unito comparvero i primi sistemi di riscaldamento a vapore e i primi radiatori. Proposte per la prima volta da William Cook nella metà del XVIII secolo, le prime installazioni di sistemi di riscaldamento a vapore, in Figura 1, furono realizzate nell'ultima decade dello stesso secolo e, solo a partire dagli anni '30 del XIX secolo, divennero un sistema ben consolidato (Celenza et al., 2015; Bruegmann, 1978); si diffusero prevalentemente tra i Paesi anglosassoni e, dal 1840, furono utilizzati per riscaldare grandi edifici come il Campidoglio e la Casa Bianca a Washington DC.

La difficile gestione, la rumorosità e il timore di esplosioni hanno limitato la diffusione degli impianti a vapore privilegiando quelli idraulici. È sorprendente che questi ultimi cominciarono a diffondersi solo nella quarta decade del XIX secolo, sebbene un primo sistema a circolazione di acqua calda fosse stato proposto da M. Bonnemian nel 1770 per la realizzazione di un incubatore di polli, in Figura 2 (Bruegmann, 1978).

Prima ancora, si registra un primo esempio documentato di impianto di riscaldamento dell'acqua risalente al XIV secolo in un Monastero in Groenlandia. Nel 1836 T. Tredgold, che solo qualche anno prima aveva definito i sistemi centralizzati ad acqua calda «impraticabili», nella nuova edizione del suo "Principles of Warming and Ventilation" incluse un supplemento di J. Bramah che descriveva e illustrava l'applicazione di tale sistema nel Windsor Palace e nel Westminster Hospital. A partire da quel momento, il sistema vide un rapido sviluppo che portò nel 1837 alla pubblicazione della prima edizione del "Practical Treatise on Heating Buildings by Hot Water" di Charles Hood (Bruegmann, 1978).

Tutti i primi sistemi idronici erano basati sull'effetto termosifone e furono definiti sistemi "a gravità" (Celenza et al., 2015). In questi casi, per consentire la circolazione naturale dell'acqua, furono utilizzate condutture di grande diametro che furono ridotte di dimensioni solo nel XX secolo, grazie all'uso di pompe di circolazione. Tra il 1820 e il 1850 nel Regno Unito si diffusero anche sistemi ad alta pressione, che consentirono l'utilizzo di tubazioni di distribuzione di diametri ridotti ma furono abbandonati dopo alcuni casi di esplosione.

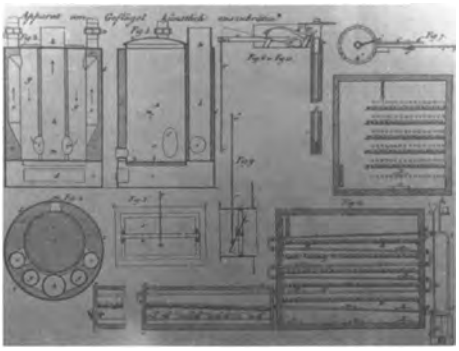


Fig. 2 – Schema di incubatore per polli (Bruegmann, 1978).

L'utilizzo dell'impianto idronico nell'edilizia residenziale si consolidò verso la fine dell'800, sostituendo gradualmente altri sistemi e diventando il sistema più utilizzato per le abitazioni. Un impianto idraulico è costituito da una caldaia, una tubazione di distribuzione, apparecchi di riscaldamento, un vaso di espansione e, in caso di circolazione forzata, una pompa di circolazione. Il combustibile utilizzato per la caldaia, principalmente legno nei primi impianti, è cambiato nel tempo in carbone, olio combustibile, fino al gas naturale (Celenza et al., 2015). Elemento centrale di un impianto di riscaldamento centralizzato è rappresentato senza dubbio dalla rete di distribuzione, che è costituita dall'insieme delle tubazioni di mandata e ritorno che collegano la caldaia con i terminali di riscaldamento; l'acqua calda proveniente dalla caldaia attraversa la rete di alimentazione, riscalda gli ambienti e ritorna in caldaia, assistita da un eventuale circolatore.

Il sistema di distribuzione può assumere due differenti configurazioni: verticale e orizzontale. Il primo schema, "a montanti verticali", in Figura 3, è costituito da un anello, posto nella parte inferiore dell'edificio, che è formato da una mandata e una ripresa principale da cui si diramano le tubazioni di mandata e ritorno che alimentano i terminali di riscaldamento posti sullo stesso verticale. Il secondo schema di distribuzione, sempre in Figura 3, presenta la particolarità di asservire ogni singola zona dell'edificio, intesa come piano (livello o appartamento) dell'edificio con una sezione dedicata della tubazione di distribuzione. L'economicità di costruzione degli impianti a distribuzione verticale ha favorito la loro diffusione, e infatti tale si-

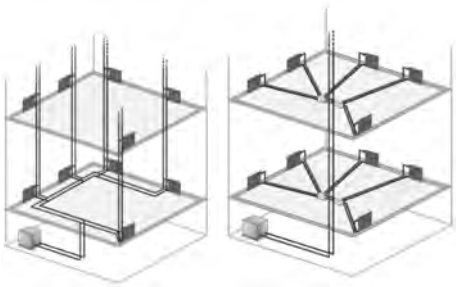


Fig. 3 – Schemi di impianti di distribuzione: a colonne verticali (a sinistra); ad anello (a destra) (Celenza et al., 2015).

stema di distribuzione è stato tra i più comuni fino alla prima crisi petrolifera negli anni ’70. Ciononostante, tale soluzione presenta una gestione faticosa in caso di presenza nello stesso edificio di zone termiche con funzioni diverse. Inoltre l’energia utilizzata per il riscaldamento nei sistemi di distribuzione a montanti verticali veniva normalmente ripartita tra i singoli utenti in base ai millesimi di proprietà. Solo a partire dagli anni ’90, la necessità di ridurre i consumi energetici ha favorito la diffusione di impianti a distribuzione orizzontale, che mostrano una maggiore flessibilità nella gestione di ciascuna zona termica (Celenza et al., 2015).

Evoluzione storica dei ripartitori di calore

Nonostante l’obbligo di installazione di sistemi di ripartizione delle spese connesse ai prelievi di energia termica dei singoli utenti sia entrato in vigore in Europa nel 2012 (Commissione Europea, 2012), i primi dispositivi di ripartizione indiretta dei consumi energetici sono stati sviluppati e brevettati nella seconda decade del XX secolo. Più precisamente, nel 1916 l’ingegnere danese Viggo S. K. Petersen brevettò un “contatore di calore termoelettrico per radiatori” (Petersen, 1920).

L’invenzione, in Figura 4, consisteva in un sistema basato su un circuito termoelettrico atto a trasmettere un segnale proporzionale all’energia termica prelevata nei diversi punti di consumo, cioè nei radiatori. La società danese Kemp & Lauritzen ne divenne distributrice e il primo sistema di contabilizzazione del calore elettrico fu installato in Danimarca nel 1917. Il primo sistema in uso al di fuori della Danimarca è stato installato a Danzica, in Polonia, nel 1928 e diversi sistemi di misurazione dell’epoca sono ancora funzionanti [2].

Un contributo cruciale per la successiva diffusione di tali dispositivi in ambito residenziale venne dalla Germania nel 1921, quando il periodico “Gesundheits-Ingenieur” descrisse l’invenzione di un dispositivo che registrava il prelievo di energia

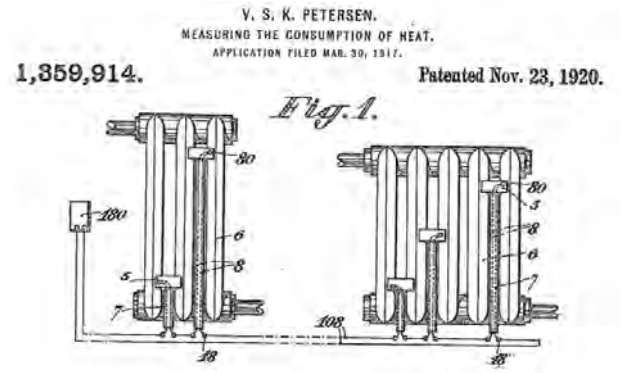


Fig. 4 – Brevetto di uno strumento di misura del calore per radiatori (Petersen, 1917).

termica basato sul principio di evaporazione da un'ampolla piena di liquido installata su un radiatore. Il meccanismo si basava sul semplice presupposto di proporzionalità tra la portata di liquido, avente opportune caratteristiche termodinamiche, evaporata e il calore ceduto dal radiatore.

Tale invenzione fu ripresa e perfezionata nel corso degli anni a seguire da due ingegneri danesi: Odin Thorvald Clorius, che nel 1924 brevettò il primo ripartitore di calore basato sul principio di evaporazione, in Figura 5, e Oscar Constantin Brun, che ne propose una serie di migliorie, tra cui quella sempre in Figura 5 in cui è mostrato "l'apparato per la misura del calore", brevettato da Brun nel 1939, nel quale l'ingegnere corresse l'errore di misura determinato dalla considerevole evaporazione a vuoto della tetralina, il liquido normalmente utilizzato nei precedenti ripartitori a evaporazione (Brun, 1944). Nel 1935 Brun aveva fondato l'attuale società Brunata.

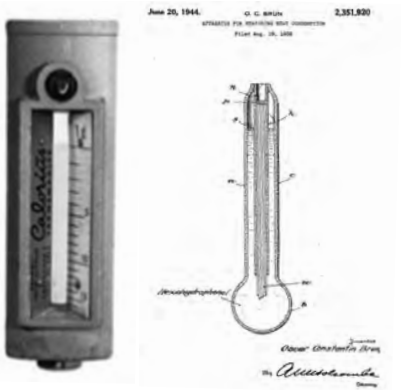


Fig. 5 – Primo ripartitore di calore di Clorius basato sul principio di evaporazione (a sinistra) [3]*; "Apparato per la misura del calore" brevettato da Brun nel 1944 (a destra)* (Brun, 1944).

Nonostante gli avanzamenti tecnologici sopra illustrati, la contabilizzazione individuale delle utenze ha richiesto tempo per essere diffusamente adottata dal pubblico. Solo a seguito della prima grande crisi energetica degli anni '70, e in conseguenza degli incrementi del costo della materia energetica e della necessità di risparmio energetico, la ripartizione delle spese dell'energia termica delle singole utenze si è ampiamente diffusa in Europa, tant'è che nel 1994 il Comitato Europeo di Standardizzazione-CEN ha pubblicato due norme, recepite da UNI: la EN 834, poi aggiornata nel 2013 (CEN, 1994a; CEN, 2013), per i ripartitori di calore elettronici, "discendenti" dal primo brevetto di Petersen, e la EN 835 (CEN, 1994b) per i ripartitori di calore basati sul principio di evaporazione, "discendenti" dal primo brevetto di Brun.

I ripartitori di calore oggi

I ripartitori elettronici sono di norma costituiti da un involucro compatto contenente un modulo di calcolo e trasmissione dei dati, uno o più sensori di temperatura, di cui quello per la temperatura ambiente in alcune configurazioni può essere esterno alle abitazioni, un display di visualizzazione del conteggio, un sistema di alimentazione e una piastra metallica di fissaggio e accoppiamento termico.

I dispositivi attualmente utilizzati sono completamente elettronici e derivano dai meno evoluti ripartitori di calore a evaporazione in conformità con lo standard EN 835, oggi in disuso, mostrati in Figura 6.

Fig. 6 – Ripartitori di calore precedenti al 1981 (a sinistra); moderni ripartitori di calore elettronici ed evaporativi (a destra) [3].

I moderni ripartitori elettronici a due sensori sono al giorno d'oggi il sistema più diffuso soprattutto nei mercati Est-europei (Csoknay, 2000). La contabilizzazione si basa sull'integrazione nel tempo della differenza di temperatura tra la superficie del corpo scaldante e l'ambiente in cui esso è installato. La norma EN 834 prevede le seguenti tre tipologie di ripartitori: a sensore unico, che misurano e registrano la temperatura media dell'elemento scaldante mediante un sensore di temperatura e usano la temperatura ambiente convenzionale, posta pari a 20 °C; quelli a due sensori, che misurano e registrano mediante due sensori sia la temperatura dell'elemento scaldante che la temperatura ambiente, oppure una temperatura avente con quest'ultima un rapporto ben definito e quelli a sensore multiplo, che, analogamente alla precedente tipologia, misurano sia la temperatura dell'elemento scaldante che quella dell'aria ambiente, ma che impiegano almeno due sensori per la misura della temperatura media del radiatore (Ficco et al., 2016; Canale et al., 2019).

In Figura 7 è mostrato lo schema di un moderno ripartitore di calore elettronico a due sensori.

Lo standard EN 834 non fornisce in modo esplicito l'algoritmo di calcolo da utilizzare, ma definisce due tipologie di conteggio, la *non rated displayed reading* e la *rated displayed reading*. Nella prima, le unità di conteggio (ovvero le unità misurate dal ripartitore proporzionali al consumo di energia termica) di ciascun corpo scaldante sono stimate sulla base dell'integrale rispetto al tempo della sola differenza di temperatura tra la superficie del corpo scaldante e l'ambiente, per poi essere corrette solo successivamente; nella seconda, le unità di ripartizione sono

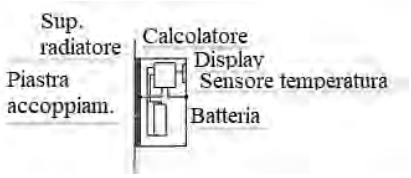


Fig. 7 – Schema di un moderno ripartitore di calore elettronico a due sensori (Canale et al., 2019).

ottenute introducendo direttamente sul ripartitore specifici fattori di valutazione K mediante un equazione del tipo:

$$UR_{CS} = K_C \cdot K_Q \cdot K_T \cdot \int_{\theta} \left(\frac{\Delta T_{HCA}}{60} \right)^n d\theta$$

dove i fattori di valutazione K_C, K_Q e K_T rappresentano, nelle condizioni di riferimento di laboratorio, il fattore correttivo rispettivamente della resistenza termica sui sensori di temperatura posti sul corpo scaldante e in ambiente, della potenza termica nominale e della variazione di emissione termica con temperature interne di progetto minori di quella dell'aria, considerata come riferimento ma solo per ripartitori a sensore unico.

Il fattore di valutazione K_c tiene conto del fatto che i ripartitori di calore non misurano la reale differenza di temperatura tra fluido termovettore e ambiente, ma un valore a questa proporzionale in quanto la temperatura superficiale misurata in uno specifico punto è diversa dalla temperatura media superficiale del corpo scaldante, le resistenze termiche di contatto tra piastra di accoppiamento e corpo scaldante influenzano ulteriormente la misura della temperatura superficiale e, nei ripartitori a due sensori, la misura della temperatura dell'aria è influenzata dagli scambi convettivi e radiativi interni all'involucro del ripartitore. Pertanto, il fattore K_C risulta funzione delle caratteristiche del ripartitore, della tipologia del corpo scaldante, ma non della sua potenza termica, e delle condizioni di installazione. Purtroppo, le condizioni di installazione sono generalmente diverse da quelle di laboratorio; per questo motivo il valore di K_C nelle effettive condizioni di utilizzo può differire molto da quello nominale determinato dal costruttore, soprattutto quando l'istallazione non è effettuata in modo conforme alle prescrizioni tecniche, ad esempio nel caso di un posizionamento errato e in quello di piastra di accoppiamento non adeguata (Ficco et al., 2016; Canale et al., 2019).

Il fattore di valutazione K_Q, invece, è indicativo della potenza termica nominale del corpo scaldante. Nelle condizioni nominali di installazione ed esercizio, tale fattore è funzione esclusivamente delle caratteristiche, della tipologia e della taglia del corpo scaldante. Purtroppo, raramente le condizioni di installazione e di esercizio del corpo scaldante risultano uguali a quelle nominali di prova, quindi la potenza effettiva emessa dal corpo scaldante dipende, oltre che dalle temperature di funzionamento, da fattori quali l'installazione, i collegamenti idraulici e la verniciatura. Il valore di K_Q nelle effettive condizioni di utilizzo può differire da quello stimato dal progettista, sia per l'impossibilità di determinare con precisione i fattori di correzione relativi alle condizioni di installazione ed esercizio di tutti i singoli corpi scaldanti, sia per l'assenza di certificazione dei terminali di emissione esistenti (Ficco et al., 2016; Canale et al., 2019).

Potenziali risparmi energetici

Alla migliore conoscenza degli autori, il primo studio riguardante l'analisi del potenziale risparmio energetico dei sistemi di ripartizione risale agli anni '20, ed è quello condotto da H. Behrens nel 1929 (Felsmann et al., 2015), del quale tuttavia manca a oggi la documentazione originale della fonte primaria. Tale studio quantificava il risparmio energetico conseguibile dai sistemi di ripartizione del calore in una media del 20%. A livello sperimentale, studi successivi vennero realizzati qualche decennio nel 1958 da Adamson e Reijner, che hanno condotto uno studio in un'area residenziale di Stoccolma su dieci edifici identici ciascuno con 10 appartamenti, di cui 5 dotati di contatori di calore e calorimetri. Gli occupanti sono stati informati del loro consumo individuale mediante letture mensili. Rispetto agli edifici in cui la fatturazione è stata effettuata su base forfettaria, gli appartamenti dotati di dispositivi di misurazione del consumo di calore hanno avuto un consumo inferiore del 10-25% in termini di consumo di energia termica. Schiller (1956) ha esaminato quattro villette unifamiliari e 15 blocchi abitativi ciascuno con 81 unità. Le unità immobiliari sono state dotate di ripartitori basati sul principio di evaporazione. Alla fine dello studio il consumo di combustibile degli edifici per il periodo di riscaldamento del 1954/55 è stato confrontato con i rispettivi dati precedenti, quando è stata utilizzata la fatturazione forfettaria, rivelando una riduzione media del consumo di carburante di circa il 23%, con una oscillazione tra il 5,8% e il 37,2%.

La maggiore produzione scientifica riguardante gli effetti di risparmio derivante dai sistemi di ripartizione ha avuto luogo nella seconda metà del '900, a seguito della crisi energetica degli anni '70. Ad ogni modo, la maggior parte di tali studi è stata infatti eseguita con un approccio metodologico simile a quello di Schiller (1956), analizzando un campione ristretto di edifici per una o al massimo due stagioni di riscaldamento e riferendosi principalmente alle condizioni climatiche continentali (Felsmann et al., 2015). Sempre Felsmann e i suoi colleghi (Felsmann et al., 2015) hanno esaminato i risultati di 24 studi di ricerca condotti tra il 1956 e il 2015 in Germania e in altri paesi dell'Europa centrale in merito ai benefici attesi dall'installazione di sistemi di misurazione del calore individuali. Gli autori hanno quantificato il potenziale risparmio energetico in un intervallo compreso tra 8% e 40%, con un risparmio energetico medio stimato di circa il 20% dopo l'installazione di ripartitori e valvole termostatiche. Tuttavia, la letteratura più recente sembra essere più scettica sul potenziale beneficio della contabilizzazione, portando a stime molto più basse, tra 1% e 4% a seconda del tipo di feedback utente adottato (Zvingilaite e Togeby, 2015; Vainio et al., 2017). Le sperimentazioni a lungo termine sono poche nella letteratura scientifica. Cholewa e Siuta-Olcha (2015) hanno studiato il consumo di energia di 40 appartamenti in un edificio multifamiliare situato in Polonia per oltre 17 stagioni di riscaldamento, riscontrando un beneficio medio pari a circa il 26,6% al secondo anno dall'installazione di ripartitori e valvole. Due studi hanno valutato sperimentalmente

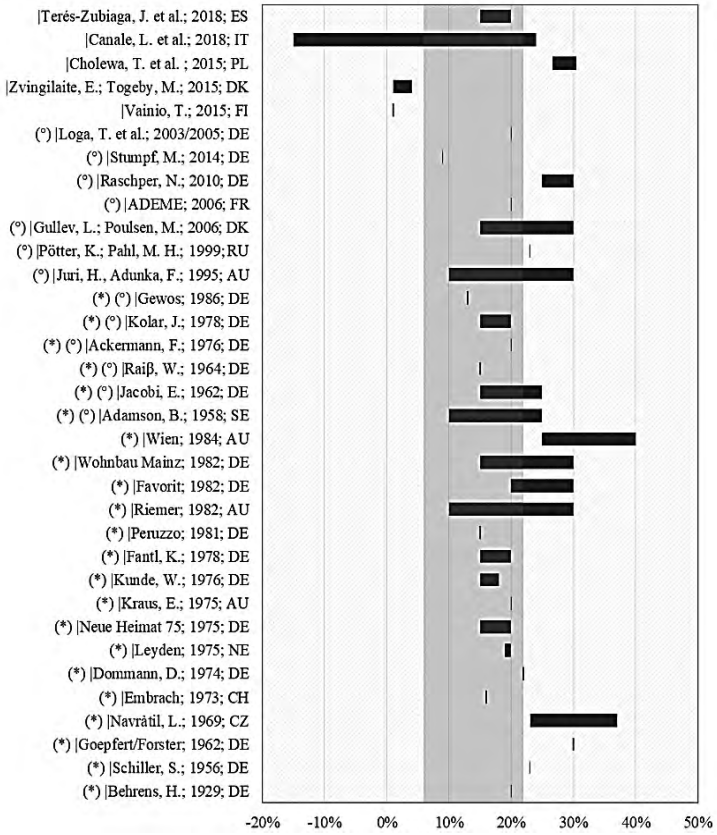


Fig. 8 - Risparmio energetico dei sistemi di contabilizzazione (Canale et al., 2019).

il potenziale di risparmio energetico dei dispositivi di contabilizzazione e di termoregolazione nei climi temperati: il primo (Canale et al., 2018), condotto in circa 3000 appartamenti in tre città italiane, ha evidenziato una grande variabilità di variazione del consumo di energia. Nel campione analizzato dagli Autori è stata osservata una riduzione dei consumi solo in alcuni edifici (beneficio massimo pari al 24%), mentre in altri si è verificato addirittura un aumento dei consumi (aumento massimo pari al 15%) a valle dell'installazione dei sistemi di contabilizzazione. Nel lavoro condotto nel 2018 da Zubiaga et al. in Spagna, è stata riscontrata una riduzione variabile tra il 15 e il 20% del consumo di energia normalizzato durante i primi due anni dopo l'installazione di ripartitori e valvole. La Figura 8 offre una panoramica della letteratura esistente sugli effetti della contabilizzazione nell'UE, evidenziando la variabilità dei risultati insieme al beneficio medio o minimo-massimo ottenuto.

Conclusioni

In conclusione, l'utilizzo dei ripartitori di calore come sistemi di efficientamento energetico ha avuto una rapida diffusione solo a partire dagli anni '70, per divenire obbligatoria in Europa nel 2012. Seppur nella loro breve storia, i risparmi derivanti dall'adozione dei sistemi di ripartizione sono stati stimati, nelle varie configurazioni dei parametri funzionali e climatici, in un range variabile tra 0 e 40%, con un valore medio pari al 20%, più che sufficiente a garantire la assoluta fattibilità economica della loro installazione. I più efficaci sono i CET diretti, che possono essere installati in edifici di nuova costruzione e per questo abbinati a soluzioni tecnologiche più efficienti quali i pavimenti radianti e che possono arrivare a garantire risparmi superiori. I ripartitori, seppur favoriti da un minore costo di installazione e da una maggiore semplicità di installazione, scontano una minore efficacia nella contabilizzazione. Resta inteso che entrambe le soluzioni, ormai obbligatorie, generano dei risparmi energetici di rilievo, tenuto conto che la quota addebitabile al riscaldamento degli edifici è dell'ordine del 40% del consumo energetico mondiale.

Bibliografia

Adamson B., Reijner E. 1958. Wärmeverteilungszählung in Wohnhäusern. GI, 1/1958.

Bruegmann R. 1978. Central Heating and Forced Ventilation: Origins and Effects on Architectural Design. Journal of the Society of Architectural Historians. 37(3), 143-160.

Brun O.C. 1944. Apparatus for measuring heat consumption. Application field August 19, 1939. Patented Jun. 20 (US Patent no: 2,351,920).

Canale L., Dell'Isola M., Ficco G., Di Pietra B., Frattolillo A. 2018. Estimating the impact of heat accounting on Italian residential energy consumption in different scenarios. Energy and Buildings, 168, 385-398.

Canale L., Dell'Isola M., Ficco G., Cholewa T., Siggelsten S., Balen I. 2019. A comprehensive review on heat accounting and cost allocation in residential buildings in EU. Energy and Buildings, 202, 109398.

Celenza L., Dell'Isola M., Ficco G., Palella B.I., Riccio G. 2015. Heat accounting in historical buildings, Energy and Buildings, 95, 47-56.

CEN. 1994. Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators. Appliances without an electrical energy supply, based on the evaporation principle. Standard EN 834. Brussels: European Committee for Standardization.

CEN. 2013. Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators. Appliances with electrical energy supply. Standard EN 834. Brussels: European Committee for Standardization.

Cholewa T., Siuta-Olcha A. 2015. Long term experimental evaluation of the influence of heat cost allocators on energy consumption in a multifamily building. Energy and Buildings, 104, 122-130.

Commissione Europea. 2002. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sulla prestazione energetica degli edifici. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 77/11 del 20.03.2002.

Commissione Europea. 2010. Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 153/13 del 18.06.2010.

Commissione Europea. 2012. Direttiva 2012/27/EU del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 Ottobre 2012 sull'efficienza energetica, modificante le Direttive 2009/125/EC e 2010/30/EU e che abroga le direttive 2004/8/EC e 2006/32/EC. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 315/1 del 14.11.2012.

Csoknay I. 2000. Methods for heat cost allocation. Periodica Polytechnica Ser. Mech.Eng., 44, 227-236.

Dell'Isola M., Ficco G., Arpino F., Cortellessa G., Canale L. 2017. A novel model for the evaluation of heat accounting systemsreliability in residential buildings. Energy and Buildings, 150, 281-293 .

Donaldson B., Nagengast B., 1994. *Heat & Cold: Mastering the Great Indoors, a Selective History of Heating, Ventilation, Refrigeration and Air Conditioning*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning.

Felsmann C., Schmidt J., Mróz T. 2015. *Effects of Consumption-Based Billing Depending on the Energy Qualities of Buildings in the EU.* Dresden: Technische Universität Politechnika Pozna ´nska,

Ficco G., Celenza L., Dell'Isola M., Vigo P. 2016. Experimental comparison of residential heat accounting systems at critical conditions. Energy and Buildings, 130, 477-487.

Petersen V.S.K. 1920. Measuring the consumption of heat. Application field March 30th 1917. Patented Nov. 23 (US Patent no: 1,359,914).

Saba F., Masoero M.C., Fernicola V. 2017. A full-scale thermo-hydraulic simulator for the characterization of building heat cost allocation methods. In: *Proceedings of 18th International Congress of Metrology*, Paris.

Schiller S. 1956. Versuchsergebnisse mit Wärmemessern (Heizkostenverteilern) bei Zentralheizungen. Haustechnische Rundschau, Issue ,12.

Teres-Zubiaga J., Perez-Iribarren E., Gonzalez-Pino I., Sala J.M. 2018. Effects of individual metering and charging of heating and domestic hot water on energy consumption of buildings in temperate climates. Energy Conversion and Management, 171, 491-506.

Vainio T., Airaksinen M., Vesanen T. 2017. Space heating measurement in apartment buildings. in: VTT Technology, 305.

Zvingilaite E., Togeby M. 2015. Feedback effect and the Danish practice for heat metering. In: *Proceedings of Workshop Towards EU Guidelines on the implementation of EED*, Article 9-11, EA Energy Analyses.

Sitografia

[1] Commissione Europea, 2013.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013SC0451&from=EN

[2] Brunata
http://www.brunata.rs/fileadmin/datasheets/UK/uk-qb101420.pdf

[3] Ripartitori
http://www.bosy-online.de/Heizkostenabrechnung.htm

Matteo Ocone

Tra ingegneria strutturale e industrial design nel secondo dopoguerra in Italia

Between structural engineering and industrial design in second post-war in Italy

Sommario
Obiettivo del contributo è l'approfondimento del rapporto di Silvano Zorzi, protagonista della Scuola italiana di ingegneria strutturale nel XX secolo, con il mondo del *design* e dell'architettura, in corso di approfondimento nell'ambito del dottorato in Ingegneria civile all'Università di Roma Tor Vergata. La ricerca SIXXI - XX Century Structural Engineering: the Italian Contribution - ERC Advanced Grant, condotta da Sergio Poretti e Tullia Iori, ha indagato il contributo italiano nella storia dell'ingegneria strutturale nel XX secolo, mettendo in luce come il secondo conflitto mondiale abbia rappresentato un terreno fertile per la Scuola Italiana di Ingegneria. Questo contributo, partendo da quanto emerso dalla ricerca, prende in considerazione gli avvenimenti che iniziano con il periodo di esilio trascorso da Silvano Zorzi in Svizzera a seguito della proclamazione dell'Armistizio, l'8 settembre 1943. Zorzi e alcuni architetti e *designer*, futuri protagonisti della scena milanese, raccolti nei campi di internamento universitario da Gustavo Colonnetti (Iori 2005), hanno modo di apprendere e condividere un approccio al progetto, che sviluppano negli anni della ricostruzione post-bellica, fortemente legato alla produzione. L'istituzione di campi universitari per militari italiani venne affrontata dalla Svizzera nell'autunno 1943 nell'ambito della gestione dell'internamento. I campi di internamento universitari sono quindi da considerarsi non come parte di una libera attività universitaria, ma come aspetto particolare dell'internamento militare, e subordinati a precise norme (Broggini, 1993). Grazie alla documentazione conservata negli archivi italiani, relativa a questo periodo di formazione universitaria in Svizzera, è stato possibile ricostruire i contatti diretti e la rete di relazioni intessuta in quel drammatico periodo. È stato quindi condotto un approfondimento sulle caratteristiche del *design* e dell'architettura che si afferma in area milanese nel dopoguerra, con particolare riferimento all'impiego di soluzioni statiche evolute, ai dettagli minimali nell'impatto figurativo, all'attenzione alle prestazioni dei materiali costruttivi e alla produzione

in serie ma in piccola scala delle minuscole imprese protoartigianali che affiancano i progettisti. Questi temi sono stati messi in connessione con l'approccio di Zorzi al progetto, al cantiere e alla prefabbricazione, riconoscendo le affinità con il lavoro di Ludovico Magistretti, Angelo Mangiarotti, Maurizio Mazzocchi, Giulio Minoletti, Paolo Chessa, Giulio Clerici Rusconi, Alberto Rosselli, Luigi Zuccoli, suoi compagni in Svizzera. La ricerca di dottorato, di cui si riportano alcuni risultati, si inserisce nell'ambito del progetto SIXXI, ERC Advanced Grant 2011, PI Sergio Poretti e Tullia Iori, dedicato alla storia dell'ingegneria strutturale del Novecento in Italia.

Abstract
The aim of this paper is the relationship between Silvano Zorzi, a leader of the Italian School of Structural Engineering in the twentieth century, and the world of design and architecture, which is being studied in PhD program in Civil Engineering at the University of Rome Tor Vergata. The research began with the period of exile spent in Switzerland following the Armistice of Cassibile on 3 September 1943. Zorzi and a group of architects and designers, the future protagonists of the Milanese scene, were gathered in the university internment camps by Gustavo Colonnetti. Here they had the opportunity to learn and share an approach to design, which they developed in the years of post-war reconstruction, strongly linked to production. Thanks to the documentation preserved in the Italian archives relating to this period it was possible to rebuild the established. It was possible to study the characteristics of the design and architecture in the Milan area after the WWII, emphasising the use of advanced static solutions, minimalist details, attention to the performance of materials, and the small-scale production of the craft businesses that worked alongside the designers. These themes were linked to Zorzi's approach to design, construction and prefabrication, recognising affinities with the work of Ludovico Magistretti, Angelo Mangiarotti, Maurizio Mazzocchi, Giulio Minoletti, Paolo Chessa, Giulio Clerici Rusconi, Alberto Rosselli and Luigi Zuccoli, his colleagues in Switzerland. The work was conducted in the Milanese archives of the designers, as far as possible during the pandemic period. The PhD research is part of the SIXXI project, ERC Advanced Grant 2011, PI Sergio Poretti and Tullia Iori, dedicated to the history of 20th century structural engineering in Italy.

Introduzione
«E poi nemmeno l'ordine hanno saputo darci. Di ordini ne è arrivato un fottio, ma uno diverso dall'altro, o contrario. Resistere ai tedeschi - non sparare sui tedeschi - non lasciarsi disarmare dai tedeschi - uccidere i tedeschi - autodisarmarsi - non cedere le armi» così scrive Beppe Fenoglio in Primavera di bellezza raccontando la situazione italiana dal punto di vista di un soldato: una situazione drammatica a

ridosso dell'8 settembre 1943 quando l'Armistizio fa dell'Italia un Paese allo sbando (Fenoglio, 1991).

L'Italia da quel momento affronta una guerra di territorio devastante, che compromette buona parte delle sue infrastrutture. Ma poi, alla fine del conflitto, si riparte, e in poco tempo il Paese raggiunge risultati inimmaginabili, in particolare nel campo dell'ingegneria strutturale e del *design*.

Nel 1964 alla mostra *Twentieth Century Engineering* al Moma di New York, l'Italia è il secondo Paese al mondo per numero di opere di ingegneria esposte dopo gli USA; nel 1972, sempre al Moma, è protagonista di una mostra sul *design* Made in Italy: *Italy: the new domestic landscape*. È sorprendente come un Paese travolto e distrutto dalla Seconda guerra mondiale abbia saputo conquistare in pochi decenni una posizione così rilevante in questi settori da essere celebrata nel più importante museo del Novecento.

Qui di seguito, avvalendosi di documenti conservati in archivi finora poco esplorati da questo punto di vista, viene esaminata, parzialmente, la storia del *design* industriale e di alcuni protagonisti del *Made in Italy*, alla ricerca delle connessioni tra linguaggi, opere e modi di produzione del mondo del *design*, con quelli paralleli dell'ingegneria strutturale. In particolare, del mondo del *design*, qui si considera solo il mondo dell'arredamento: sedie, tavoli, librerie, lampade sono i pezzi che più richiedono incursioni nel mondo della statica e sono quindi più simili alle opere strutturali degli ingegneri.

Ponti e case: premesse di un Made In Italy

Silvano Zorzi (1921-1994) dopo la maturità classica conseguita a Treviso nel 1940 si iscrive nell'anno accademico 1940/41 agli studi di ingegneria dell'Università di Padova sostenendo regolarmente gli esami sino alla sessione estiva del 1943. Alla vigilia dell'Armistizio fa parte di un reparto militare nel Nord Italia ed è sottotenente; poiché rischia la cattura e la deportazione in Germania, preferisce fuggire e rifugiarsi in Svizzera. L'esilio in Svizzera sarà un periodo difficile ma intenso, che lascerà tracce permanenti non solo nella vita di Zorzi ma anche di una piccola comunità di ingegneri e architetti anch'essi rifugiati oltralpe. Qui si trovano infatti personalità di spicco del futuro periodo di ricostruzione post-bellica italiano: tra gli ingegneri Gustavo Colonnetti, Franco Levi e Aldo Favini, e tra gli architetti, Ernesto Nathan Rogers, Angelo Mangiarotti, Ludovico Magistretti, Alberto Rosselli, Maurizio Mazzocchi e Luigi Zuccoli che trascorrono questi mesi insieme a Einaudi, Fanfani, Olivetti e altri 45000 italiani. Ai militari, che in Italia erano studenti universitari, viene offerta la possibilità di trasferirsi in campi di internamento speciali vicino alle università di lingua francese. Colonnetti, già docente di Scienza delle Costruzioni al Politecnico di Torino, contribuisce all'organizzazione dei campi universitari e alla selezione degli studenti; viene quindi nominato Rettore del campo di Losanna, che raccoglie la

maggior parte degli studenti delle facoltà di architettura e ingegneria e i cui alloggi sono raccolti nella cittadina di Vevey (Iori, 2005). In questo periodo di formazione condivisa, in condizioni estreme, i futuri strutturisti imparano a disegnare oggetti nel paesaggio e i futuri industrial *designer* smettono i panni di artisti decoratori per prendere quelli di progettisti di oggetti con complessità statiche. Silvano Zorzi una volta rientrato in Italia, concluse gli studi il 1° dicembre 1945 col conseguimento della laurea in ingegneria civile, sottosezione idraulica, discutendo una dissertazione sul tema "Utilizzazione di un bacino d'accumulazione e progetto di una diga a volte multiple in cemento armato", e riportando un punteggio di 95/110: come da prassi per la Facoltà di Ingegneria, la tesi di laurea non è conservata nel fascicolo personale dello studente; ad oggi non è nemmeno noto il relatore, il cui nominativo, all'epoca, non era di prassi indicato nel verbale di laurea. Colonnetti, che non perse mai di vista il giovane Zorzi, lo chiamò a collaborare al Centro studi sugli stati di coazione elastica che aveva da poco costituito a Torino come sezione del Consiglio Nazionale delle Ricerche che presiedeva dalla fine della guerra. Zorzi ha modo di approfondire nel dettaglio la conoscenza sulla nuova tecnologia, il cemento armato precompresso e comprende che nel prossimo futuro questo materiale permetterà di superare dislivelli ad altezze impensabili mantenendo profili esilissimi e ben armoniosi con il paesaggio. La sua ricerca si concentrerà nell'individuazione di nuovi elementi in cui forma e struttura non sono separabili mostrando così un'innovativa attenzione al dettaglio anche sotto il profilo estetico, una nuova anima della Scuola Italiana di Ingegneria Strutturale.

Subito dopo la guerra, l'ingegneria italiana è protagonista della ricostruzione del Paese e intanto il *design* italiano muove i primi passi a Milano. Il dopoguerra ha come punto di forza l'integrità pressoché totale dell'apparato produttivo: si conta infatti che solo il 20% delle fabbriche sono state distrutte (Grassi e Pansera, 1984) mentre la distruzione sul piano delle vie di comunicazione è molto più grave: 811 ponti ferroviari, circa un quarto del totale con il patrimonio dei ponti metallici ridotto a metà, e 2944 ponti stradali sono le stime finali di quanto distrutto dai bombardamenti alleati e dai guastatori tedeschi (Iori e Poretti 2015).

Per la ricostruzione tutti gli ingegneri disponibili, anche quelli che prima della guerra si occupavano d'altro, vengono chiamati alle armi per costruire ponti. Le imprese di costruzione operative sono spesso nuove, di piccole dimensioni e a gestione familiare, con pochissimi mezzi e molta buona volontà. Alcune, poche, sono sopravvissute al conflitto e agli anni durissimi dell'autarchia e della guerra.

Il lavoro degli ingegneri avviene silenziosamente, senza ribalta, passando quasi inosservato, mentre il dibattito sulla ricostruzione è intanto tutto incentrato sul tema della casa, e "alla casa per tutti" si dedica anche l'VIII Triennale di Milano, che avrebbe dovuto svolgersi nell'estate del 1943, sotto la presidenza del Podestà della città e con il comitato esecutivo composto da Giovanni Muzio, Gio Ponti, Eugenio

Radice Fossati, Raffaele Calzini e Carlo Alberto Felice. Il bando di concorso per studi e progetti di urbanistica porta la data del 1° gennaio 1943: «uno dei maggiori problemi sociali del dopoguerra» - si legge - «sarà quello della ripresa edilizia» che deve essere «disciplinata e organizzata», così da evitare di «rendere infelice la vita degli uomini in ambienti urbani troppo densi e informi soltanto determinati da una volgare e miope speculazione economica». Per questo sono fissate «alte mete»: limitare la città, disciplinare lo sviluppo, accorciare le distanze sociali (Besana, 2016). La Triennale è naturalmente sospesa, ma nell'estate del 1947 il tema è recuperato: «la Triennale polarizzerà tutto il suo sforzo nell'unico tema della casa, della casa per tutti nelle sue varie accezioni» (Bottoni e Bombelli Tiravanti, 1947). Nel clima operoso della ricostruzione, nel mondo del *design* per la casa, Milano diventa protagonista, ed è qui che il passaggio dall'artigianato alla produzione in serie, adatta ai tanti nuovi abitanti delle case di città, trova stimolo.

Nuovi materiali, nuove aziende

Proprio come è successo nel mondo dell'ingegneria strutturale, anche nel mondo del *design* le aziende che subito dopo la fine della guerra vengono coinvolte attivamente hanno diversa natura e origine. Alcune si riconvertono dopo anni trascorsi al servizio dell'industria di guerra, altre vengono fondate da imprenditori che hanno fatto sperimentazioni su materiali nuovi, prima o durante l'autarchia; altre ancora, di stampo familiare e artigianali, ripartono dopo la chiusura imposta dalla mancanza di materiali, operai e clienti durante la guerra e, pur abituate a un livello produttivo locale e anonimo, decidono di affidarsi a nuovi collaboratori per conquistare una nuova fetta di mercato.

Qualche esempio noto, scelto a caso tra quelli incontrati nella ricerca: Carlo Barassi e Renato Teani, impiegati della Pirelli, con Pio Reggani e Aldo Bai, rivenditori di prodotti Pirelli, fondano nel 1950 l'azienda Arflex "Arredamenti flessibili", per provare a sviluppare la produzione in serie di mobili imbottiti usando la gommapiuma, sperimentata nell'arredamento già prima dell'autarchia, ma senza sviluppo proprio a causa della difficoltà di importazione delle materie prime dopo le sanzioni. Decidono di affidare a Marco Zanuso l'applicazione combinata di due materiali, la gomma piuma e i nastricord elastici, sfruttando la metodologia produttiva tipica del mondo automobilistico: nasce così la rivoluzione degli "imbottiti" per l'arredo domestico (Bosoni, 2014).

Anche le sedie e i mobili metallici della RIMA, azienda veneta del tondino di ferro attiva dal 1917, con l'arrivo di nuovi materiali e l'ingresso in azienda nel 1948 di Gastone Rinaldi, ripensa la sua produzione con l'accostamento della gommapiuma e del materiale plastico, che non erano ancora stati presi in considerazione come supporto per l'imbottitura di sedie e poltrone, alla lamiera di ferro e di alluminio, creando le serie DU. Nel 1953 si ufficializza l'esistenza della Gavina che, grazie al suo

fondatore Dino Gavina, aveva da qualche anno iniziato una profonda trasformazione del mobile italiano producendo a Bologna, in un negozio-laboratorio, "poltrone moderne" disegnate da amici progettisti: per l'azienda lavorano Carlo Scarpa, poi Carlo Mollino, Carlo de Carlo e i fratelli Castiglioni. Ugualmente la Borsani Arredamenti, già presente nel mercato dal 1927, decide di passare da una gestione artigianale a una realtà industriale con la fondazione nel 1954 della Tecno, voluta da Osvaldo Borsani che firmerà poi tutti i progetti fino a metà degli anni Sessanta.

La volontà delle aziende era quella di affidare il disegno, e quindi il progetto, a un nome che fosse in grado di identificarsi con i caratteri della nuova produzione industriale e di essere il promotore di una nuova immagine aziendale. Casi emblematici quello di Ponti, con Cassina che porterà alla nascita della famosa sedia 699 Superleggera nel 1957, perfezionamento della Leggera in produzione dal 1952, o i mobili pieghevoli di Albini per la Rinascente e le lampade di Gino Sarfatti per Arteluce. In questi ultimi esempi il progettista è chiamato dall'azienda, che non ha un ufficio di progettazione adeguato, a disegnare l'oggetto, realizzabile con le tecnologie e i mezzi che mette a disposizione. Questa metodologia progettuale è applicata anche nel campo dell'ingegneria nel caso dell'appalto-concorso, strumento principe per esempio della costruzione dell'Autostrada del Sole, in cui le imprese di costruzione si affidano ai migliori progettisti per vincere gli appalti (Iori, 2006). È simile anche il legame tra alcuni progettisti e piccole aziende, che si sforzano di soddisfare linee di sperimentazioni ingegneristiche: ne sono esempi Riccardo Morandi con la piccola azienda dei fratelli Giovannetti e Silvano Zorzi con la ditta di Angelo Farsura (Iori et al., 2021).

Se l'autarchia aveva favorito la nascita di nuovi materiali per la costruzione poi diventati protagonisti durante la ricostruzione, quali il ferrocemento di Pier Luigi Nervi, brevettato nel 1943, e il sistema M1 per il cemento armato precompresso, brevettato da Morandi nel 1944 (Iori e Poretti, 2015), certamente aveva favorito anche tutte le ricerche sulle materie plastiche. Se queste derivano in parte da alcuni noti prodotti di sintesi chimica già sviluppati all'estero, per buona parte sono però il risultato di studi autarchici rivolti all'affinamento di tecniche nella lavorazione di estratti naturali di origine animale, il latte, e vegetale, resine e gomma. Il 6 novembre 1963 sulle pagine de L'Avanti, nell'articolo Premio Nobel per la chimica dice Giulio Natta: «L'Autarchia spinse molti chimici all'indagine su nuove materie, ma molti lasciarono questa ricerca quando alla ricerca mancarono le ragioni politiche. A me non interessava la politica ma la ricerca, così anche quando finì la necessità politica dell'autarchia continuai a cercare». Uno degli allievi di Natta al Politecnico di Milano è l'ingegner Giulio Castelli, fondatore nel primissimo dopoguerra della Kartell, indiscusso punto di riferimento per la storia del *design* delle materie plastiche in Italia. L'azienda paterna di Castelli si occupava, negli anni Trenta, di fusione e stampaggio di medaglie commemorative spesso in metalli di stretta osservanza autarchica.

Una nuova figura professionale che si adatta ai cambiamenti

In questi anni entrano in scena i protagonisti di un passaggio epocale che sfocia poi nella nascita di una nuova professione, il *designer* industriale: si passa dal creare un'invenzione, frutto del talento artistico affinato dalla Accademia di Belle Arti fino agli anni '30, a produrre il risultato di una progettazione esito della tecnica e della Scuola Politecnica, luogo di formazione sin dalla nascita della nuova professione: l'architetto dove dominante è il fatto architettonico. Con la seconda generazione invece, quando «una sedia e una poltrona non sono cimenti di cultura ma oggetti di mercato, nel senso attivo della parola, elementi di aggancio al mondo della produzione» (Gregotti, 1957), scatta finalmente il meccanismo dell'*industrial* e del *product design*. I giovani della seconda generazione, tra i quali Castiglioni, Zanuso, Magistretti, Mangiarotti, Rosselli, consolidano uno stile e sono le firme dell'*Italian style* che diverranno poi famosi. Con loro si individua una scala ridotta della progettazione, uno spazio autonomo d'intervento, parallelo ma non del tutto coincidente con lo spazio architettonico: Marzo Zanuso saprà addirittura applicare poi questo procedimento, a ritroso, al progetto d'architettura. In questa seconda generazione il progettista non si sente più un artista decoratore come i protagonisti del Liberty, né un artista come Gio Ponti, ma i protagonisti di una formazione tecnica ed esponenti di una cultura politecnica. Il mondo dell'edilizia si appassiona al cemento armato, all'acciaio, poi al cemento armato precompresso, e per questo rivoluziona il linguaggio architettonico rifiutando gli eclettismi in cerca di un modo moderno, funzionale, di costruire. Parallelamente cambia anche il modo di avvicinarsi al disegno degli oggetti d'uso, dei mobili, delle sedie, rendendo consueto un processo di progettazione già iniziato, ad esempio, con Terragni e con la progettazione della sedia lariana: ormai l'architetto è un tecnico capace di affrontare il problema statico, di essere stimolato dal tema dello sbalzo, della mensola, della sezione sottile, della resistenza per forma.

Riassumendo: nella fase post-bellica, l'ingegneria è impegnata in una fase di ricostruzione di strade, ponti e ferrovie distrutte, con piccole imprese artigianali che si affidano ad almeno due generazioni di progettisti di alto livello; il mondo del *design*, che in questo momento è ancora molto legato a quello dell'architettura, è indaffarato nella risoluzione del problema abitativo, con milioni di abitazioni da realizzare, e quindi anche da arredare; per questo ruolo si comincia a individuare una figura professionale specifica, di tecnico creativo capace di dialogare con il mondo della produzione. Il mondo imprenditoriale sta intanto affrontando un processo di modernizzazione, dove aziende impegnate prima della guerra nella produzione artigianale affrontano ora un nuovo modello protoindustriale.

È in questo clima operoso che si gettano le basi del futuro *Made in Italy*, che sarà celebrato al MOMA di New York. Il primo traguardo è raggiunto dalla Scuola Italiana di Ingegneria, che nel 1964 porta l'Italia a essere celebrata come una delle

migliori ingegnerie del mondo nella citata mostra *Twentieth Century Engineering* dove si espongono opere di protagonisti dell'architettura quali Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi, Silvano Zorzi, Franco Levi, Carlo Cestelli Guidi, Claudio Marcello e altri. La Scuola ha raggiunto l'apice con l'Autostrada del Sole, le opere per le Olimpiadi a Roma del 1960, le prime a essere trasmette in televisione, e le celebrazioni del Centenario dell'Unità Nazionale a Torino, nel 1961. Il mondo del design viene celebrato, invece, un decennio dopo, nel 1972, con una mostra dal titolo *Italy: The New Domestic Landscape* che riconosce il lavoro di alcuni designer tra i più fertili dell'epoca attraverso un sistema di categorie e distinzioni: gli "Oggetti", esposti in spazi esterni del museo, e gli "Ambienti" all'interno del museo.

Il design e l'ingegneria nel rapporto con l'industria

Nell'immediato dopoguerra il dibattito è tutto sulla ricostruzione della casa e soprattutto sul ruolo possibile della prefabbricazione. Già nella primavera del 1945 il CNR bandisce un concorso per la progettazione di case prefabbricate con l'obiettivo di incoraggiare tecnici, architetti, ingegneri e industriali a portare il loro contributo ai problemi della ricostruzione. A poco più di un anno dalla Liberazione Gio Ponti, tra i primi, dalle pagine di "Stile", si esprime contro la mancanza di una visione complessiva del futuro dell'Italia, contro l'assenza di un piano d'indirizzo per la costruzione di una nuova civiltà, del costruire e dell'abitare. Ponti era molto favorevole alla prefabbricazione applicata alla casa e la sua proposta di piano per la ricostruzione del Paese si fondava sulla collaborazione tra progettisti e aziende (Feraboli, 2020): collaborazione che vedremo non sarà applicata nel mondo della costruzione ma che, al contrario, sarà la fortuna del mondo del *design*.

«La stessa organizzazione tecnica che consente all'operaio e al contadino di possedere una bicicletta o una radio, strumenti complessi prodotti a un costo relativamente basso, deve essere mobilitata per permettere a tutti di possedere quello strumento essenziale di civiltà che è la casa.» così scrive Ignazio Gardella sulle pagine di Costruzioni Casabella nel 1946 (Gardella, 1946). Al contempo bisogna tenere presente il legame industria-prefabbricazione: «ogni studio progettistico di prefabbricazione, infatti, se sviluppato lontano dall'industria rimane vuoto di ogni significato come un gioco di azzardo senza denaro» (Minoletti, 1949).

Le voci a favore della prefabbricazione della casa sono molte, tra cui quella di Bruno Zevi, Mario Ridolfi, Franco Albini. Ciò nonostante, nel 1949 viene varato il Piano Fanfani, diretto da Arnaldo Foschini, che ha a disposizione i fondi gestiti da un'apposita organizzazione presso l'Istituto Nazionale delle Assicurazioni, l'INA: la gestione INA Casa. Il piano Fanfani presenta un'impostazione antindustriale, perfettamente funzionale allo scopo di abbattere il tasso di disoccupazione operaia, che conferma il modello della costruzione tradizionale. Il cantiere INA Casa è concepito per l'impiego massiccio di manodopera non specializzata, escludendo del tutto le

sperimentazioni sulla prefabbricazione e mantenendo la struttura del settore edile caratterizzata da piccole imprese disseminate sul territorio (Poretti, 2002).

Anche nel campo del design per la casa le cose cambiano. La direzione di Ernesto Nathan Rogers di Domus, dal gennaio 1946 al dicembre 1947, si apre con un editoriale che delinea la strada della rivista nel successivo biennio: "Programma: Domus, la casa dell'uomo", con l'obiettivo di trovare «l'armonia tra la misura umana e la divina proporzione» (Rogers, 1946), anche cercando la risposta, attraverso una serie di interventi sul tema, alla possibilità di costruire mobili in serie. Quindici milioni sono i vani da costruire e quindi anche da arredare; e sempre in questa luce si possono leggere le dichiarazioni di Rogers alla conferenza di Zurigo, pubblicate sul numero 215 di Domus nel novembre del 1946: «Ricostruzione: dall'oggetto d'uso alla città», «dal cucchiaio alla città». Si sottolinea l'importanza della figura dell'architetto che coincide con la figura del designer. Come scrive anche Alberto Rosselli: «chi disegna un oggetto per l'industria deve possedere la sensibilità dell'architetto» (Rosselli, 1949).

Intanto la sperimentazione di nuovi materiali sulla produzione di serie porta ai primi risultati: come accennato a proposito dei nuovi materiali, Zanuso utilizza la gommapiuma e il nastro elastico nella poltrona Lady per Arflex, presentata alla IX Triennale del 1951. Lavorando a stretto contatto con i tecnici di fabbrica e i tappezzieri, Zanuso inizia a dar forma alla gommapiuma partendo da grossi blocchi, sforbiciandoli, per poi imparare dai tecnici che questo nuovo materiale può essere stampato direttamente in forma predefinite (Grignolo, 2016). L'anima interna della poltrona è composta da strisce di nastricord, un materiale derivato dalla lavorazione degli pneumatici Pirelli, fatto di fettucce di tessuto rivestite di gomma. L'elasticità e il *comfort* sono alla base del panino fatto di materiali che compongono la seduta, così come la specularità assiale di braccioli, seduta-schienale e piedini, sono pensati per ridurre componenti e facilitare la filiera di produzione fino all'assemblaggio finale. Le quattro parti che compongono la sedia, seduta, schienale e due fiancate-braccioli, sono prima imbottite e rivestite separatamente e solo successivamente assemblate, secondo il sistema della catena di montaggio per la produzione in grande serie. Zanuso progetta da architetto, ma pensa da costruttore: il prodotto tiene conto della filiera di produzione con elementi simmetrici assemblabili al termine della catena di montaggio e quindi oggetto non pensato per una finitura manuale e artigianale.

L'introduzione delle materie plastiche pone problematiche specifiche e inedite alla produzione: per la prima volta un prodotto in un materiale artificiale ha la possibilità di essere realizzato con relativa semplicità progettuale-costruttiva in grande numero di esemplari e a prezzi ridotti. Con la plastica il taylorismo fordista ha trovato una vera e propria praticabilità di massa (Cecchini, 2006). Lo stesso Ponti nel 1954 scrive «tutto va verso le materie plastiche, perché queste sono state create in maniera artificiale dall'uomo esclusivamente per lo scopo del nostro uso, sono

facili da produrre e lavorare, sono durature e disponibili. Quindi l'essere artificiali e non di derivazione naturale, non deve essere considerato un segno deteriore, anzi va considerato orgogliosamente come il frutto del progresso. L'architettura moderna ha quindi bisogno delle materie plastiche per poter rispondere alle nuove esigenze della costruzione: economicità, rapidità, leggerezza, precisione, colore, trasparenza» (Ponti, 1954).

Quindi nel campo del design l'industria riesce ad assumere un ruolo importante per innescare quell'importante processo che porta al passaggio dall'artigianato alla produzione in serie, industriale. Nel campo delle costruzioni invece l'industria non riesce a ritagliarsi nessuno spazio, è anzi mal vista, perché il problema dell'occupazione di una popolazione operaia inesperta è colmabile solo con la tradizionale tecnica costruttiva.

Una delle voci fuori dal coro, che sarà oggetto di approfondimento insieme ad altri esponenti, è costituita dall'architetto Cesare Pea, che alla Fiera di Milano del 1957 propone un progetto di una casa prestampata, nel quale l'attenzione è tutta rivolta alla possibilità che offre lo stampaggio di grandi elementi di plastici rinforzati. «L'intento era quello di portare un contributo alla tecnica della prefabbricazione segnalando la possibilità che offre lo stampaggio dei grandi elementi in materia plastica per l'edilizia e per l'industria in generale» (Pea, 1957).

Paradossalmente, nella produzione del mobile, dove è più forte la tradizione artigianale e dove artigianali restano molti processi di lavorazione, il rapporto fra progetto e produzione è più stretto che in altri settori industriali ed è qui che facilmente si verifica una progettazione integrale. Questo è possibile anche perché la forma rende esplicite le modalità di lavorazione, sono assenti involucri e carrozzerie e si può quindi affermare che ogni modello esprima contemporaneamente la sua forma e la sua struttura costruttiva. In molti casi la stessa valenza estetico-formale dipende proprio dal più corretto, e progettato, impiego di una determinata tecnica (De Fusco, 2004). Molti altri modelli, nel tempo, a volte prodotti in piccola serie, altre in grande serie, oltre alla Lady di Zanuso, dichiarano in modo evidente la tecnica che li conforma. Possiamo ricordare, solo per citare alcuni esempi noti: la poltrona Cubo nata per volontà di alcuni ricercatori della Pirelli dei fratelli Castiglioni del 1957, la seduta Selene stampata in resina rinforzata GRP di Vico Magistretti per Artemide nel 1966, la poltroncina Jumbo in vetroresina di Alberto Rosselli disegnata per la Fratelli Saporiti nel 1968, i tavoli e le sedute della serie Eros di Angelo Mangiarotti in marmo a incastro prodotti per Tisettanta nel 1969.

Conclusioni

Terminata la guerra, con il Paese da ricostruire, l'industria sembra essere il motore per far ripartire il Paese, ma questo non è vero in ogni ambito: nel mondo delle costruzioni, nonostante qualche timido tentativo iniziale, l'industrializzazione e la

prefabbricazione sono subito abbandonate a causa del problema occupazionale; infatti, il Piano INA Casa si basa proprio su un cantiere artigianale. Al contrario, nell'emergente mondo del *design*, il volano della riconversione delle industrie, l'esigenza di arredare milioni di abitazione e la possibilità di sperimentare attraverso l'uso di nuovi materiali, permette alla produzione in serie di svilupparsi.

Su questa strada la ricerca continua, mettendo in luce la sperimentazione avviata dal periodo dell'autarchia, cercando di comprendere le eventuali connessioni tra storia dell'ingegneria strutturale e storia del design. Ora bisogna indagare le connessioni tra ingegneri, architetti e *designer* che si trovano a rispondere agli stessi problemi sociali, offrendo soluzioni caratteristiche in ciascun ambito ma con un approccio comune. In questa direzione, vanno lette in parallelo le figure di due grandi protagonisti di questi due mondi, accomunati dalla comune esperienza dell'esilio in Svizzera: Angelo Mangiarotti e Silvano Zorzi, in cui si fondono architettura, design e ingegneria. Ma i punti di contatto tra ingegneria e design sono chiari.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare la Professoressa Tullia Iori per il supporto nella ricerca; i dipendenti degli Archivi Storici del Politecnico di Milano; il personale dell'ufficio Gestione documentale Settore Archivio di Ateneo dell'Università di Padova; Giovanna Castiglioni e Antonella Gornati della Fondazione Achille Castiglioni; Claudia Di Martino della Biblioteca della Triennale di Milano; la Biblioteca Area Ingegneria dell'Università di Roma Tor Vergata e tutti gli enti e tutte le persone che, nonostante il periodo di emergenza sanitaria, mi hanno aiutato nella ricerca.

Bibliografia

Besana R. 2016. *La grande T rossa. La Triennale di Milano 1923-2015*. Milano: Triennale di Milano.

Bosoni G. 2014. Franco Albini e la Gommapiuma Pirelli. Per una storia della schiuma di lattice di caucciù in Italia (1933-1951). AIS/Design Journal, 2(4), 51-70.

Bottoni P. Bombelli Tiravanti L. 1947. *Ottava Triennale di Milano. Catalogo guida*. Milano: Stamperia grafica Meregalli.

Broggini R. 1993. *Terra d'asilo. I rifugiati italiani in Svizzera 1943-1945*. Bologna: Il Mulino

Capurso G. 2020. *Struttura e architettura indagini sul dopoguerra italiano*. Roma: Gangemi Editore

Cecchini C. 2006. *Moplen. Il design delle plastiche negli anni del boom*, Roma: Designpress.

De Fusco R. 2004. *Storia del design*. Bari: Editore Laterza.

De Fusco R. 2012. *Filosofia del design*. Torino: Einaudi.

Dardi D., Pasca V. 2019. *Manuale di storia del design*. Cinisello Balsamo: Silvana Editoriale

Fenoglio B. 1991. *Primavera di bellezza*. Torino: Einaudi.

Feraboli M. T. 2020. Prefabbrichiamo la futura civilità. Rassegna di Architettura e Urbanistica, LV(162), 14-22.

Gardella I. 1946. Che cosa è la prefabbricazione? A-Quindicinale di attualità, architettura, abitazione, arte, 1(5), 6.
Grassi A., Pansera A. 1980. *Atlante del design italiano 1940/1980*. Milano: Gruppo Editoriale Fabbri.
Gregotti V. 1957. Marco Zanuso architetto della seconda generazione. Casabella-Continuità, 216, 60.
Grignolo R. 2016. *Marco Zanuso e le fabriche Olivetti: un processo di "concretizzazione"*. *In: Pensiero tecnico e cultura del progetto* (a cura di M. Perriccioli). Milano: Franco Angeli.
Iori T. 2005. L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia. In: *Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli. Esperienze didattiche e di ricerca a confronto. Ravenna 27-29 ottobre 2005* (a cura di G. Mochi). 2, 763-772. Ravenna: Edizioni Moderna.
Iori T. 2006. L'Autostrada del Sole. In: *Storia dell'ingegneria. Atti del 1° convegno nazionale, Napoli 8-9 marzo 2006.* (a cura di A. Buccaro, G. Fabbricatore, L.M. Papa). 2, 1111-1120. Napoli: Cuzzolin editore.
Iori T., Poretti S. 2015. Fotoromanzo SIXXI. 3. La Sperimentazione autarchica. 4. La Ricostruzione. In: *SIXXI 2. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia* (a cura di T. Iori, S. Poretti). 111-152. Roma: Gangemi.
Iori T. 2018. #pontemorandi: cronaca di un crollo annunciato. *Rassegna di architettura e urbanistica*, 155, 113-116;
Iori T., Capurso G., Di Pietro C. 2021. Le imprese di costruzioni italiane: una storia tutta da scrivere-Italian Construction Companies: a story yet to be written. L'industria delle costruzioni, 477, 4-13;
Maldonado T. 1991. *Disegno industriale: un riesame.* Milano: Feltrinelli.
Minoletti G. 1949. Case in grande serie. Invito alle imprese. Cantieri: informatore tecnico, 17, 3-4
Pea C. 1957, Casette "prestampate". Domus, 334, 4-5
Ponti G. 1946. Prefabbrichiamo la futura civiltà. Stile, 10, 4
Ponti G. 1954. Materie plastiche e architettura moderna. Materie Plastiche, 1.
Poretti S, (a cura di) 2002. *L'INA Casa. Il cantiere e la costruzione*. Roma: Gangemi Editore.
Rinaldi A. 2014. *Evoluzione delle materie plastiche nel design per l'edilizia 1945-1990*. Milano: Franco Angeli.
Rogers E.N. 1946. Ricostruzione: dall'oggetto d'uso alla città. Domus, 215, 2-5.
Rosselli A. 1949. Disegno per l'industria. Domus, 238, 40-41

Giuliana Nardacchione

L'ingegneria e l'innovazione tecnologica come ausilio per la sclerosi multipla

Engineering and technological innovation as an aid for multiple sclerosis

Sommario
Il presente contributo mira ad analizzare le concettualizzazioni teoriche e pratico-applicative dell'intersezione dialogica tra la scienza, l'ingegneria e le disabilità motorie derivanti da malattie neurodegenerative. Il focus dell'analisi si sposta dalla mera definizione epistemologica della disabilità come menomazione, handicap o limite alle modalità di superamento delle barriere architettoniche mediante il ricorso ad ausili tecnici di progettazione ingegneristica. Nello specifico, si analizzerà l'elettrostimolazione funzionale per il recupero del controllo del piede e del ginocchio delle persone con sclerosi multipla che presentano un *drop foot*, o piede cadente, quale soluzione sostenibile e funzionale a promuovere la riabilitazione muscolare e, conseguentemente, garantire la tutela del diritto all'inclusione e all'accesso dei disabili alle loro comunità.

Abstract
This paper aims to analyze the theoretical and practical-applicative conceptualizations of the dialogical intersection between science, engineering and motor disabilities resulting from neurodegenerative diseases. The focus of the analysis shifts from the mere epistemological definition of disability as an impairment, handicap or limitation to how to overcome architectural barriers through the use of technical aids of engineering design. Specifically, we will analyze the functional electrostimulation for the recovery of control of the foot and knee of people with Multiple Sclerosis who have a drop foot as a sustainable and functional solution to promote muscle rehabilitation and, consequently, ensure the protection of the right to inclusion and access of disabled people to their communities.

Introduzione
Questo contributo vuole analizzare e approfondire, attraverso l'evoluzione, anche storica, degli aspetti più significativi dell'intervento riabilitativo, i progressi della

progettazione ingegneristica in aiuto alla Sclerosi multipla-SM, una malattia autoimmune che colpisce il Sistema Nervoso Centrale-SNC (Larocca, 2011).

Per i professionisti del settore dell'ingegneria biomedica e della riabilitazione motoria, è necessario pensare e strutturare tutte le relazioni sociali dell'individuo con sclerosi multipla in un percorso evolutivo che possa favorire il raggiungimento di una nuova omeostasi psicofisica e psicosociale, attraverso l'intersezione di diverse tipologie d'intervento: farmacologico, nutrizionale, psicologico e riabilitativo. Nel seguito, l'attenzione è posta prevalentemente sull'intervento riabilitativo, partendo dal presupposto che nella sclerosi multipla la disabilità motoria si verifica nel 75% dei casi e che, per tale ragione, risulta necessaria un'assistenza per l'andatura (Martin et al., 2006).

I disturbi dell'andatura sono segnalati tra gli effetti più invalidanti della malattia, in quanto limitano l'indipendenza, riducono la mobilità, influiscono sulla partecipazione sociale e, più in generale, sulla qualità della vita. Uno dei disturbi più comuni è il piede cadente, o *drop foot*, che comporta un'incapacità di dorsiflettere il piede durante la fase di oscillazione dell'andatura, a causa della debolezza dei dorsiflessori (Taylor et al., 2016). Questo controllo neuromuscolare inappropriato intorno alla caviglia crea un'andatura molto innaturale e limita diversi aspetti della camminata come velocità, resistenza, dispendio energetico ed equilibrio (Cowan et al., 2012). In più, l'incapacità di dorsiflessione provoca anche il trascinamento del piede da parte del paziente, con conseguente aumento del rischio di inciampi e cadute (Martin et al., 2006).

Un approccio possibile al trattamento riabilitativo del piede cadente prevede l'utilizzo di dispositivi neuroprotesici che utilizzano la Stimolazione Elettrica Funzionale-FES, che stimola elettricamente i muscoli dorsiflessori del piede durante la fase di oscillazione della deambulazione, favorendo da una parte un modello di andatura più naturale e riducendo, dall'altra, il verificarsi di atrofia muscolare (Taylor et al., 2016).

Uno sguardo storico

L'uso della Stimolazione Elettrica Funzionale nel trattamento delle condizioni neurologiche ha una lunga, anche se non antica, storia, che negli ultimi anni ha visto grandi progressi nel settore della riabilitazione.

Nel corso della storia, la maggior parte delle indagini sulla FES hanno riguardato, ad esempio, la funzione della deambulazione (Kralj e Vodovnik, 1977), la spasticità (Alferi, 1982) e la funzione degli arti superiori (Peckham e Mortimer, 1977), il miglioramento del disordine della vescica (Tallis et al., 1983), la gestione della scoliosi idiopatica (Axelgaard, 1984).

Nel 1744, veniva utilizza una "elettricità statica" per correggere la contrattura delle dita (Reswick, 1973) e nel XIX secolo questa tecnica fu estesa alla stimolazio-

ne dei nervi attraverso elettrodi di superficie posti sui tronchi nervosi (Kaplan, 1959).

Negli anni ’50 del Novecento, fu studiato l’uso della stimolazione elettrica per alleviare la spasticità nei pazienti emiplegici (Levine et al., 1952). Qualche anno dopo, fu coniato da Liberson et al. (1961) il termine “elettroterapia funzionale” in seguito a delle esperienze che prevedano il ricorso alla stimolazione elettrica per migliorare l’andatura dei pazienti emiplegici.

La stimolazione durante la fase di oscillazione sembrò migliorare l’andatura in tutti i pazienti e fu osservato un miglioramento transitorio della dorsiflessione volontaria dopo il periodo di stimolazione (Liberson et al., 1961).

Il termine attuale, Stimolazione Elettrica Funzionale, è stato coniato da Moe e Post perdescrivere la stimolazione elettrica dei muscoli privi di controllo neurale al fine di produrre una contrazione funzionalmente utile (Moe e Post, 1962).

Uno studio del 1961 ha esaminato gli effetti della FES sul nervo peroneo in soggetti che presentavano un *droop foot.* La stimolazione durante la fase di oscillazione sembrò migliorare l’andatura in tutti i pazienti e fu osservato un miglioramento transitorio della dorsiflessione volontaria dopo il periodo di stimolazione (Liberson et al., 1961).

Qualche anno dopo, Dimitrijevic e colleghi presentarono i risultati di un “tutore peroneale elettronico funzionale”, il quale favoriva un notevole miglioramento nell’andatura dei pazienti che, in seguito al suo utilizzo, erano maggiormente in grado di camminare con più sicurezza e per periodi di tempo più lunghi (Dimitrijevic et al., 1968).

In realtà, la Stimolazione Elettrica Funzionale, nel corso della sua evoluzione storica, non è stata solo utilizzata per migliorare il controllo motorio in pazienti conemiplegia (Gracanin, 1972) e sclerosi multipla (Carnstam et al., 1977), ma anche in pazienti con lesioni del midollo spinale (Cybulski et al., 1984) e paralisi cerebrale. A proposito di quest’ultima, Gracanin e collaboratori riportarono una modifica del tutore peroneale elettronico funzionale-FEPB che fu valutata su 120 bambini di età pari o superiore a un anno, affetti da paralisi cerebrale, per la stimolazione unilaterale o bilaterale del nervo peroneo. Si ottenne un miglioramento dell’andatura nella maggior parte dei pazienti e fu coniato il termine stimolazione elettrica funzionale alternata controllata controlateralmente-CCA FES per descrivere il tutore peroneale adattato (Gracanin et al., 1976).

Nel 1981 Vodocnik e i suoi collaboratori descrissero il successo dell’applicazione della CCA FES in 263 su 415 bambini con paralisi cerebrale: i 2/3 hanno mostrato un miglioramento dell’andatura che è stato mantenuto dopo l’interruzione del programma di stimolazione. Gli stessi ricercatori hanno riassunto vari obiettivi clinici della FES, tra cui il ripristino dei meccanismi motori riflessi di base coinvolti nelle attività ritmiche, ad esempio l’andatura, e la sostituzione delle funzioni motorie assenti a seguito di una lesione del SNC (Vodocnik et al., 1981).

L'elettrostimolazione funzionale per il drop foot nella sclerosi multipla

L'elettrostimolazione funzionale ha avuto un grande riscontro terapeutico nel trattamento riabilitativo del *drop foot*, o piede cadente, nella sclerosi multipla, una patologia cronica autoimmune demielinizzante del Sistema Nervoso Centrale, caratterizzata da una disseminazione spaziale e temporale di segni neurologici che sottende una degradazione focale della guaina mielinica con danno assonale e una progressiva invalidità con accumulo di deficit neurologici irreversibili (Murray, 2006).

Rispetto l'eziopatogenesi della sclerosi multipla, le ricerche indicano la possibilità che si tratti di una malattia autoimmune scatenata da uno o più agenti ambientali sconosciuti, quindi a un'origine multifattoriale, in soggetti geneticamente predisposti. Tuttavia, "predisposizione genetica" non significa che la sclerosi multipla sia ereditaria, sebbene gli studi epidemiologici abbiano riscontrato una maggiore frequenza della patologia in componenti dello stesso nucleo familiare; nonostante ciò, l'incidenza resta comunque molto bassa (Larocca, 2011).

I sintomi della sclerosi multipla sono dovuti all'alterato funzionamento degli impulsi nervosi in corrispondenza delle aree di degradazione mielinica e del relativo danno assonale; all'esordio della patologia sono molto variabili, in quanto inizialmente possono regredire totalmente o parzialmente, o possono peggiorare progressivamente con fasi di riacutizzazione (Murray, 2006).

Circa il 75% delle persone affette da sclerosi multipla riporta un disturbo dell'andatura che determina una riduzione della mobilità con conseguente limitazione nel camminar e ciò richiede una riabilitazione dell'andatura in maniera individualizzata (Larocca, 2011).

Il *drop foot* nella sclerosi multipla è dovuto a un problema del nervo peroneo che invia messaggi ai muscoli che sollevano il piede e che causa, in primo luogo, un'incapacità di sollevare il piede durante la fase di oscillazione dell'andatura e, in secondo luogo, un aumento del rischio di cadute, una camminata faticosa e un senso di affaticamento continuo (Taylor et al., 2013). In altre parole, la caduta del piede si presenta come una riduzione della dorsiflessione durante l'appoggio del tallone e la fase di oscillazione del cammino, impattando negativamente sulla qualità della vita (Taylor et al., 2016).

Nel caso del *drop foot*, l'elettrostimolazione si definisce "funzionale" perché la stimolazione dei muscoli produce la flessione dorsale del piede durante il cammino, nella fase di oscillazione della gamba a causa di un ridotto comando volontario. La SEF, dunque, fornisce elettrici al nervo peroneo mediante elettrodi di superficie o impiantati ai muscoli anteriori del polpaccio, permettendo di imitare il normale movimento volontario dell'andatura mediante il sollevamento del piede durante la fase di oscillazione dell'andatura e determinando un corretto posizionamento del piede a terra. Infatti, se nel cammino c'è una insufficiente flessione dorsale del piede durante la sospensione dell'arto inferiore, il muscolo, mediante la SEF, può contrarsi in ri-

sposta a particolari stimoli elettrici, anche non dolorosi, i quali mirano a un recupero dell’attività motoria (Van der Linden et al., 2004).

L’obiettivo è quello di fare della stimolazione non un’attività sostitutiva, bensì un’attività che facilita il comando volontario che “ricorda” al cervello come aumentare il comando volontario diretto al muscolo in quella certa attività (Miller et al., 2016).

Conclusioni

Nelle nazioni industrializzate, l’innovazione tecnologica è progredita a un ritmo così accelerato che ha permeato quasi ogni aspetto della vita.

Sebbene l’arte della medicina abbia una lunga storia, l’evoluzione di un sistema sanitario a base tecnologica, in grado di fornire un’ampia gamma di trattamenti diagnostici e terapeutici efficaci, è un fenomeno relativamente nuovo e in questo contesto l’ingegneria è stata coinvolta direttamente in molte iniziative mediche. Di conseguenza, la disciplina dell’ingegneria biomedica è da tempo emersa come mezzo di integrazione di due professioni, la medicina e l’ingegneria, fornendo strumenti, strumentazione, materiali e tecniche che possono essere utilizzati per la ricerca, la diagnosi e il trattamento di specifiche patologie (Miller et al., 2016).

In altre parole, l’ingegneria biomedica, coinvolgendo funzioni come il monitoraggio medico (ad esempio, la visualizzazione PET dei recettori cerebrali per identificare la disfunzione neuronale), la diagnosi medica (ad esempio, l’analisi della struttura ecocardiografica computerizzata per rilevare infarti del miocardio) e la radioterapia per il trattamento del cancro, consente l’avanzamento delle conoscenze in ingegneria, biologia e medicina per il miglioramento della salute umana, mediante l’applicazione innovativa e sostanziale di tecniche sperimentali e analitiche basate sulle scienze ingegneristiche (Ghista, 2009).

Gli ingegneri biomedici, lavorando costruttivamente con altri professionisti sanitari (medici, infermieri, terapisti, tecnici), si occupano di progettazione di strumenti, dispositivi e software, per sviluppare nuove procedure atte alla risoluzione di problemi in campo biologico e medico, al fine di fornire un miglioramento generale dell’assistenza sanitaria mediante l’applicazione di tecnologie avanzate (Horton, 2000).

L’identità di una comunità scientifica, dunque, viene definita, in ambienti tecnici e scientifici, in gran parte dalla sua evoluzione storica in termini di persone e contenuti che hanno contribuito al suo successo (Koetsier, 2000).

In tal contesto, gli ingegneri biomedici possono essere coinvolti, ad esempio, nella progettazione di nuovi dispositivi protesici medicali non solo per l’avanzamento delle conoscenze in campo biomedico, ma anche e soprattutto per aiutare le persone con disabilità, offrendo, in questo modo, soluzioni funzionali a garantire la tutela del diritto all’inclusione e la piena ed effettiva partecipazione sociale.

Bibliografia

Axelgaard J. 1984. Transcutaneous electrical muscle stimulation for the treatment of progressive spinal curvature deformities, International Journal of Rehabilitation Medicine, 6, 31–46.

Alferi V. 1982. Electrical treatment of spasticity. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, 14, 177–182.

Carnstam B., Larsson L., Prevec T. 1977. Improvement of gait following functional electrical stimulation. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, 9, 7–13.

Cowan R.E., Fregly B.J., Boninger M.L. 2012. Recent trends in assistive technology for mobility. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 9, 20–27.

Cybulski O.R., Penn R.D., Jaeger R.J. 1984. Lower extremity functional neuromuscular stimulation in cases of spinal cord injury. Neurosurgery, 15, 132–146.

Dimitrijevic M.R., Gracanin F., Prevec T., Trontelj J. 1968. Electronic control of paralysed extremities. Biomedical Engineering, 3, 8–14.

Ghista D.N. 2000. Biomedical engineering: yesterday, today, and tomorrow, 19(6), 23–28.

Gracanin F. 1972. The role of functional electrical stimulation of extremities in rehabilitation medicine. Europa Medicophysica. 8, 48–55.

Gracanin F., Vrabic M., Vrabic G. 1976. Six years experience with PES method applied to children. Europa Medicophysica, 12, 61–68.

Horton B. 2000. Bioengineering programmes rise to meet the challenge of a young science. Nature 403, 463–65.

Kaplan E.B. 1959. Physiology of Motion. Demonstrated by means ofelectrical stimulation and clinical observation andapp/ied to the study of paralysis and deformities. [Translation of the work by Dr GB Duchenne de Boulogne (1867)], Philadelphia: WB Saunders Company.

Koetsier T. 2000. Mechanism and Machine Science: its history and its identity, Int. Symposium on History of Machines and Mechanisms. In: Proceedings of HMM2000, Kluwer, Dordrecht, 5–24.

Kralj A., Vodovnik L. 1977. Functional electricalstimulation of the extremities, Journal of Medical Engineering and Technology 1, (Part 1) 12–15, (Part 2) 75–80.

Larocca N.G. 2011. Impact of walking impairment in multiple sclerosis: perspectives of patients and care partners. Patient, 4(3),189–201.

Levine M., Knott M., Kabat H. 1952. Relaxation of spasticity by electrical stimulation of antagonist muscles. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 11, 668–673.

Liberson W.T., Holmquest H.J., Scot D. 1961. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 42, 101–105.

Martin C.L., Phillips B.A., Kilpatrick T.J. 2006. Gait and balance impairment in early multiple sclerosis in the absence of clinical disability. Mult Scler, 12, 620–629.

Miller L., Rafferty D., Paul L. 2016. The impact of walking speed on the effects of functional electrical stimulation for foot drop in people with multiple sclerosis. Disabil Rehabil Assist Technol, 11(6), 478–483.

Moe J.M., Post M.W. 1962. Functional electrical stimulation for ambulation in hemiplegia. Lancet (Minneapolis), 82, 285–288.

Murray T.J. 2006. Diagnosis and treatment of multiple sclerosis. BMJ. 332, 525–527.

Peckham P.H., Mortimer J.T. 1977. Restoration of hand function in the quadriplegic through

electrical stimulation, in FT Hambrecht and JB Reswick (Eds.), Functional Electrical Stimulation. Applications in Neural Prosthetics, Marcel Dekker, New York, 83–95.

Reswick J. 1973, A brief history of functional electrical stimulation, inWSFields and Leavitt LA (Eds), Neural, Organization and its Relevance to Prosthetics, Intercontinental Medical Book Corporation, New York, 3–13.

Tallis R., Illis L.S., Sedgwick E.M. 1983, The quantitative assessment of the influence of spinal cord stimulation on motor function in patients with multiple sclerosis, International Journal of Rehabilitation Medicine, 5, 10–16.

Taylor P., Humphries L., Swain I. 2013. The long-term cost-effectiveness of the use of functional electrical stimulation for the correction of dropped foot due to upper motor neuron lesion. Journal of Rehabilitation Medicine, 45, 154–160.

Taylor P., Wilkinson Hart I.A., Khan M.S. 2016. Correction of Footdrop Due to Multiple Sclerosis Using the STIMuSTEP Implanted Dropped Foot Stimulator. International Journal of MS Care, 18(5), 239–247.

Van der Linden M., Hooper J., Cowan P. 2014. Habitual functional electrical stimulation therapy improves gait kinematics and walking performance, but not patient-reported functional outcomes, of people with multiple sclerosis who present with foot-drop. PLoS One, 9, 1–9.

Emilio Ciardiello

The development of the British cavity magnetron and the role of E.C.S. Megaw at GEC

Lo sviluppo del magnetron inglese a cavità ed il ruolo di E.C.S. Megaw alla GEC

Abstract
The cavity magnetron was essential to build microwave radar sets during WWII. Historical sources agree attributing its conception to Randall and Boot at the Birmingham University. Unfortunately, none worried to explain the substantial differences between the Birmingham prototype, a six-cavity CW device, and the pulse eight-cavity E1189 brought to America by the Tizard Mission. The recent acquisition to the ase-museoedelpro collection of the very early eight-cavity prototype, used by E.C.S. Megaw for test purposes at the GEC Research Laboratories in Wembley, made it possible to reconstruct the entire development of the British magnetron and the primary role he played. In a few weeks he managed to find in his E1189 magnetron the perfect synthesis between the structure devised by Randall and Boot and the most advanced solutions then available in England and worldwide.

Sommario
Il magnetron a cavità fu essenziale per costruire radar a microonde durante la seconda guerra mondiale. Le fonti storiche concordano nell'attribuirne la paternità a Randall e Boot dell'Università di Birmingham. Sfortunatamente, nessuno ha mai spiegato le differenze sostanziali tra il prototipo di Birmingham, un dispositivo CW a sei cavità, e l'E1189 a otto cavità per funzionamento ad impulsi, portato in America dalla missione Tizard. La recente acquisizione nella collezione ase-museoedelpro del primo prototipo a otto cavità, usato da E.C.S. Megaw a scopo di test presso i Laboratori di Ricerca GEC di Wembley, ha permesso di ricostruire l'intero sviluppo del magnetron a cavità e il ruolo primario da lui svolto. In breve tempo egli riuscì a trovare nel suo magnetron E1189 la perfetta sintesi tra la struttura proposta da Randall e Boot e le soluzioni più avanzate disponibili allora in Inghilterra e nel mondo intero.

The history so far accredited

Historical sources agree on attributing the cavity magnetron to Randall and Boot, two researchers at the University of Birmingham. A team led by Professor Oliphant, for the transmitter of a 10 cm radar or RDF system, was working on a power klystron, the new vacuum tube devised at the Stanford University by the Varian brothers and based upon the cavity resonators theorized by Hansen. Due to the difficulties in obtaining linear electron beams dense enough to handle the required power, the two researchers were asked to integrate cavity resonators into a different structure [1]. The prototype conceived by Randall and Boot was not new for using cavities [2], rather because the resonator copper block was at the same time the outer envelope, dramatically improving heat transfer to the outside. It started to oscillate on February 21, 1940, generating bursts of 400 W at 9.8 cm, about ten times the power then obtainable with Oliphant's klystrons. It was a water-cooled six-cavity magnetron, wax-sealed and operated in the field generated by a big 5-inch gap electromagnet. On April 10, Eric Megaw from General Electric Company-GEC met Randall and Boot and proposed some solutions for sealing the device with thin end caps, so as to operate in a shorter air gap. On May 1st Randall, delegated by Oliphant, commissioned the GEC Research Center to build three evacuated prototypes: the subsequent GEC E1188 design led to the delivery of the three samples on May 16, 1940. The resonators had been provided by Birmingham and the tubes, which had no further follow-up, could operate into an air gap of "only" 7 cm. So far the stories told by Callick (Callick, 1990), Megaw [3], the same Randall [4] and others [1, 2, 5].

We know that the magnetron brought to America by the Tizard Mission, the GEC E1189 No. 12, differed remarkably from the E1188. Until today it was seen as an evolution of the Birmingham prototype, if not the result of lucky coincidences during empirical experiments made by Megaw on his own initiative. Such reconstructions contrast with the information given by Callick, that the first samples of E1189 were tested on the bench as early as June 29, 1940, even on June 28 according to Paterson (Clayton and Algar, 1991), while the E1188 prototypes were tested only in July. The chronological succession excludes evolutionary theses: Birmingham would never have deliberated on variations before testing samples made to its own design. Table 1 synthesizes the comparison between the Birmingham and the Megaw's magnetrons.

We know that the six-cavity prototype E1189 No. 1 had a thoriated tungsten filament, while the No. 2 had an oxide-coated cathode. All reconstructions then jump to the eight-cavity No. 12, the one brought to America by Bowen (Phelps, 2010). Nobody wonders when and where that variant came out and how many units were assembled. Stories of its appearance usually refer to the narration of the Tizard Mission left by Edward G. Bowen, who was directly involved in the development of airborne radar (Bowen, 1987). In his book he exposes in a smooth and elegant way what happened on 7 October 1940 when the E1189, which he himself had picked up two months before at GEC from a small lot of previously tested samples, was

Tab. 1 – Comparison between the Birmingham and the Megaw's magnetrons.

GEC code	*E1188 (Birmingham, sealed)*	*E1189, revision C (Megaw)*
Type	Continuous wave, 9,8 cm	Pulse, 9,8 cm
Anode	Six-cavity, Randall's design	Eight-cavity, Megaw's design
Magnet gap	70 mm	37,5 mm
Cooling	Water	Air
Cathode	Filamentary, tungsten	Oxide, indirect heating
Out power	400 W CW at 1.000 Oersted	15 kW pulses at 1.050 Oersted
Samples	May 16, 1940, tested in July	28 or 29 June 1940
Resonating system [4, 6]		

x-rayed at Bell unveiling its eight-cavity internal structure. The accident aroused astonishment and suspicions, since documentation and drawings all referred to a six-cavity device. Bowen tells of his phone call to Megaw in England and of the confused reactions to the other end of the phone. He adds details about quantities and structures of the GEC prototypes, which were repeated by subsequent authors. But his book was written half a century after facts covered by utmost secrecy. Parts of his tale probably came from faded memories of people just hearing about the magnetron at GEC. The image one gets from reading is that no one knew how that experimental prototype ended up in America and that Bell finally decided to make copies of it only due to the lucky circumstance of having seen that sample working fine on the bench. The confusion picture that emerges from Bowen's memories was viewed by some as a proof that his reconstruction was accurate. In fact, the dramatic Battle of Britain took place in the summer of 1940, with a frantic English race for deploying any kind of resources and countermeasures, even if still experimental and untested.

We will remember here that Eric Megaw was designing high frequency vacuum tubes at the GEC, Hirst Research Center in Wembley, since the early thirties. In 1933 he published an article on magnetrons in the Journal of the Institution of Electrical Engineers. In 1935 he collaborated with Philips' Posthumus in a letter to Nature on extending the rotating cloud theory to the split-anode magnetron. He designed commercial and experimental magnetrons: in Fig. 1A we see a CW10, released in 1936,

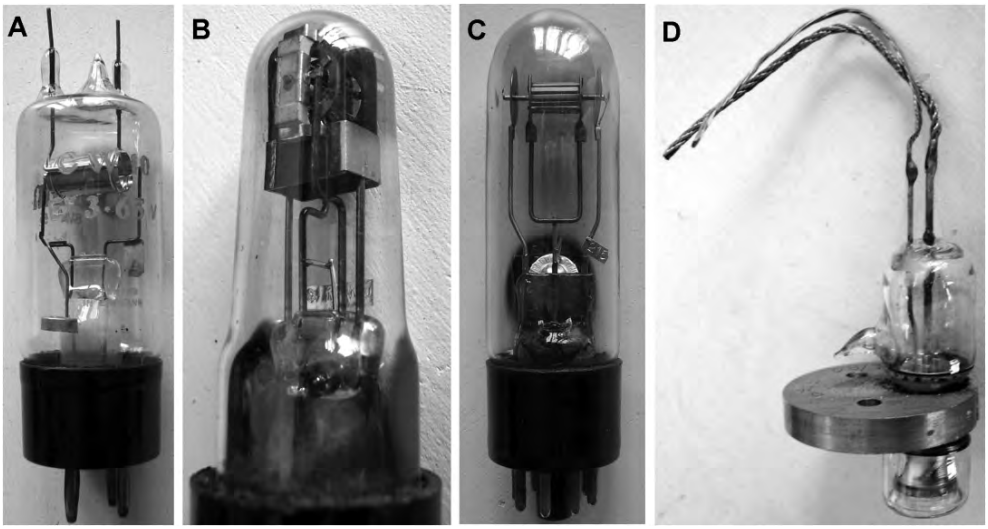


Fig. 1 – Megaw's early magnetrons: the CW10 split-anode (A), samples of eight and twelve-segment squirrel-cage magnetrons (B, C), UHF milli-micropup triode (D).

and in Figs. 1B and 1C two "squirrel cage" interdigital prototypes, one with eight and one with twelve segments [7]. Megaw investigated the back-bombardment phenomenon, explaining how the resulting emission could keep the tube oscillating, reducing or even removing the filament power supply. In 1937, for an Admiralty communications system, Megaw developed the E880 four-segment magnetron, with thoriated-tungsten filament [5]. We also know that he was personal friend of Henri Gutton of the SFR. In June 1939 in Paris they discussed the new SFR M16 magnetron, with oxide cathode. In May 1940 Maurice Ponte brought to him two M16 samples and their behavior on the test bench influenced the design of the second E1189 prototype, modified to accommodate the high emission oxide cathode (Callick, 1990) [2].

In December 1939, while Randall and Boot were designing their magnetron, GEC was developing for the Air Ministry an AI prototype operating at 25 cm, based upon still experimental milli-micropup triodes, as the one of Fig. 1D. By March 1940 the specification had been uprated to 10 cm. Megaw was therefore designing a four-segment magnetron with thoriated-tungsten emitter, when he was asked to examine the prototype of his former colleague Randall [1].

The very early prototype of the GEC eight-cavity E1189, revision C

Our prototype, visible in Fig. 2, is today preserved in the ase-museoedelpro collection. It was accidentally found in England in 2017, in a huge lot of historic tubes, probably the same on display at the M90 Historic Microwave Exhibition held in

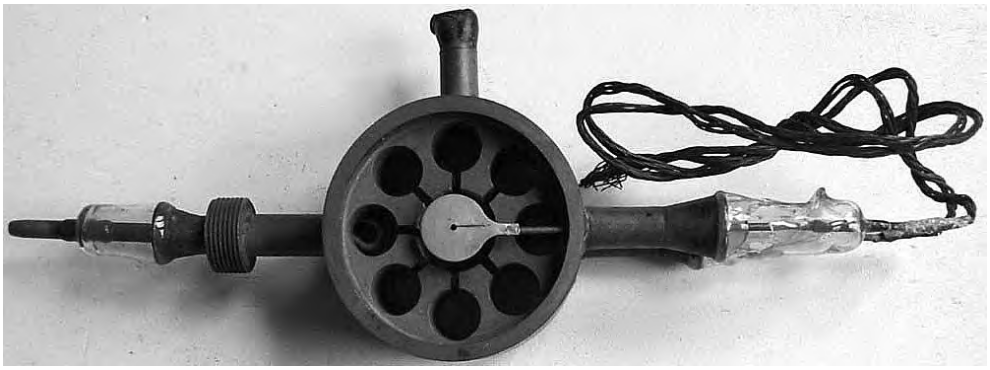


Fig. 2 – The very early laboratory prototype of the eight-cavity GEC 1189 C 328 [6].

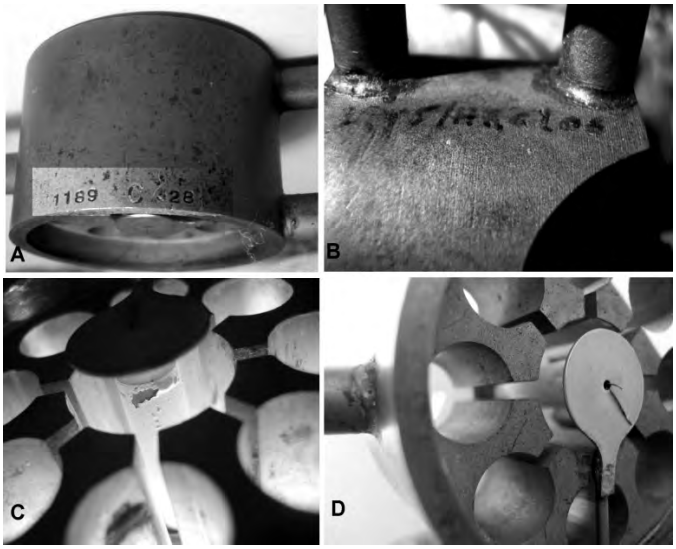
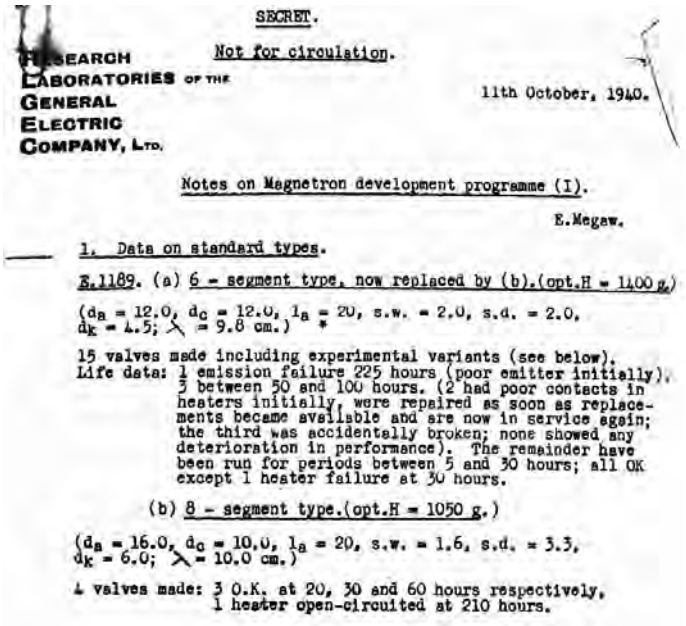


Fig. 3 – Close-up views of the sample: the code 1189 C 328 is punched on the external wall (A), characters HR210 are in the felt-tip writing (B), the partially detached oxide layer denotes heavy overloads or arcing (C) and heater wire broken close to the welding to the end baffle: the oxide layer is very thin, so to expose the bare nickel surface (D).

London from 11 to 13 July 1990 and later at the M94 and at the M96 exhibitions (M90, M94 and M96 Catalogs). It was believed to be just one of many magnetrons dissected to show their internal geometry. Anyway, very singular details began to appear upon closer inspection. The code “1189 C 328” was punched close to the edge of the external wall, Fig. 3A. Characters “HR210” could be read in the felt-tip wri-

ting of Fig. 3B. Fig. 3C shows the partially detached cathode oxide layer, as resulting from heavy overloads or arcing. In Fig. 3D we see the heater wire broken close to its welding to the cathode end baffle. The oxide layer nearby looks very thin, so to expose the bare nickel surface for a considerable area. Except for the absence of the finned radiator and for the presence of the lateral copper tube, its shape resembled that of the GEC E1189 given by Callick. Traces of grease into the inner edges suggested that the tube had been operated with removable caps, while continuously connected to the vacuum pump. The presence of the small copper tube, pointing upwards in Fig. 2, was definitely unusual. The short tube recalled the peephole encountered in literature to measure the cathode temperature of experimental power magnetrons, such as the LCW type described by Collins (Collins, 1947). Back-bombardment phenomena raise the cathode temperature, hence their effect must be monitored and counteracted, reducing or even removing the filament voltage.

Many signs indicated that the prototype had been used in the laboratory for severe tests, until the heater failure. To find out more, we started examining carefully the available documents of the time. Very relevant was the GEC internal report of Fig. 4, a six-page document on the early cavity magnetrons left by Megaw himself [8]. This report is extremely interesting because it also lists the many experimental



SECRET.

Not for circulation.

RESEARCH LABORATORIES OF THE GENERAL ELECTRIC COMPANY, LTD.

11th October, 1940.

Notes on Magnetron development programme (I).

E.Megaw.

1. Data on standard types.

E.1189. (a) 6 - segment type, now replaced by (b).(opt.H = 1400 g.)

(d_a = 12.0, d_c = 12.0, l_a = 20, s.w. = 2.0, s.d. = 2.0, d_k = 4.5; λ = 9.8 cm.)

15 valves made including experimental variants (see below).
Life data: 1 emission failure 225 hours (poor emitter initially).
3 between 50 and 100 hours. (2 had poor contacts in heaters initially, were repaired as soon as replacements became available and are now in service again; the third was accidentally broken; none showed any deterioration in performance). The remainder have been run for periods between 5 and 30 hours; all OK except 1 heater failure at 30 hours.

(b) 8 - segment type.(opt.H = 1050 g.)

(d_a = 16.0, d_c = 10.0, l_a = 20, s.w. = 1.6, s.d. = 3.3, d_k = 6.0; λ = 10.0 cm.)

4 valves made: 3 O.K. at 20, 30 and 60 hours respectively,
1 heater open-circuited at 210 hours.

Fig. 4 – Extract of the Megaw's internal report on magnetron valves [9].

types he made in a couple of months, from the release of the eight-segment E1189 in August to the first ten days of October. Among the many types listed, we read of four E1189 eight-segment units, "opt. H = 1050 g". One of them had just operated 210 hours, before opening of the heater. The document seems to contradict another paper written by Megaw in 1946, which only mentions two eight-cavity units, the No. 12 and the No. 13 [3]. The inconsistency could be explained, assuming that the second paper listed only the tubes completed with radiator, sealed and serialized. As said before, our prototype is incomplete. It was only partially assembled to operate in the laboratory while connected to the vacuum pump.

The diary of Sir Clifford Paterson (Clayton and Algar, 1991), at the time director of the Wembley Research Center, briefly provides us with facts and dates relating to the development of the magnetron at GEC and to its eight-cavity variant. Here we read that «Megaw thinks well » of the Randall magnetron. We learn of the two Megaw's designs, the "air-cooled" and the "air-cooled low-field" ones[1], in comparison with the Randall's one. We also read that Randall, with the assistance of the technologist Duke, who had been moved from GEC to Birmingham, had worked before August 6 to a 5-cm scaled-down copy of the Megaw's air-cooled type. The main events noted are summarized in Fig. 5.

The chronology left by Paterson, along with what Megaw and others wrote, helps us to date the key steps of the E1189 development in the Table 2.

The emerging picture shows the Megaw's fundamental role in designing the cavity magnetron, the basic component of the microwave radar. Randall certainly devised a brilliant solution for a powerful generator, but his device was similar in performance to other contemporary types, even outclassed by the SFR M16. Possibly it would have just remained a laboratory curiosity without Megaw's contribution. In fact the now useless E1188 samples will be tested only in July, perhaps to formally close the

May 1st[86]

Randall from Birmingham came instead of Oliphant to get us to start quickly with replicas of three large magnetrons which Megaw thinks well of. Had to speak straight to Randall for Oliphant is an impatient person and expects first priority which we could not give him. I think Birmingham must have the main responsibility for the tubes or they will never be happy.

June 28th[104-105]

Randall coming on Friday re. high power magnetron. Megaw and Boyland have been making splendid progress with these. There are two types—Randall's and Megaw's—the former water-cooled and the latter air-cooled. At the moment Megaw's is on circuit and giving some 2 kW at the desired wavelength—but Randall's will follow in the next few days. Boyland's gold wire joint seems to be one of the chief features giving the striking success.

July 1st

Output from Megaw's 10 cm magnetron has risen to 4 or 5 kw and is still rising.

July 17th

The whole day at our two-monthly CVD meeting. A rather memorable occasion for we recorded (*a*) beam valve amplification at 50 cm, (*b*) Megaw's air-cooled low field magnetron, (*c*) Ramsay's mercury modulator, (*d*) two velocity modulation receiving tubes—one with resonator for 10 cm. General demand for specimens.

August 6th[113-114]

A crowd of people here from many establishments including Oliphant and Randall and Ellis. It is difficult for people to get on with urgent work when visitors are so frequent but it cannot be helped. Megaw's improved 10 cm magnetron with eight chambers appears up to expectations. Randall with Duke's assistance (we introduced him to Oliphant) has made a good copy of the air-cooled magnetron for 5 cm.

August 7th[115]

Schoenberg, Blumlein, Condliffe and Broadway with Bowen came for a thorough discussion of AI. It took a whole morning and until 3 o'clock. The general exchange of views and experience was helpful and the atmosphere of co-operation most encouraging.

Fig. 5 – From the diary of Sir Clifford Paterson (Clayton and Algar, 1991).

Tab. 2 – Development steps of the E1189 magnetron.

10 April	Megaw is shown the Randall and Boot's prototype.
1 May	The E1188 project starts, with resonators supplied by Birmingham. Soon later the E1189 low-profile project by Megaw takes off.
9 May	Maurice Ponte of SFR brings two M16 samples to Megaw. After a performance check, Megaw designs a second E1189 with oxide-coated cathode.
28 or 29 June	The two six-cavity E1189s start to operate, generating 1 kW pulses. In a few days the peak output power of the No. 2 rises to over 10 kW.
8 July	The Tizard Mission is officially underway (Phelps, 2010). Perhaps at that date Megaw was already considering an eight-cavity variant, to increase efficiency in the low magnetic field of a 6 lbs permanent magnet.
17 July	At GEC the CVD committee discusses « the low-field Megaw magnetron». Samples of six and, whenever ready, of eight-cavity are then requested.
30 July	Probably at this date the first eight-cavity E1189 - our sample - starts oscillating, continuously connected to the vacuum pump.
1 August	In accordance with the worked hours, the second prototype starts oscillating.
4 - 5 August	The two finished E1189s, No. 12 and 13, start running on the bench.
6 August	Paterson writes: «The Megaw's improved 10 cm magnetron with eight chambers appears up to expectations». It is the approval of the new eight-cavity design by that crowd of officials, including Oliphant, Ellis and Randall. The first prototype will continue stress and endurance tests until its heater opens.
7 August	Bowen and the key people involved in the 10cm AI radar discuss the details. At the end Bowen, chosen for the Tizard Mission, will select the best performing sample from the batch of E1189 previously tested by Megaw: it is the eight-cavity No. 12. The magnetron and the folder with the production documents of the six-cavity, the one approved until the day before, will be kept in the safe at the GEC until August 11, when Bowen is back to Wembley to pick them up (Bowen, 1987)
6 October	The E1189 No. 12 is powered at the Bell Laboratories in Whippany, generating 15 kW pulses in a field of 1100 gauss. The sample and drawings of the six-cavity type are left at Bell, who is asked for a small lot of evaluation and qualification copies (Bowen, 1987; Conant, 2002; Phelps, 2010)
7-8 October	X-ray of magnetron No. 12 unveils its eight-cavity structure. Bowen is recalled to Whippany. He phones Megaw, who appears puzzled: but that project had ended two months before and the perplexity felt by Bowen at the other end of the phone seems quite justifiable!

order. The E1189 project, entirely attributed to Megaw by Paterson, best integrated Randall's solution with the emission capacity of the oxide cathode tested by Gutton. The result was then perfected, recalculating in a very short time the geometries for eight-cavity, to increase its efficiency in the reduced field of a permanent magnet. Contrary to what is commonly believed, after the Megaw's visit to Birmingham

and the subsequent move to that site of the technologist Duke, the transfer of know-how was activated in the opposite direction, from GEC to Randall, allowing him to readily prepare a 5-cm copy of the Megaw's E1189 (Clayton and Algar, 1991). It is evident that the eight-cavity low-field variant was authorized during the CVD meeting on 17 July. Its whole project was therefore carried out in a couple of weeks, relying upon the already tested six-cavity if it failed. Our sample proves how carefully the steps necessary to its characterization were planned. Then we understand the full meaning of the words written by Megaw in 1946 and the presence in our sample of the lateral copper tube, certainly what remains of a peephole to measure the cathode temperature with a pyrometer. In his 1946 paper [3] he pointed out how he had roughly estimated its value on the second six-cavity sample, by measuring the resistance of the heater: «The output at 6 microsec was independent of heater voltage down to zero with oxide-cathode sample [...] The cathode bombardment power was estimated by heater resistance change in No. 2 at 5-10% of the mean input, increasing appreciably as the load coupling was reduced. This agreed with some earlier measurements on glass magnetrons».

We know that this was a totally new geometry, never experienced before and, even worse, with indirectly heated cathode. Megaw had to specify the proper heater voltage for typical operating conditions. Certainly it could not be set to any tentative value «down to zero». The cathode temperature could only be measured by pyrometric methods and, being the copper wall entirely opaque, he had to place that peephole to characterize his tube.

In our reconstruction there were still doubts about the fourth prototype listed by Megaw. Eventually this too was found. The image in Fig. 6 shows the second 1189 C328 laboratory prototype, absolutely identical to our sample. It comes from the page of an old GEC website, which highlighted the products introduced in about one hundred years of activity. Then we have the two laboratory prototypes plus the two samples listed in the 1946 Megaw's paper [3], complete with radiator and caps and serialized as No. 12 and No. 13. According to Trevor Wright, who hosts the old GEC website, the second sample was preserved in the collection of the Marconi Research Center in Chelmsford, today dispersed after the shutdown of GEC first and of British Marconi few years later.

The fundamental role of Megaw in the development of the cavity magnetron is then evident. The story that emerges, even if less romantic than the one left by Bowen, shows him as the leading and most experienced figure on magnetrons who, even thanks to the unlimited support of GEC, will transform the Randall and Boot's successful experiment into a readily usable microwave generator, soon reproduced in hundreds of thousands copies and variants. It should be added that the E1189 No. 12, although made in great haste, was the result of careful planning and in-depth testing, when it began its journey to America in the Bowen's luggage.

Fig. 6 – Cut-out of the page from the GEC site on the second 1189 C328 prototype [7].

Most likely the accompanying papers had been prepared in advance with drawings of the six-cavity E1189, the only one approved until the evening of August 6. When the next day Bowen picked up the No. 12, the blueprints locked into a safe were not updated. Understandable oversight at the end of that August 6 described by Paterson!

Subsequent developments of E1189 during the war

For evaluation purpose, from November 1940 Bell hastily built a few copies with its developmental code 1259M, largely for the National Defense Research Committee-NDRC and other research laboratories. A sample is preserved today in the collection at University of Birmingham: due to haste, one of the code digits was printed upside down. About sixty more copies were built in 1941 under the code D-160052 by the subsidiary Western Electric, which also put into production in the same year its 25 kW peak ruggedized variants, the 706A to 706C of Fig. 7D [8, 10].

The units manufactured in England from 1941 came out with four-fin radiator. Type E1189 was approved by British Admiralty as NT98, Admiralty Pattern W2510 of Fig. 7A. In Canada the same tube was produced by the Bell related Northern Electric, as REL Type 3D, Fig. 7B. It was used in the RX/C naval systems and in the GL3C wheeled trailer (Knowles Middleton, 1981). There was also an Australian production, as NTA98, by Australian Standard Telephones and Cables, also related to Bell. The 9.1 cm variant for the Air Ministry, the E1198, was approved as CV38. It was also built in Canada as REL 3C, Fig. 7C.

No need to list the countless types of cavity magnetron directly derived from the Megaw's E1189 design and made through the war in America and England, and

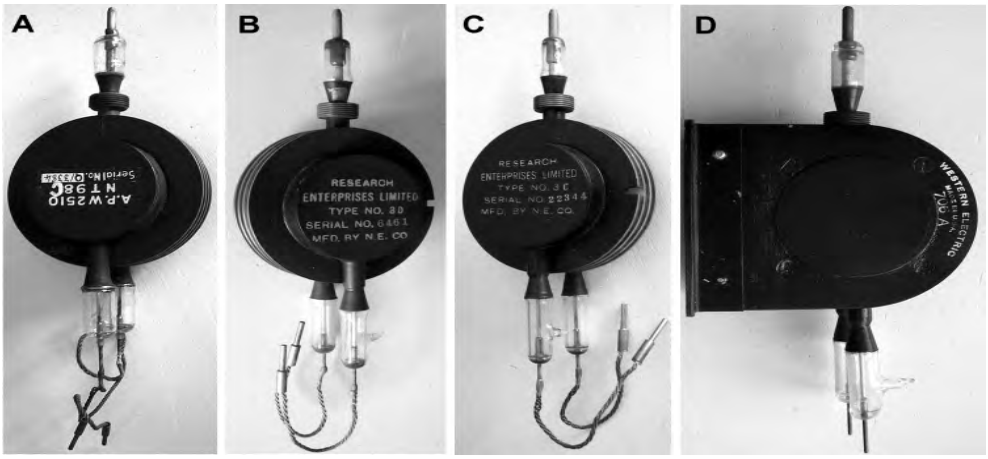


Fig. 7 – The E1189, approved by the Admiralty as NT98 (A); the same type made in Canada as REL 3D (B); the Air Ministry variant CV38, here as REL 3C (C); Western Electric heavy duty version 706A to D (D) [8, 10].

since 1944 also in Germany. Geometries were readily recalculated to operate at fixed frequencies between 700 MHz and 24 GHz, Also tunable types appeared, to reduce the inventory of spare parts. The "strapping techniques", first devised in July 1941 at Birmingham by Sayers, greatly reduced the intrinsic trend to "mode jumping" during transients, so making it possible to increase the efficiency and in any case to attain peak power pulses in the order of megawatts. "Packaged" magnetrons were introduced, with factory-installed magnet, to facilitate their in-field replacement.

The same production processes were enormously perfected. The most impressive improvement involved the manufacturing of the resonator block, which also works as anode and as outer envelope. Cavity magnetrons required slow processing of the heavy anode copper block to drill the cavities, end caps being sealed with gold wires. Early in 1941 Western Electric had opened in Chicago a special facility, financed by the Navy and equipped with long lines of drilling stations. Soon later Percy Spencer at Raytheon succeeded in growing anode blocks from thin metal sheets, by stacking copper discs machine-punched to the proper shape and then silver-brazing them into hydrogen ovens. As a result, Raytheon was able to build 2,400 magnetrons per day (Scott, 1974), compared to the approximately 2,000 units of E1189 manufactured by both BTH and GEC in 1941. Tizard's most optimistic predictions were far exceeded.

The ase-museoeselpro collection has on display about 120 magnetron types: many of the pulse types retain the same overall shape and well illustrate the evolution of the first E1189 prototype designed by Megaw at GEC [8].

Acknowledgements
Special thanks go to Yves Blanchard for the useful advice and the many documents he provided on the work of Megaw and Gutton.

Bibliography
Bowen E.G. 1987. *Radar Days*. London: Adam Hilger.
Callick E.B. 1990. *Metres to Microwave Metres to Microwaves: British Development of Active Components for Radar Systems 1937 to 1944*. London: Institution of Engineering and Technology.
Clayton R., Algar J. 1991. *A Scientist's War: the diary of Clifford Paterson*. London: The Institution of Engineering and Technology.
Conant J. 2002. *Tuxedo Park*. New York: Simon & Schuster.
Collins G.B. 1947. *Microwave Magnetrons*. New York: Mc Graw Hill.
Kingsley F.A. 1995. *The development of radar equipments for the Royal Navy, 1935-45*. London: Palgrave Macmillan.
Knowles Middleton W.E. 1981. *Radar development in Canada: The Radio Branch of the National Research Council of Canada 1939-1946*. Waterloo: Wilfrid Laurier University Press
M90, M94, M96 Historic Microwave Catalogs, self-published
Phelps S. 2011. *The Tizard Mission: the Top-secret Scientific Mission that Changed the Course of Wwii*. Yardley: Westholme Publishing.
Scott O.J. 1974. *The creative ordeal, the story of Raytheon*. New York: Atheneum.

Webgraphy
[1] Lazarus, 1986
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-06.pdf
[2] Blanchard et al., 2013
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-05.pdf
[3] Megaw, 1946
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-03.pdf
[4] Boot and Randall, 1946
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-01.pdf
[5] Willshaw, 1990
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-07.pdf
[6] E1189 Prototype
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/TM-01.pdf
[7] GEC site
http://www.trevorwright.com/GEC/Archive/magtron.html
[8] Magnetron page
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/TM-ix.pdf
[9] Megaw, 1940
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-02.pdf
[10] Fisk et al,, 1946
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-04.pdf

Index of abbreviations

AI: Air Intercept, an airborne radar set
BTH: British Thomson Houston Ltd.
CVD: (Ultra Short Wave) Communication Valve Development
CW: continuous wave
GEC: General Electric Company Ltd.
RDF: Radio Direction Finding, British equivalent for radar
SFR: Societe Francaise Radioelectrique, Paris

Note

1. Almost certainly Paterson used the definition “air-cooled” referring to the six-cavity E1189 prototypes, requiring 1500 gauss for 10 kW pulses, and “air-cooled low field” for the subsequent eight-cavity variant, capable of full operation at 1050 gauss.

Emilio Ciardiello

The development of the reflex klystron in England and in the United States told in images

Lo sviluppo del klystron reflex tra Inghilterra e Stati Uniti raccontato in immagini

Abstract
The development of the reflex klystron as a local oscillator for microwave radar receivers started in Great Britain early in 1940, when the Air Ministry decided to move to 10 cm wavelength for the new airborne sets. In autumn 1940 the British Tizard Mission shared with American scientists all the information on the cavity magnetron and even on the entire microwave system they were setting up, to take advantage of the unlimited power of the U.S. industry. Starting from the very early oscillator designed by Robert Sutton, the development of the reflex klystron and the positive competition between the two sides of the Atlantic during the war can be appreciated through photos of samples in the ase-museoedelpro collection.

Sommario
Lo sviluppo del klystron reflex come oscillatore locale per ricevitori radar a microonde iniziò in Gran Bretagna nei primi mesi del 1940, quando il Ministero dell'Aria decise di operare alla lunghezza d'onda di 10 cm per i nuovi set aviotrasportati. Nell'autunno 1940 la Missione Tizard condivise con gli scienziati americani le informazioni sul magnetron a cavità e sull'intero sistema a microonde in allestimento, per sfruttare la potenza illimitata delle industrie statunitensi. Partendo dai primissimi oscillatori progettati da Robert Sutton, lo sviluppo del klystron reflex e la positiva competizione tra le due sponde dell'Atlantico durante la guerra, si possono apprezzare attraverso le foto di esemplari della collezione ase-museoedelpro.

Foreword
At the end of 1939 England was defining a 10 cm microwave radar system. In Birmingham a group of scientists led by Professor Oliphant was working for the transmitter on power klystrons, derived from the new velocity modulation tube de-

Fig. 1 – The GEC CV258 (A) [1]. WE Silicon diodes selected to operate as mixers or detectors (B), (C), (D) and cross section of a BTH diode (E) (Southworth, 1950).

veloped by the Varian brothers at the Stanford University. Also the tube lineup of the receiver had to be defined for the new system. At the time no conventional triode could handle 3 GHz signals, hence a super-heterodyne was opted for, with direct input into the mixer and only the local oscillator operating at 10 cm. Vacuum diodes, as the one of Fig. 1A [1] useful to about 1 GHz, proved to be inadequate as mixers, mainly for their excessive noise. Oliphant suggested point contact silicon diodes, assembling he himself first samples (Callick, 1990). The development was continued by Skinner at T.R.E., Swanage, while BTH and GEC were involved in the production. Silicon diodes, encapsulated in a small ceramic body, became the standard for microwave mixers, reproduced in volume also in America by Western Electric and other industries. In Figs. 1B, 1C and 1D we see three WE samples selected to operate as detectors or mixers between 1 and 3 GHz. In two of them there are visible the side screw that locks the rod with the cat whisker, once found the maximum sensitivity point. In the first one it is visible also the side hole to pour wax inside, after the screw was locked. In Fig. 1E the cross section of a diode.

The local oscillator for WWII microwave radar receivers

Conventional triodes could not even oscillate beyond a few hundred megahertz. Small and closely spaced electrodes contributed to keep low both parasitic capacitances and transit time, but upper limit was somewhere below one gigahertz, then the gain dropped and the phase delay increased rapidly. Due to the low Q of external resonating circuits, unconventional oscillators, as split-anode and interdigital magnetrons, were rather unstable and their noise was unacceptable, being entirely transferred to the IF amplifier of the receiver by the single diode mixer. In Fig. 2A we

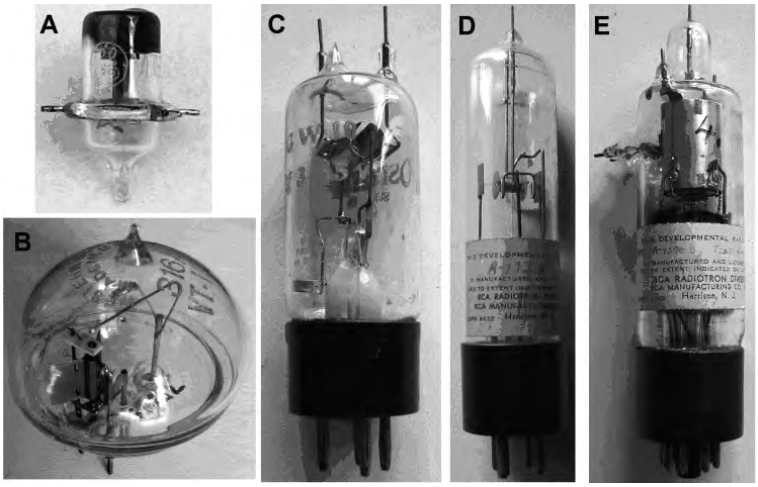


Fig. 2 – Late 1930s high frequency tubes: RCA 955 acorn triode (A), WE 316A triode (B), GEC CW10 split-anode magnetron (C), RCA A-103A split-anode prototype (D), RCA A-1306 beam deflection tube prototype (E) [1].

see a tiny "acorn" triode, the RCA 955, useful as oscillator up to about 600 MHz. The "doorknob" triode WE 316A of Fig. 2B was a power oscillator useful to 750 MHz, also tried worldwide in experimental radar transmitters. In Fig. 2C we see a CW10 split-anode magnetron, introduced in 1936 and usable up to some 1300 MHz with external resonating circuit. In the early forties RCA unsuccessfully proposed its A-103A split-anode magnetron with 3 GHz internal resonator, in Fig. 2D. Other unconventional tubes were proposed, as the RCA A-1306 "beam deflection" amplifier of Fig. 2D. Their upper frequency limit was somewhere around 600 MHz.

A little known device was evaluated as local oscillator, the "Heil tube" proposed in 1935 by Oskar Heil and his wife Agnessa Arsenjeva. The Standard Telephone and Cables had acquired the patent rights for its high frequency communication links. Work was done on its use at least in airborne equipment, since it required relatively low voltage, compared to the approximately 1700 volts of the early klystrons. It was abandoned for its excessive noise, largely due to the low Q of the external resonator. The ase-museoedelpro collection preserves surviving evidence of the work carried out in the past: experimental and undocumented types probably developed from 1940 to 1942 by the STC group led by Fremlin, both for the 10 cm and for the 3 cm bands. Among them, the CV230 of Fig. 3A and the capacitive coupling undocumented DV27 of Fig. 3B. Quite unique is the DV57, Fig. 3C, designed for operation in the X-band with flanges to interface an external cavity. Likely dating from late 1941 or early 1942.

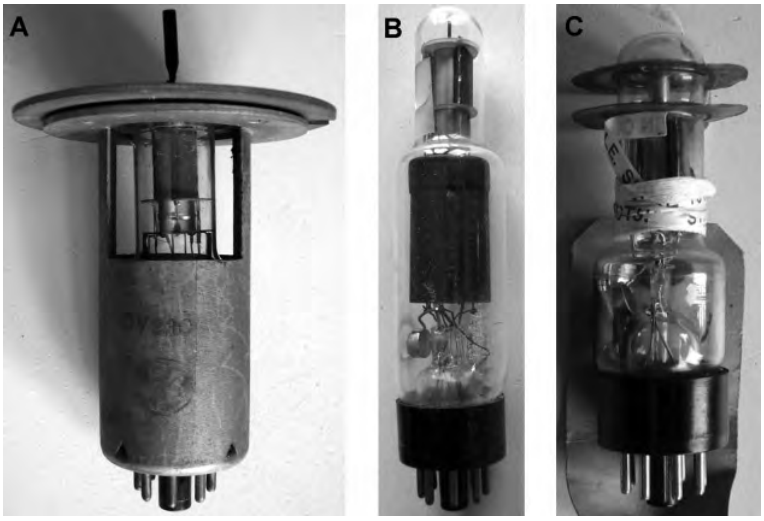


Fig. 3 – Heil tubes. CV230 (A), DV27 (B) and X-band DV57 prototype (C) [1, 3].

The first reflex klystron, also known as the "Sutton tube"

The klystron had been developed between 1937 and 1939 by Russel and Sigurd Varian at the Stanford University in California. The activity was financed by the Sperry Gyroscope, aiming to build a "blind landing" system for airplanes, which often were forced to land in the fog.

The klystron of the Varian brothers was a velocity-modulated amplifier with two doughnut-shaped resonators inspired to the Hansen's rhumbatrons, as in Fig. 4. Both resonators were tuned at the same frequency, aligned along the beam of electrons emitted by the cathode. A "coupling loop" returned part of the signal from the second resonator to the first one, thus causing the tube to oscillate. The deep drawn shape of the resonator's capacitive terminations was retained in several early experimental klystrons, as in the Bell's prototypes of Fig. 5C and in the Western Electric 402A of Fig. 5D. An early Sperry linear klystron with two built-in cavities is drawn in Fig. 5A, while the actual tube with its tuner is in Fig. 5B.

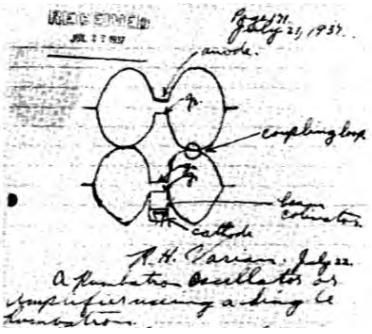


Fig. 4 – Sketch by Sigurd Varian from 1937 [6].

Early in 1940 at the Bristol University Robert Sutton started designing the local oscillator for the receiver of the new 10 cm RDF system. He decided for a single

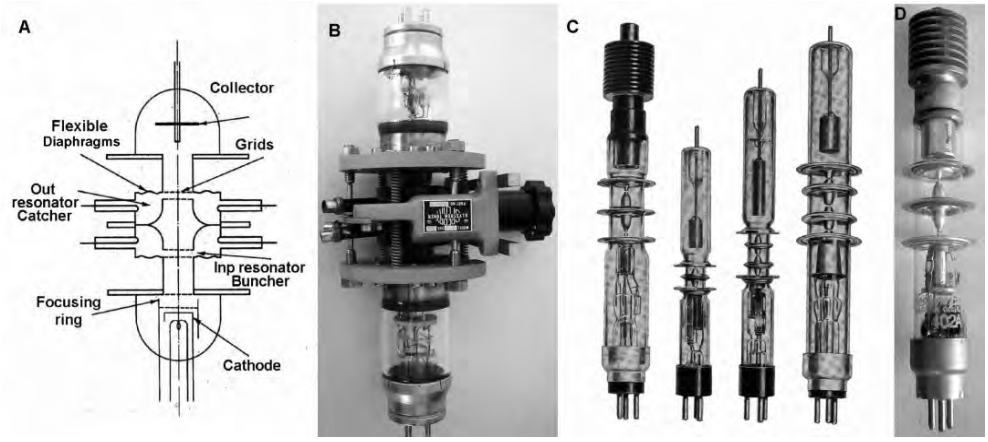


Fig. 5 – Early Sperry linear klystron (A, B) (Sperry Gyroscope, 1944), Bell linear klystrons (C) (Southworth, 1950), WE 402A (D) [2].

cavity reflex structure, only speculated before. Fig. 5B shows the complexity of the tuner for an early linear klystron, to vary the geometry of the two cavities simultaneously. The tuner could be considerably simpler, thinking of geometry with only one cavity. The beam emitted by the electron gun first passes through the resonator which operates as a "buncher", is then reflected by a repeller electrode placed in front and polarized at negative voltage, returning to the resonator itself, which now operates as a "catcher" or collector for electrons and for the signal (Gewartowsky and Watson, 1965).

Since the tuning system could not be inserted into the glass bulb, it was necessary to connect on the outside the inner ends of the resonator interacting with the electron beam. The deep drawn copper discs were sealed to the glass segments with a process developed at GEC, the "sandwich seal". A red oxide film was deposited on the thin discs, so that melted glass could wet the metal surface in the treated areas. GEC took care of prototyping the tubes (Clayton and Algar, 1991), adding a CRT electron gun as source of the beam. Fig. 6A gives the sketch of the tube (Southworth, 1950). To keep the beam still focused in its long way back to the resonator, Sutton gave the reflector the concave shape distinctive of his tube and abandoned in subsequent designs. It was difficult to make efficient and uninterrupted contacts between the external cavity and copper discs. The design of the tuning piston and of its movement took a long time, due to the noise caused by its actuation. Early samples were ready in September 1940 but the tube, complete with its final tuner, was released as Admiralty NR89 only in December (Callick, 1990). Details of the Sutton design can be appreciated in Fig. 6B, looking at the bulb of an unbased laboratory prototype, pro-

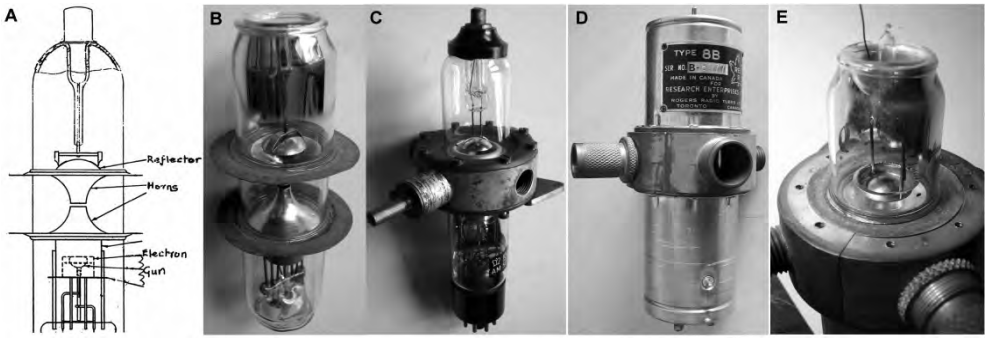


Fig. 6 – Sketch of the tube designed by Sutton (A). Sutton tube prototype (B) and 10E/501, airborne variant of the NR89 "Sutton tube" (C). Canadian REL Type 8B variant (D). Internal details of the REL 8B (E) [2].

bably used in the development of the tuner. Fig. 6C shows the only known sample of a British "Sutton tube", an Air Ministry 10E/501, the 9.1 cm airborne variant of the basic NR89. Figs. 6D and 6E show the ruggedized REL 8B, the Canadian variant of the NR89, with protective metal shell and factory preset fixed tuning. All the samples in Fig. 6 clearly show their distinctive deep-drawn resonator's terminations and the cup-shaped reflector.

Operation of the Sutton tube was critical, due to its empirical geometry and to the abnormal drift space from the capacitive opening of the cavity to the reflector and back. To maintain the beam focused in its long travel, the resonator had to operate at 1700 volts, with severe insulation and corona issues in airborne applications. A potentiometer was added, operated by the same tuning shaft, to adjust the gun focusing voltage over the tuning range, so reducing the tendency to "mode jumping". The difficulties of the tuner were so many that in autumn 1940, in the technological exchanges initiated by the Tizard Mission, the National Research Council of Ottawa decided to commission the American Bell the design of the oscillator and of the receiver front-end for the GL-3C to be built from summer 1941 onwards (Knowles Middleton, 1981; Phelps, 2011). We know that Bell's answer came too late, at the end of 1941, and was then necessary to rely on variants of the "Sutton tube", such as the REL 8B in Fig. 6D, factory pre-tuned to minimize mode jumping and likely used in the Canadian GL-3C wheeled trailers.

Evolution of the reflex klystron from 1941

Small-scale production of Sutton's tubes, the Admiralty type NR89 and the 9.1 cm variant 10E/501 for the Air Ministry, began by EMI and E.K. Cole in March 1941, at one time with their first operational use in the naval radar Type 271 (Clayton and

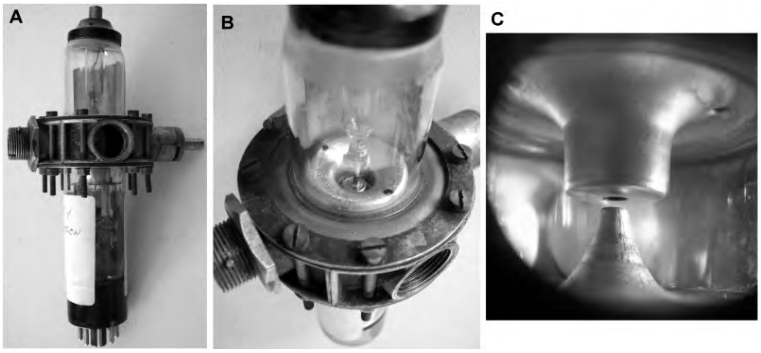


Fig. 7 – CV35 and details of the small reflector deeply penetrating into the flattened deep drawing of the upper disc [2].

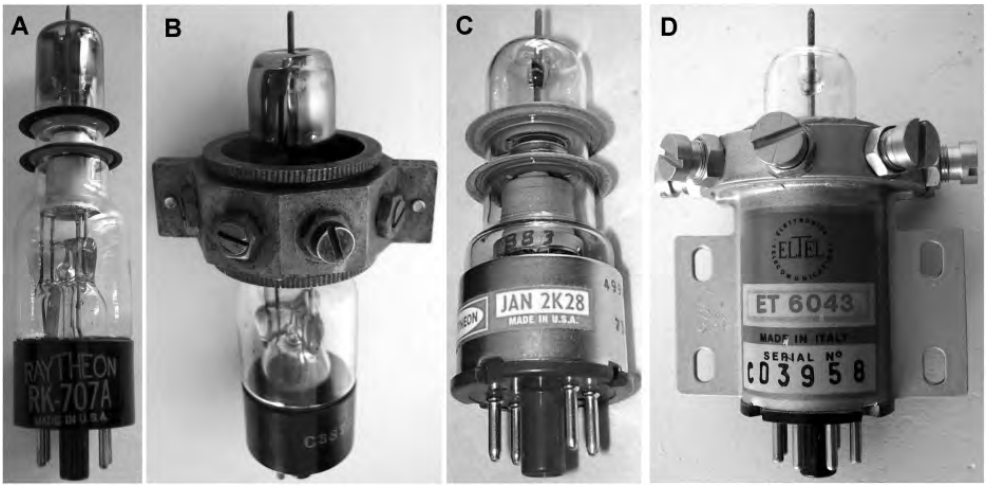


Fig. 8 – 707A (A), 707B complete with external cavity (B), the ruggedized 2K28 (C), the packaged 6043 (D) [2].

Algar, 1991; Kingsley, 1995). Anyway, tuning was extremely critical and EMI was commissioned to review the design. The experimentation would have lead by June 1941 to define the new geometry of Fig. 7A, with the small flat reflector deeply penetrating into the upper horn of the resonator, as evidenced in Fig. 7B and 7C. The modified types were released from November 1941.

New klystrons were more stable due to the short drift space, but still required about 1400 volts. About in the same days first samples of the “McNally tube” were released in the U.S. by Western Electric [5]. Mechanically similar to the British type for connections to an external cavity, the 707A of Fig. 8A was more compact,

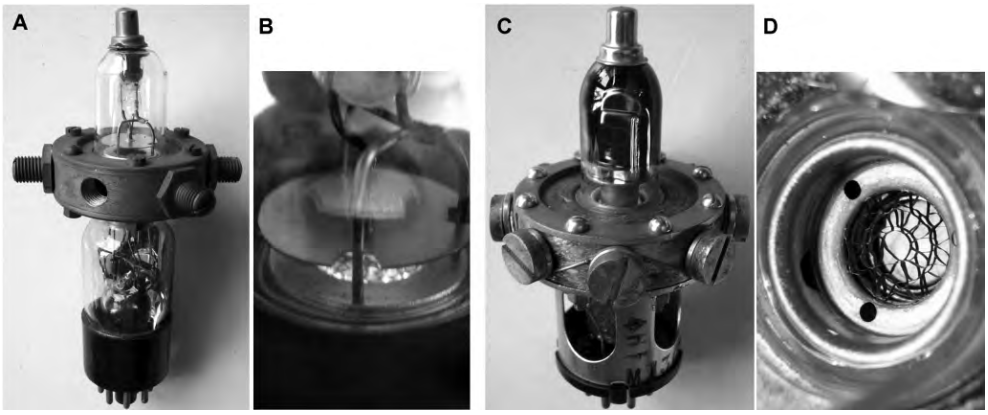


Fig. 9 – 10AL1 (A) and glimpse of the cell design of its grids (B); CV238 (C) and detail of the grids (D) [2].

with reduced spacing, and operated at only 300 volts. Resonator was tightly coupled inside to the electron beam by two mesh grids becoming bright yellow in operation (Sibley, 2019). The design was accurate, requiring only minor improvements, first with the 707B, complete with an external cavity in Fig. 8B, and then with the 2K28 of Fig. 8C, lowered and mechanically ruggedized. Its packaged version 6043, Fig. 8D, was still specified in radar sets designed in the 1960s.

Certainly the British could not accept being outclassed that much by the 707A. Although they could rely on unlimited supplies from the American side for the 10 cm devices and even if the interest had moved to the 3 cm band, a review of the family was initiated by EMI, increasing both emission and coupling. With the new balanced mixers, in fact, the noise of the local oscillator was no longer a critical factor.

Fig. 9A shows an experimental prototype probably made at GEC during the complete revision of the device by the EMI design team (Algar, 1991). Fig. 9B tries to give details of the grids, made of a very thin metal ribbon, probably molybdenum, corrugated and welded to the inner edge of the resonator discs. Grids were so designed to ensure the lowest possible cross section to the wide area electron beam now used, granting at the same time an excellent behavior under the heat generated in the impact of captured electrons.

In May 1945, although at that time the interest for its operational use was marginal, the new KR6 family appeared, with compact dimensions and variants at different frequencies (Callick, 1990). Performance was finally in line with expectations. With a resonator voltage of only 250 V, KR6 generated about 150 mW. Electronic tuning covered 30 MHz with 25 volt variation in the reflector voltage. the family included the CV238 of Fig. 9C, while Fig. 9D gives details of the final design of the grids.

X-band (3 cm) reflex klystrons

Even before the 10 cm sets were fully operational - we know that authority to fly H2S sets over continental Europe was delayed by Churchill, fearing the capture of the super secret magnetron by the Germans (Lowell, 1991) - the British interest moved to 3 cm, wavelength deemed more suitable for airborne sets. The Clarendon Laboratory failed to scale down the geometry of the "Sutton tube". Resulting dimensions were too small for large-scale reproduction and losses in the glass spacers were unacceptable. Blumlein at EMI proposed a "harmonic resonator", calculated so that purposely shaped copper discs crossed the glass walls in the voltage nodes, where losses were of no matter (Callick, 1990). The activities at EMI were suddenly disrupted, with the loss of Blumlein and part of his staff in the crash of the Halifax V9977 during comparative tests of the CV150 power klystron (Lowell, 1991) [2]. In any case, in September 1942 first samples of the CV87 appeared, Fig. 10A, operating between 3.05 and 3.45 cm. The differential tuning control was complex and production was limited to about one hundred units mostly used in 1942 in prototyping and test phases of the X-band systems. Early in 1943, CV87 was replaced by the CV129 of Fig. 10B, in which the considerably similar electrode system was mounted in a simpler tuner. Meanwhile, two Western Electric all-metal designs, the 723A and soon later the improved 723A/B, become available in volume, as we will see below. The British managed to make their own copies, introducing the CV322 of Fig. 10C, with tuning screw on the top. Actually it was only a functional copy, built in a few units and soon abandoned in favor of the American types. Moreover, since 1943

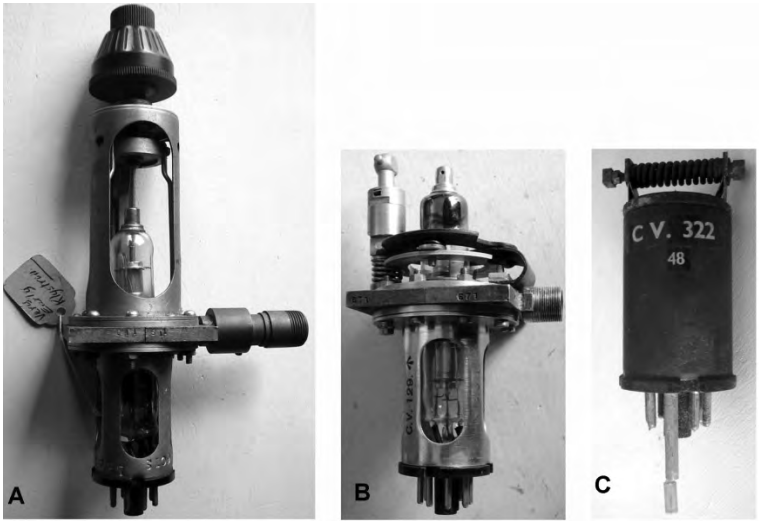


Fig. 10 – CV87 (A), CV129 (B), British all-metal CV322 (C) [2].

America supplied the British with almost all of the X-band radar sets and unlimited quantities of related spare parts, on the basis of the “Lend and Lease Act”.

X-Band reflex klystrons in America

In America the new rugged and compact design appeared at the end of 1942. The “Pierce-Shepherd tube” was developed at Bell for the X-band. The early version, the Western Electric 723A of Fig. 11A, was tunable around 9375 MHz. Tuning took place by means of struts, flexing a diaphragm of the metallic case. Soon later, in the 723A/B of Fig. 11B the tuner was improved, moving welding points of the struts to the base, so expanding the frequency range to the entire X-band [5]. Variants with cavities designed for different bands were also introduced. Among these we find the 726B of Fig. 11C, operating between 2.9 and 3.2 GHz, the 10 cm band for which Sutton had designed the reflex klystron ancestor only two years before. The 723 design soon became an industry standard, reproduced by countless companies all over the world until the 1980s. A section of its drawing is given in Fig. 11D.

Bell technicians, jointly with the M.I.T Radiation Laboratory, also developed a true electronic tuner (Pierce and Shepherd, BSTJ 26-3-460; Hamilton, 1948) [5]. Tuning was obtained altering the internal cavity through a sort of bimetallic bow, which acted as anode in a triode, being therefore heated and warped by the impact of flowing electrons. Anode current was controlled by the grid voltage, thus determining the oscillation frequency. The 2K45 in Fig. 11E covered the entire X band, from 8.50 to 9.66 GHz, for anode current of the tuning triode varying from 0 to 25 mA (Southworth, 1950) [5].

The K-band development, 1.25 cm

During the second war there was a further line of development for the reflex klystron, covering types intended to operate in the K-band radar receivers, at 24 GHz. Actually, this band was never widely diffused, especially due to the high absorption of the signal caused by the water vapor in the atmosphere (Callick, 1990). The work, that had involved the Clarendon Laboratory and EMI since 1941, lost interest in England but it was continued in America, generating some devices manufactured in small volume. The “harmonic resonator”, already experienced in the CV87 and in the CV129, had been scaled-down at Clarendon. Raytheon simplified the English design especially in the tuner, introducing the 2K33 of Fig. 12A, which was tunable with a knob around 24 GHz. The design was critical, suffering from considerable mechanical hysteresis of the small flexible discs (Callick, 1990). There was also a relevant frequency drift as the cathode current varied, to the point that the value for the optimum operating current was marked on the body of each single device (Horner Hamilton et al., 1948). Therefore, changes were made to the disks and to the reflector, originating the variants 2K33A and 2K33B [2]. After the war the frequency

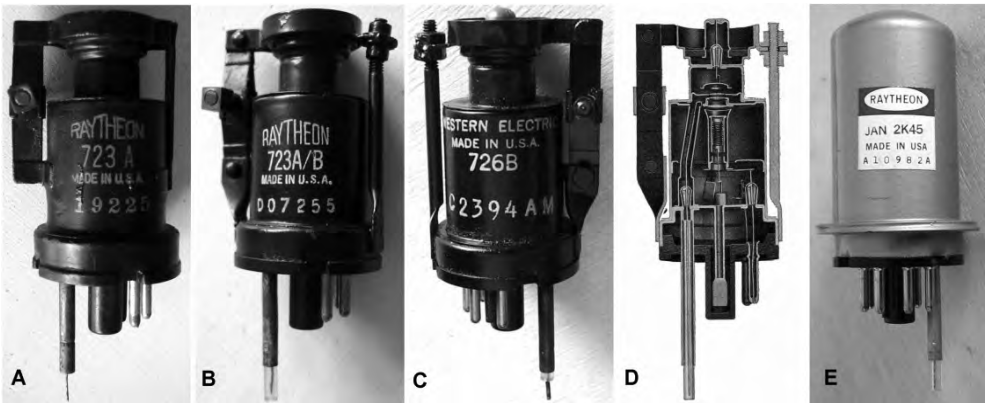


Fig. 11 – 723A (A), 723A/B (B), 726B (C), cross-section of 723(D), 2K45 (E) [2].

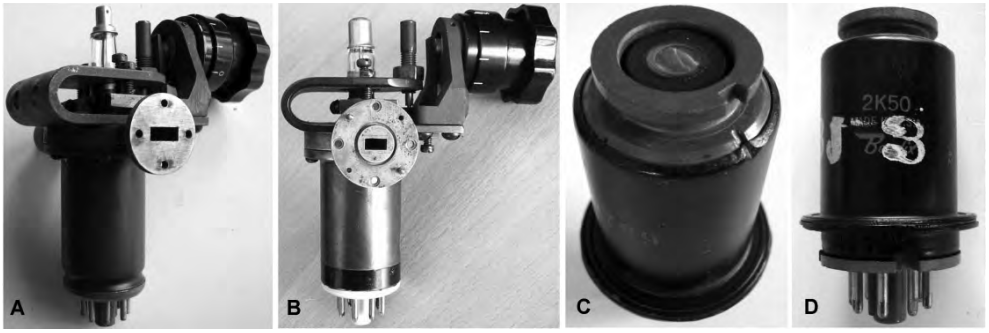


Fig. 12 – K-band reflex klystrons: 2K33 (A), QK290 (B), 2K50 (C, D) [2].

coverage will be extended, introducing a whole family of types for millimeter waves up to 50 GHz and over, often proposed as pumps for parametric amplifiers, such as the QK290 of Fig. 12B (Raytheon, 1963).

Bell on the contrary preferred the solution of integrating the thermal tuner into its design, as before done in the 2K45. The project was born at the M.I.T. Radiation Laboratory, developed by H.V. Neher in close collaboration with Bell technicians (Gewartowski, 1965) [5]. The design of the 2K50, visible in Figs. 12C and 12D, included a sturdy and compact metal envelope. It was the first metal tube with the tiny electrode system arranged horizontally in the bulb, the outgoing waveguide facing upwards, where the flange is located. Although Western Electric registered this device only in December 1948 (TCA JETEC Register), as was often the case during hostilities for classified tubes, it was actually released before the end of the Second War and it is documented in the Klystron volume of the series published by the Radiation

Laboratory at the end of the war (Horner Hamilton, 1948). The accuracy of the design was such that the 2K50 was manufactured without substantial improvements for over thirty years (Industro Catalog), until solid state devices almost completely replaced vacuum tubes.

Bibliography

Callick E.B. 1990. *Metres to Microwave Metres to Microwaves: British Development of Active Components for Radar Systems 1937 to 1944*. London: Institution of Engineering and Technology.

Clayton R., Algar J. 1991. *A Scientist's War: the diary of Clifford Paterson*. London: The Institution of Engineering and Technology.

Gewartowsky J.W., Watson H.A. 1965. *Principles of electron tubes Including Grid-controlled Tubes, Microwave Tubes and Gas Tubes*. New York: Van Nostrand Reinhold Inc

Industro catalog 1967 - Tubes for industry. Selfpublished (documento disponibile presso ase-museoedelpro.org.

Horner Hamilton et al. 1948. *Klystrons and Microwave Triodes*. New York: Mc Graw Hill

Kingsley F.A. 1995. *The Development of Radar Equipments for the Royal Navy, 1935-45*. London: Palgrave Macmillan.

Knowles Middleton W.E. 1981. *Radar development in Canada: The Radio Branch of the National Research Council of Canada 1939-1946*. Waterloo: Wilfrid Laurier University Press

Lowell B. 1991. Echoes of war: The Story of H2S Radar. Boca raton: CRC Press.

Phelps S. 2011. *The Tizard Mission: the Top-secret Scientific Mission that Changed the Course of Wwii*. Yardley: Westholme Publishing.

Raytheon. 1963. *Industrial tube characteristics 1963*. Waltham: Raytheon Technologies.

Southworth G.C. 1950. Principles and applications of waveguide transmissions. The Bell System Technical Journal, 29(3), 295-342.

Sibley L. 2019. *Tube Lore II*. Selfpublished.

Sperry Gyroscope Com. 1944. Klystron technical manual. Lake Success: Sperry gyroscope company, inc.

TCA vacuum tube data cache, RMA/JETEC register archive. CD. Ashland: Tube Collectors Association.

Webgraphy

[1] alpha-index
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/Catalogo/tubes/records_nw/lista.htm

[2] klystrons
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/Catalogo/tubes/T06-2_klystron.htm

[3] Heil tubes
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/Catalogo/Overview/Heil%20Tubes.pdf

[4] ase-museoedelpro home
http://www.ase-museoedelpro.org/

[5] Pierce and Shepherd, 1947, The Bell System Technical Journal
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/links/P-08.pdf

[6] Varian Associates, An Early History
https://www.cpii.com/docs/files/Varian Associates - An Early History.pdf

Index of abbreviations
BTH: British Thomson-Houston.
CRT: Cathode ray tube.
EMI: Electric and Musical Industries Ltd.
GEC: General Electric Co., not to be confused with American General Electric.
IF: Intermediate frequency (of a superheterodyne receiver).
Q: quality factor of a resonant circuit.
RDF: Radio Direction Finding, alternative name for radar.
REL: Research Enterprises, Ltd.: Branch of the Canadian National Research Council.
TRE: Telecommunication Research Establishment.

Rosa Maria Marta Caruso

Il rilancio del progetto per il ponte di Messina in risposta al cantiere dell'Autostrada del Sole (1956-1964)

The Messina Strait Bridge project's relaunch in response to the "Autostrada del Sole" highway's construction site (1956-1964)

Sommario
Durante la Ricostruzione, il progetto per il ponte di Messina divenne un'occasione per sperimentare nuove soluzioni strutturali. Nello stesso periodo, gli ingegneri erano impegnati nella realizzazione dell'Autostrada del Sole. Lo studio si propone di analizzare le analogie e le differenze tra i due progetti, con l'obiettivo di comprendere le ragioni per cui il ponte di Messina è rimasto un "progetto ideale", ancora parte di un acceso dibattito tra tecnici, sociologi ed economisti.

Abstract
During the Italian Reconstruction, the Messina Strait Bridge project became an opportunity to test new structural solutions. In the same period, the engineers were committed to build the most important Italian highway, the "*Autostrada del Sole*". The study aims to analyze the analogies and the differences between the two projects. The main objective is to understand the reasons why the Messina Strait Bridge remained an "ideological project", still part of a heated debate between technicians, sociologists and economists.

Introduzione
Negli anni del *boom* economico, caratterizzati da numerose sperimentazioni nel settore tecnico, l'arco temporale compreso tra il 1953 e il 1964 assume notevole importanza. Al suo interno, si sviluppò uno dei cantieri italiani più rilevanti della Ricostruzione: l'Autostrada del Sole (1956-1964). Il progetto della «strada dell'Unità» (Iori e Poretti, 2013: 187) era nato qualche anno prima, nel 1953, ed era inserito all'interno del programma Poliennale Aldisio, un piano decennale di interventi economici elaborato in risposta alla Dichiarazione di Ginevra, che proponeva di produrre un piano regolatore generale delle strade internazionali (Touring Club italiano e Automobile Club d'Italia,

1953: 16). Il progetto di larga massima, redatto da Francesco Jelmoni, fu presentato nel 1955 (Iori et al., 2017: 8-17) ed era finalizzato a ottimizzare il lavoro delle piccole e medie imprese sul territorio[1], in collaborazione con gli ingegneri, tra cui anche i più noti su scala nazionale e internazionale, appartenenti alla Scuola Italiana di Ingegneria.

Parallelamente alla storia dell'Autosole procede quella del ponte di Messina. Le soluzioni più frequenti proposte dai tecnici riguardavano attraversamenti aerei mediante ponti sospesi o strallati, istmi o dighe e attraversamenti in galleria.

Mettere a sistema i progetti realizzati per l'Autostrada del Sole e quelli proposti per il collegamento stabile tra Sicilia e Calabria consente di evidenziare le analogie e le differenze tra le due vicende e di individuare gli elementi utili a spiegare i cambiamenti nell'approccio progettuale dei tecnici per la risoluzione del problema dell'attraversamento dello Stretto di Messina nel corso degli anni.

I progetti per il ponte di Messina (1953-56) e per l'Autostrada del Sole a confronto

Il 1953 può essere assunto come l'anno del rilancio dell'idea del ponte di Messina, proprio in risposta alla realizzazione dell'Autostrada del Sole, confermando l'inevitabile legame tra le due opere (Angelini, 2011: 44). A marzo dello stesso anno, infatti, si era tenuto a Palermo il IX Convegno Nazionale Stradale, in occasione del quale venne presentato in Sicilia il progetto per l'Autosole, che ne prevedeva la fine a Salerno (Touring Club italiano e Automobile Club d'Italia, 1953). Fu immediata la risposta dei siciliani, che, esclusi da un'iniziativa con tanto potenziale economico, organizzarono un convegno presso la Camera di Commercio di Messina per raccogliere le opinioni a proposito della realizzazione del ponte (Atti ufficiali del Convegno Ponte Messina, 1953: 9).

Da allora, mentre la Scuola Italiana di Ingegneria, insieme alle piccole e grandi imprese di costruzione, era impegnata nel progetto dell'Autosole, altri tecnici, italiani e non, avanzavano proposte di massima per la risoluzione dell'attraversamento dello Stretto di Messina.

Risale al 1953 il progetto di David Steinmann (1886-1960), in Figura 1, per una struttura in acciaio a tre luci, 732 m per le laterali e 1524 m per la centrale, che aveva come riferimenti il Golden Gate Bridge (Cromwell Mensch, 1955) e il Verrazzano Bridge. A causa dei costi elevati per l'inserimento delle fondazioni sui fondali dello Stretto era necessario ridurre al minimo il numero dei piloni, mantenendo le luci di una dimensione ragionevole per permettere il passaggio dei treni (Maugeri, 1968: 348). Il traffico sul ponte era organizzato su due livelli, come mostrato in Figura 2: in basso il traffico ferroviario su due binari; nella parte superiore, invece, si trovava la carreggiata con due marciapiedi laterali per i pedoni. I piloni in acciaio erano costituiti ognuno da due montanti cavi, distanziati circa 32 metri l'uno dall'altro e collegati da traverse in modo da formare una trave a telaio atta a resistere alle forze orizzontali (Maugeri, 1968: 347-354).

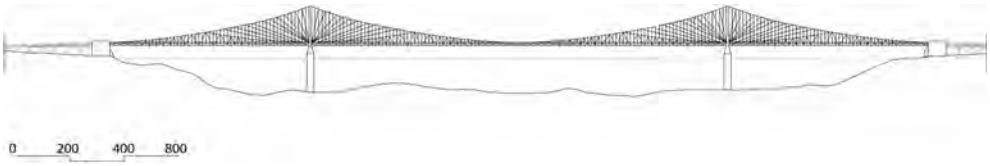


Fig. 1 – D. Steinmann, progetto di attraversamento aereo a tre luci sullo Stretto di Messina, 1953, rielaborazione del disegno (Maugeri, 1968).

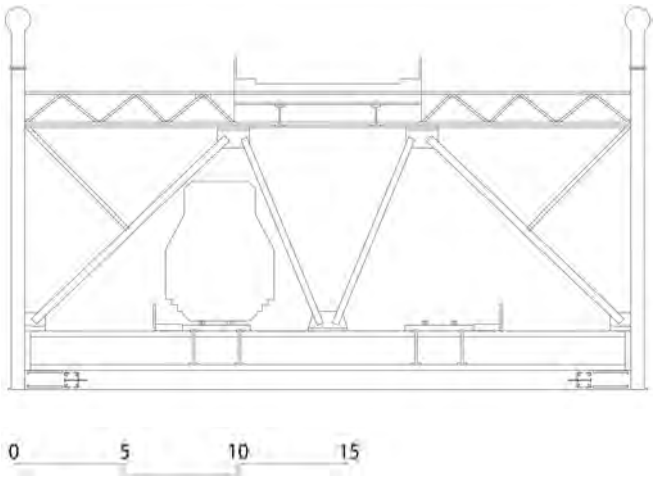


Fig. 2 – D. Steinmann, sezione trasversale della carreggiata del ponte sullo Stretto di Messina, 1953, rielaborazione del disegno (Maugeri, 1968).

L'anno successivo anche Lucien Chadenson si prodigò nel progetto per il ponte di Messina. Egli propose un ponte sospeso a campata unica di 3000 m da realizzare con un sistema piuttosto innovativo, definito "quadrifune", in Figura 3 (Chadenson, 1954: 1353). La differenza con un ponte sospeso di tipo classico, non adatto al contesto dell'area dello Stretto, consisteva nel fatto che la maggiore rigidità della struttura e la sua stabilità dinamica erano garantite per mezzo di cavi laterali posti in due piani quasi orizzontali: «mentre nel ponte sospeso classico la rigidità viene affidata alle travi del piano portante, nel sistema quadrifune la rigidità è assicurata da un sistema presollecitato di funi, di cui una di tensione e due rovesce. A parità di rigidità il peso totale risulta molto minore» (Chadenson, 1954: 1353). Il limite della soluzione di Chadenson rispetto a quella di Steinmann era legato principalmente al traffico troppo ridotto consentito sul ponte, in quanto quest'ultimo aveva una sola via comune ai veicoli ferroviari e automobilistici, con la conseguente necessità di un rigoroso disciplinamento del traffico in senso alternato (Chadenson, 1954: 1349).

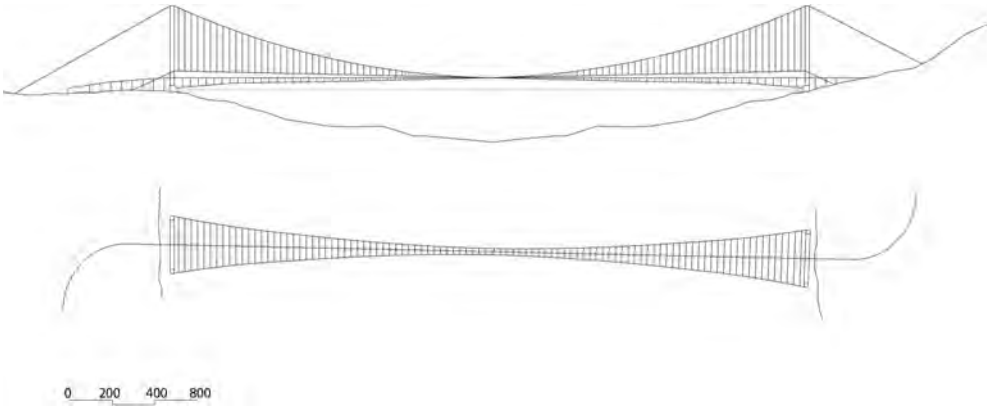


Fig. 3 – L. Chadenson, progetto di ponte sospeso "quadrifune" sullo Stretto di Messina, 1954, rielaborazione del disegno (Maugeri, 1968).

Il 1956 fu l'anno di inizio del cantiere dell'Autostrada del sole. La prima pietra fu posta da Fedele Cova, direttore generale della Società Autostrade, nel corso di una cerimonia solenne tenuta a San Donato Milanese, nei pressi della Metanopoli, luogo simbolo e centro direzionale dell'Eni (Menduni, 1999: 41). Tra Milano e Parma, gli ostacoli principali da superare con ponti e viadotti erano i grandi fiumi, tra cui il Po. La soluzione strutturale maggiormente usata fu quella isostatica, con travi semplicemente appoggiate o schemi Gerber. La tecnica costruttiva scelta, data l'inadeguatezza del cemento armato ordinario per il superamento delle luci previste nei progetti, era il cemento armato precompresso, preferito alle travi metalliche ad anima piena per ragioni economiche e produttive (Iori, 2006: 1135). Il cantiere del ponte sul Po nei pressi di Piacenza, in Figura 4, realizzato tra il 1957 e il 1958 su progetto di Silvano Zorzi (1921-1994) e per mano dell'impresa Rizzani, fu uno dei più noti e venne interamente documentato dalla RAI, fino alla cerimonia di inaugurazione tenuta nel giugno del 1959 (Girardelli e Zorzi, 1958). Si trattava di una struttura a 16 campate, ciascuna con luce di 75 m, superati con travi semplicemente appoggiate; le travi venivano realizzate fuori dal cantiere e, successivamente, poggiate sui piloni lasciandole scorrere su un'armatura provvisoria in metallo (Menduni, 1999: 50; Iori e Poretti, 2015).

Lungo la Transappenninica, «un tratto difficilissimo» (Iori et al., 2017: 11) per la conformazione del territorio, il sistema strutturale a travi isostatiche è sostituito dall'arco, in cemento armato ordinario e con luci fino a 160 m. In successione si distinguono opere come il viadotto sul Sambro di Riccardo Morandi (1902-1989), gli archi sul Merizzano e sul Gambellato di Giulio Krall (1901-1971) e quello sull'Aglio di Guido Oberti (1907-2003). Per la realizzazione del ponte sul Sambro, Riccar-

Fig. 4 – S. Zorzi, ponte sul Po a Piacenza in costruzione, 1958 (Archivio fotografico Farabola, in Iori, Poretti 2015).

do Morandi, impegnato negli stessi anni nel progetto dell'elettrodotto sullo Stretto di Messina, lavorò con l'impresa Sogene; rinunciando al cemento armato precompresso, il progettista superò i 140 m di luce con due archi gemelli incastrati che sostengono una trave continua: «l'eleganza strutturale della soluzione è affidata al contrasto tra l'arco, visivamente robusto e massiccio, e la selva di esilissimi pilastrini che, come spilli, si incastrano nel cemento per sostenere la linea dell'impalcato» (Iori e Poretti, 2015: VIII). Il ponte sull'Aglio di Guido Oberti, in collaborazione con l'impresa Enrico Romagnoli, è l'arco più grande dell'Autostrada del Sole e raggiunge i 164 m di luce (Oberti et al., 1959). Per la realizzazione degli archi lungo l'Autostrada, la centina Innocenti diventò la "primadonna" dei cantieri, protagonista indiscussa per la semplicità del montaggio e per l'ottimizzazione dei tempi conseguentemente al suo impiego[2].

Lungo la Transappenninica, nell'area intorno al valico del Citerna, sono presenti anche le uniche occasioni d'uso per l'acciaio sull'Autostrada del Sole, a causa della particolare orografia del luogo. Si tratta del viadotto Coretta e del viadotto Macinaie, entrambi realizzati con struttura mista in acciaio e calcestruzzo (Iori, 2006: 1137) su progetto di Fabrizio De Miranda (1926-2015)[3].

A differenza degli esempi di ponti e viadotti realizzati sul primo tratto dell'Autostrada del Sole, i progetti per il ponte di Messina di David Steinmann (1953) e di Lucien Chadenson (1954) dimostrano che la tecnologia preferita per il collegamento tra Sicilia e Calabria durante gli anni Cinquanta era legata principalmente all'uso dell'acciaio, in quanto il materiale, pur avendo un costo elevato, era ritenuto più adatto per il superamento delle luci da impostare sullo Stretto di Messina.

Il diverso approccio dei tecnici per la risoluzione dell'attraversamento dello Stretto dal 1956 al 1965

Dal 1956, le proposte per il ponte di Messina assunsero un carattere maggiormente sperimentale. L'ipotesi che spiega il diverso approccio dei tecnici con l'area di progetto è legata all'assenza di dati sufficienti sulla conformazione del fondale, nonostante nel 1955 la Fondazione Lerici del Politecnico di Milano avesse effettuato una campagna di indagini sull'area di progetto (Angelini, 2011: 65; Andò, 1978: 44; Caltabiano, 1966: 137). La criticità maggiore per gli attraversamenti aerei sullo Stretto, infatti, riguardava la realizzazione delle fondazioni dei piloni. I progettisti, di conseguenza, iniziarono a proporre soluzioni che riducessero al minimo il problema delle fondazioni o che lo eliminassero del tutto.

Nel 1956 Armando Brasini (1879-1965) elaborò una proposta che prevedeva la realizzazione di una o più isole artificiali con superficie carrabile di 12000 m^2 e alte 70 m, da realizzare con colmate di roccia e una platea di cemento armato dello spessore di 6 m, sulla quale si sarebbero elevate le strutture verticali per l'impostazione dei due piani stradali, quello ferroviario e quello automobilistico, come mostrato in Figura 5. Le isole artificiali, al loro interno, avrebbero ospitato locali con usi diversi. La proposta di Brasini si pone in contrapposizione a quella di Steinmann: «il dover pensare un ponte sospeso ad unica gettata, è un'incognita anche per i più grandi tecnici che già hanno costruito ponti sospesi. Fare un paragone con la grandiosa opera dell'ing. Steinmann, il ponte di S. Francisco in America, che misura 1300 m, e che in giornate di grandi venti e bufere deve essere chiuso al transito [è sufficiente] per rendersi conto [di] come un ponte circa tre volte detta lunghezza, ossia 3600 m, possa veramente realizzarsi senza destare serie preoccupazioni» (Brasini, 1979: 169). Il progettista riteneva opportuno suddividere la struttura in cinque ponti sospesi di luce ridotta, attraverso quattro isole artificiali, risolvendo in questo modo «il problema della enorme lunghezza» (Brasini, 1979: 169).

Nello stesso anno, Lucien Chadenson cercò un'alternativa al ponte sospeso di tipo "quadrifune" precedentemente studiato, progettando un ponte galleggiante sullo Stretto di Messina, in Figura 6: la sua nuova soluzione consisteva in una struttura che poggiava su cassoni, attraverso cui i carichi verticali erano controbilanciati dalla spinta di Archimede (Chadenson, 1956: 334). L'opera non era prevista per impostare anche la ferrovia, tuttavia «le travate, come sono state studiate e disegnate,

Fig. 5 – A. Brasini e M. Palmieri, veduta prospettica del Ponte Omerico sullo Stretto di Messina. Dettaglio dell'isola centrale, 1956 (Roma, Archivio Centrale dello Stato. Fondo Armando Brasini[4]).

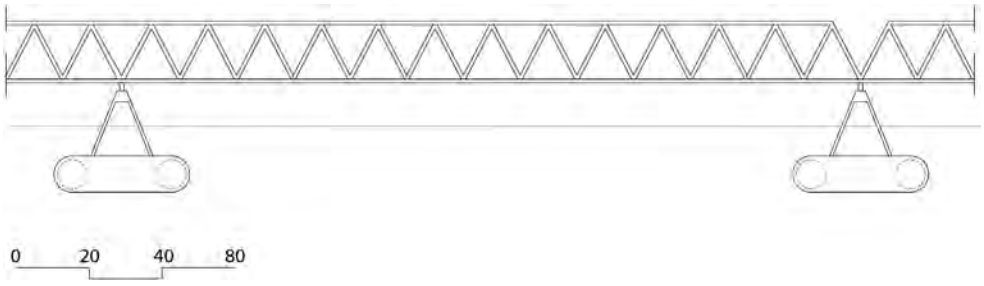


Fig. 6 – L. Chadenson, progetto per un ponte galleggiante sullo Stretto di Messina, schema della campata normale, 1956, rielaborazione del disegno (Maugeri, 1968).

sosterrebbero regolarmente, se necessario, una via centrale normale atta al transito del convoglio ferroviario tipo» (Chadenson, 1956: 335). Il passaggio per la navigazione era ottenuto attraverso dei ponti levatoi di tipo classico. La lunghezza delle travate, per ragioni economiche, era di 203 m: la travata adottata, usata soprattutto in Germania, era costituita da due travi a triangolazione semplice e da un tavolato che sosteneva una strada di 9 m di larghezza e due marciapiedi di 1,85 m ciascuno.

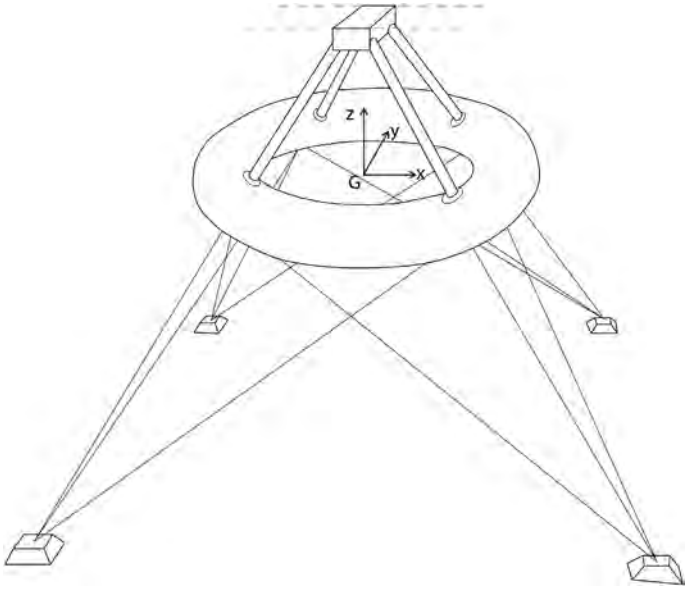


Fig. 7 – L. Chadenson, schema del cassone, 1956, rielaborazione del disegno (Maugeri, 1968).

Il cassone, elemento di maggiore rilievo nel progetto, come mostrato in Figura 7 era disegnato con forma torica, per favorire i 6 movimenti elementari che esso avrebbe potuto compiere intorno al suo centro di gravità, tre traslazioni e tre rotazioni. L'ancoraggio, dall'altra parte, era pensato con un sistema iperstatico: quattro massi sul fondo, quattro punti di attacco sul cassone con arrivo su ognuno di essi di tre cavi formanti un triedro e collegati a tre massi distinti.

Sulla base del progetto di Lucien Chadenson, all'inizio degli anni Sessanta, venne elaborata la proposta dell'ingegnere Francesco Saya per un ponte a sostegno idrostatico, in Figura 8, in seguito al «giustificato desiderio di svincolarsi il più possibile dalle incognite che insidiano la soluzione del problema» (Fuxa, 1967: 816). Si trattava di una serie di travi a traliccio metallico, semplicemente appoggiate su pile, anch'esse metalliche, che spiccavano da pontoni galleggianti che restavano in superficie grazie a cassoni metallici posti a circa 20 m sotto il livello dell'acqua, per evitare l'influenza del moto ondoso. Il sistema era collegato al fondale attraverso cavi metallici che, partendo dai vertici della piattaforma cui era vincolata la pila, andavano ad ancorarsi in massi-zavorra che poggiavano sul fondo. Il limite del progetto dell'ingegnere Saya era dato dall'eccessiva lunghezza dei cavi di ancoraggio, non inferiore a 140 m: variazioni anche minime delle tensioni dei cavi, infatti, avrebbero avuto effetti amplificati sull'intera struttura, fino a minarne la stabilità.

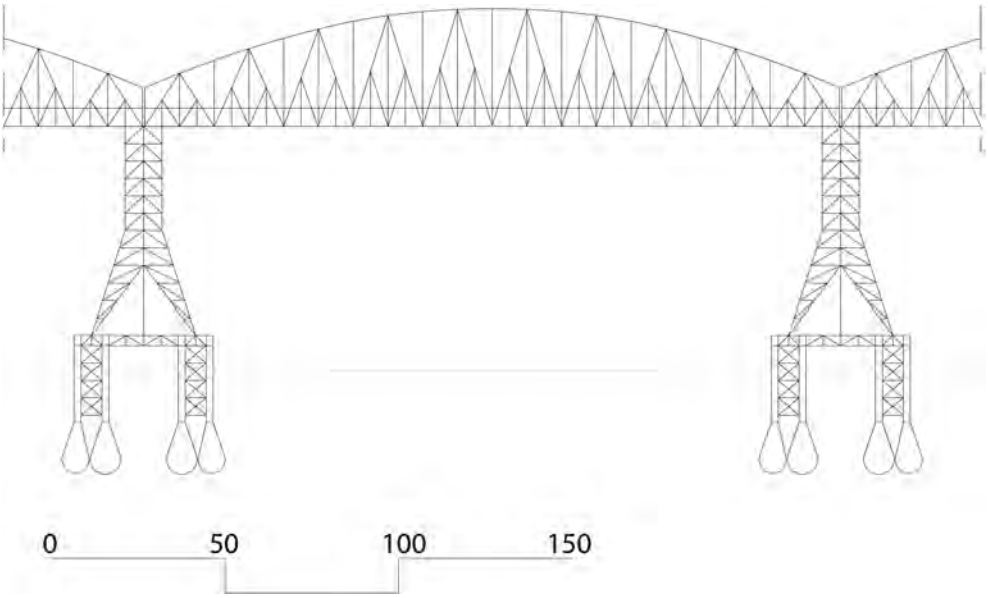


Fig. 8 – F. Saya, progetto per un ponte galleggiante sullo Stretto di Messina, 1960 ca, rielaborazione del disegno (Fuxa, 1967).

Tra il 1958 e i primi anni Sessanta, nei progetti per il ponte di Messina restava costante il tentativo di evitare il problema delle fondazioni nell'area dello Stretto: «le principali ragioni tecniche che fino ad ora hanno impedito l'attuazione dell'attraversamento dello Stretto di Messina con un'opera fissa, sono prevalentemente di origine geologica, sismica e marittima, e gli inconvenienti che ne derivano sono così gravi da fare ritenere pressoché impossibile, per tale costruzione, l'applicazione di schemi classici di ponti e gallerie» (Cristaldi, 1960: 793). Pietro Canello, Filippo Cristaldi e Giovanni Lanzara proposero tre soluzioni in galleria, seppur con strutture diverse. In particolare Filippo Cristaldi, aveva optato per un tunnel subacqueo a tubi sommersi e ancorati a massi di zavorra poggiati sul fondo del mare attraverso cavi in acciaio, in Figura 9. La proposta si basava sullo sfruttamento di un campo di forze diretto verso l'alto, nascente dalla composizione del campo gravitazionale con quello di Archimede proporzionale al volume di un corpo immerso in un fluido» (Cristaldi, 1960: 796). La profondità di immersione del tunnel era stabilita per garantire il passaggio delle navi e per allontanare, allo stesso tempo, la struttura dai moti ondosi generati dal conseguente spostamento dell'acqua. La galleria era pensata con sezione circolare anulare con diametro interno di 13,60 m e diametro esterno di 15,90 m: nella metà superiore era disposta la galleria stradale mentre in quella inferiore la galleria ferroviaria.

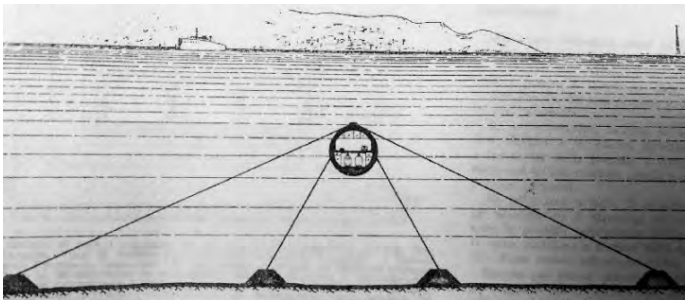


Fig. 9 – F. Cristaldi, tunnel subacqueo sotto lo Stretto di Messina, 1958 (Fuxa, 1967)

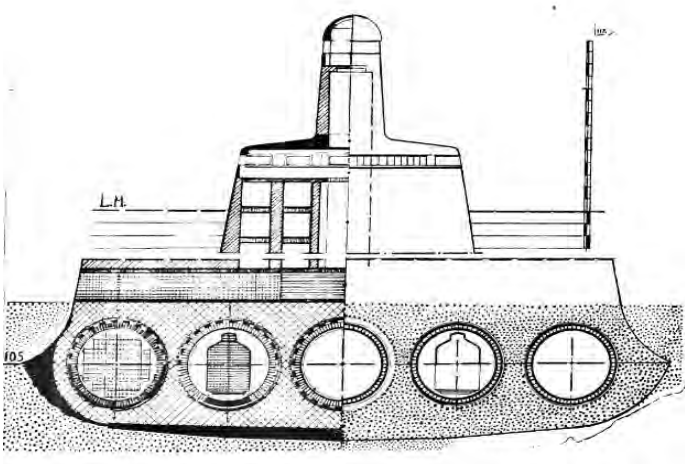


Fig. 10 – C. Lombardo, sezione del tunnel sotto lo Stretto di Messina, 1962 (Lombardo, 1962).

La soluzione di tunnel proposta da Costantino Lombardo, riportata in Figura 10, affrontava il problema dell'attraversamento dello Stretto in modo del tutto diverso. L'opera, infatti era composta da cinque vie tubolari, «a segmenti isolabili, associando materiali elastici e rigidi in strutture elasticamente deformabili e reagenti, all'impianto e in esercizio, senza reali conseguenze ed isteresi» (Lombardo, 1962: 5). Anziché essere ancorato al fondale tramite cavi in acciaio, il tunnel di Lombardo era posto su una "sella", realizzata direttamente sul fondale, che svincolava la struttura dall'impatto dei venti e delle correnti marine e dal passaggio delle navi. Unica parte del progetto visibile in superficie era la torre dei servizi che, a detta del progettista, «non altera il paesaggio ed ubica il maggior carico sul fondo più calmo (isolotto)» (Lombardo, 1962: 6).

Negli stessi anni, tra il 1963 e il 1964, i lavori per l'Autostrada del Sole erano quasi conclusi. L'inaugurazione avvenne il 4 ottobre del 1964 presso il ponte Giuseppe Romita, per spostarsi poi a Campi Bisenzio, alle porte di Firenze, nella chiesa di San Giovanni Battista, progettata da Giovanni Michelucci. Il discorso che Giuseppe Petrilli, presidente dell'Istituto per la Ricostruzione Industriale, tenne in quell'occasione e che fu pubblicato su diverse riviste del tempo, esprimeva il pensiero condiviso dalla maggioranza degli italiani: «Snodandosi attraverso sei Regioni del nostro Paese per 755 km […], l'Autostrada del Sole costituisce anzitutto una straordinaria opera d'arte, che forse più di altre rappresenterà per le future generazioni l'immagine civile della società italiana del nostro tempo […]. L'autostrada […] è soprattutto un fatto di cultura […], si pone alla stessa stregua del processo di integrazione ormai avviato nell'ambito europeo – come un'occasione storica da cogliere per restituire pienamente l'Italia alla sua vocazione di tramite naturale tra diverse civiltà»[5]. Il cantiere dell'Autosole, dopo 8 anni di lavori, venne dunque concluso egregiamente, diventando un'opera infrastrutturale rappresentativa della Scuola Italiana di Ingegneria e delle sue competenze.

Proprio dalla metà degli anni Sessanta, invece, le espressioni utopiche per l'attraversamento dello Stretto diventarono sempre più frequenti. Nel 1965 Maurizio Sacripanti (1916-1996) propose il progetto della "città-ponte"[6], in Figura 11, che racchiude al suo interno ragionamenti sull'urbanistica, oltre a espliciti richiami formali alle megastrutture della Scuola Metabolista Giapponese, soprattutto a quelle di Yona Friedman[7]. Il riferimento alla soluzione di Maurizio Sacripanti, dunque, evi-

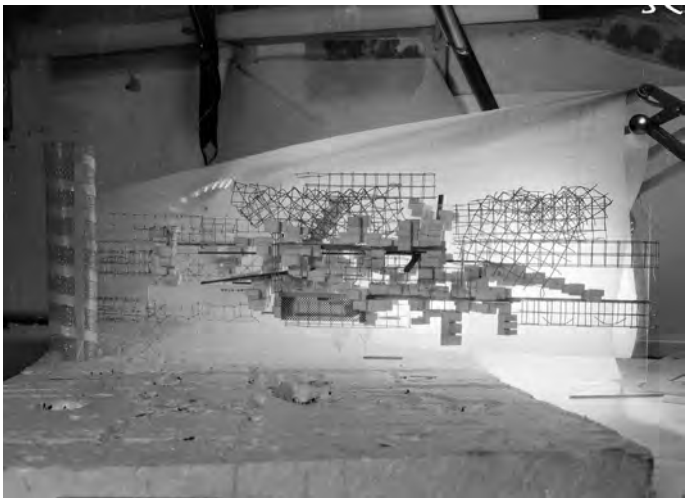


Fig. 11 – M. Sacripanti: progetto per una "città-ponte" sullo Stretto di Messina, 1965 (Roma, Accademia Nazionale di San Luca. Fondo Maurizio Sacripanti).

denzia come, se da una parte in Italia ci sono stati esempi di infrastrutture realizzate con tecniche innovative, ottimizzando i tempi con un'organizzazione funzionale dei cantieri, dall'altra esistevano progetti che sembravano destinati a restare occasioni di sperimentazione, piuttosto che diventare esecutivi.

Conclusioni

Dall'analisi dei progetti selezionati emergono importanti differenze tra il cantiere dell'Autosole e le proposte per il ponte. La tecnologia usata per l'Autostrada del Sole, salvo poche eccezioni, era legata all'uso del cemento armato. Per il ponte di Messina, invece, tra il 1953 e il 1956 si lavorava soprattutto sulla progettazione di ponti sospesi in acciaio; dal 1958 appaiono più numerose le soluzioni di attraversamenti in galleria subacquea e di ponti galleggianti, che cercavano di ovviare all'assenza di dati sui fondali dello Stretto. Anche gli schemi strutturali scelti sono molto diversi: per superare con una sola luce l'intera lunghezza dello Stretto di Messina si puntava principalmente su sistemi iperstatici; per i progetti dell'Autosole, invece, era più facile pensare alla soluzione a trave isostatica in cemento armato precompresso, già ampiamente sperimentata, per ottimizzare i cantieri, rispettando la suddivisione in lotti e le capacità delle imprese di costruzioni, includendo anche le più piccole.

Le modalità operative per i due importanti progetti si confrontavano con problematiche differenti: la ricostruzione del sistema infrastrutturale italiano aveva un duplice obiettivo, da una parte ripristinare le principali arterie stradali, dall'altra impiegare manodopera, fornendo lavoro alle imprese e agli operai. I tecnici italiani avevano le competenze per portare a termine un cantiere tanto importante come quello dell'Autostrada del Sole anche grazie all'esperienza maturata con la realizzazione delle grandi opere infrastrutturali durante il periodo bellico (Poretti, 1997: 274). Il ponte di Messina nasceva, invece, come una questione ideologica, sviluppatasi soprattutto dall'unità d'Italia per sancire il collegamento fisico dell'intero territorio. Nonostante i risvolti che il manufatto avrebbe avuto sull'economia siciliana, il collegamento tra Sicilia e Calabria rimase per decenni una sfida per i progettisti: al di là della crisi economica[8], il problema della mancata realizzazione dell'opera includeva non solo l'assenza di dati sufficienti per la definizione di un progetto esecutivo, ma anche la suddivisione della responsabilità del manufatto tra le diverse amministrazioni coinvolte.

L'utopia, campo di indagine dei progettisti dalla seconda metà degli anni Sessanta, prese il sopravvento in numerose soluzioni per l'attraversamento, tra cui quella di Maurizio Sacripanti e quelle proposte da diversi progetti presentati al concorso internazionale di idee del 1969, ulteriore banco di prova per tutti coloro che avessero voluto confrontarsi sul tema. Proporre soluzioni del tutto innovative era una diretta conseguenza della progettazione del manufatto in relazione ai molteplici fattori che dovevano fare parte dello studio e dell'elaborato finale. Negli anni Sessanta assumeva un peso notevole l'impatto che il ponte avrebbe avuto non solo sulla real-

tà economica e sociale del Meridione, ma anche sul contesto ambientale; i tecnici, inoltre, erano invitati a ragionare sulla pianificazione su larga scala, in quanto, contemporaneamente, si facevano strada le prime teorie sull'urbanistica e sul concetto di "città-regione"[9].

L'astrazione delle proposte per il ponte si faceva portavoce della necessità di trovare una soluzione unica in risposta alle molteplici questioni che la complessità del progetto sottoponeva ai tecnici. Il tema dell'attraversamento dello Stretto di Messina, infatti, mantiene da sempre un carattere molto poliedrico che stimola, oggi come allora, la ricerca di progettisti ed esperti, restando parte di un acceso dibattito socio-economico e prestandosi al confronto continuo tra storici, tecnici, sociologi ed economisti interessati ad esso.

Bibliografia

Atti ufficiali del Convegno Ponte Messina. 1953. Rivista economica. Periodico mensile della camera di commercio industria ed agricoltura di Messina, 1(9), 2-60.

Andò O. 1978. *Le più recenti vicende del ponte sullo Stretto*. Messina: Industria poligrafica della Sicilia.

Angelini A. 2011. *Il mitico ponte sullo stretto di Messina. Da Cecilio Metello ai giorni nostri: la storia, la cultura, l'ambiente*. Milano: FrancoAngeli editore.

Banham R. 1980. *Le tentazioni dell'architettura. Megastrutture.* Roma-Bari: Laterza.

Brasini L. (a cura di). 1979. *L'opera architettonica e urbanistica di Armando Brasini. Dall'urbe massima al ponte sullo Stretto di Messina*. Corigliano Calabro: Arti Grafiche Joniche.

Caltabiano G. 1966. Breve storia del ponte sullo Stretto di Messina. Memorie e rendiconti dell'Accademia di Scienze Lettere e Belle Arti degli Zelanti e dei Dafnici di Acireale, 6, 135-140.

Capitato E. Cresciani G., Forlini F. R., Mancini M. F. 2017. Immagini di città. Riflessioni di una città-ponte nella mente di Sacripanti. AAA Italia, dicembre, 4-39.

Capurso G., Martire F. 2015. La crisi (in)visibile, 1964-2001, cronache italiane. In: *SIXXI. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia* (a cura di T. Iori e S. Poretti). 3, 86-107. Roma: Gangemi Editore.

Chadenson L. 1954. L'attraversamento dello Stretto di Messina - studi. L'ingegnere. Rivista tecnica mensile, 12, 1349-1356.

Chadenson L. 1956. L'attraversamento dello Stretto di Messina. L'ingegnere. Rivista tecnica mensile, 4, 332-344.

Cristaldi F. 1960. Progetto di un ponte subacqueo nello Stretto di Messina. Ingegneria ferroviaria, 10, 793-803.

Cromwell Mensch E. 1955. *The Golden Gate Bridge. A technical description in ordinary language*. San Francisco: Published by The Author.

De Miranda F. 1960. Il viadotto Coretta sull'Autostrada del Sole. Acciaio, 12, 1-7.

De Miranda M. 2013. Strutture in acciaio in Italia dal '50 al '70: competizione, innovazione e grandi sfide. Territorio, 67, 72-77.

Fuxa U. 1967. L'attraversamento viario dello Stretto di Messina. Ingegneria ferroviaria, 9, 813-820.

Girardelli G., Zorzi S. 1958. Il ponte sul Po a Piacenza. Autostrade, 1, 19-26.

Iori T. 2006. L'Autostrada del sole. In: *Atti del 1° Convegno dell'Associazione Nazionale di Storia dell'Ingegneria*, Napoli. 8-9 marzo, 1133-1141. Napoli: Cuzzolin Editore.
Iori T. 2021. Le imprese di costruzioni italiane: una storia tutta da scrivere. L'industria delle costruzioni, 477, 4-13.
Iori T., Poretti S. 2013. Ascesa e declino della Scuola italiana di ingegneria. In: *La concezione strutturale, Ingegneria e architettura in Italia negli anni Cinquanta e Sessanta (*a cura di P. Desideri, A. De Magistris, C. Olmo, K. Pogacnik, S. Sorace), 181-194. Torino: Umberto Allemandi e C.
Iori T., Poretti S. 2015. La storia dell'ingegneria strutturale, L'Autostrada del Sole. In: *SIXXI. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia* (a cura di T. Iori, S. Poretti), 3, I-XXI. Roma: Gangemi Editore.
Iori T., Poretti S., Giannetti I. 2017. L'Autostrada del Sole e la Scuola italiana di ingegneria. Firenze Architettura, 1, 8-17.
Lombardo C. 1962. Attraversamento tubolare adagiato nello Stretto di Messina. Palermo: Tipografia A. Perna.
Maugeri M. 1968. *Aspetti tecnici del ponte sullo Stretto di Messina*. Tesi di Laurea, Politecnico di Torino.
Menduni E. 1999. *L'autostrada del Sole*. Bologna: Il Mulino.
Oberti G., Gentilini G., Romagnoli A. 1959. Il viadotto sul torrente Aglio. Autostrade, 11, 9-13.
Poretti S. 1997. La costruzione. In: *Storia dell'Architettura Italiana. Il secondo Novecento* (a cura di F. Dal Co), 268-293. Milano: Electa.
Salzano E. 1997. Leggi e istituzioni. In: *Storia dell'Architettura Italiana. Il secondo Novecento* (a cura di F. Dal Co), 344-367. Milano: Electa.
Touring Club italiano, Automobile Club d'Italia. 1953. *Atti del IX Convegno Nazionale Stradale*, Palermo 12-14 marzo. Milano: Istituto Sperimentale Stradale del T.C.I. e dell'A.C.I.

Note

1. Per ulteriori approfondimenti sulle imprese di costruzioni in Italia nel secondo dopoguerra si veda (Iori, 2021).
2. Per ulteriori approfondimenti sulla centina Innocenti si veda (Iori, 2021, p. 7).
3. Per ulteriori approfondimenti sui due progetti di Fabrizio De Miranda si veda (De Miranda, 2013; De Miranda, 1960).
4. Su concessione del Ministero della Cultura, n. 1651/2022. ACS, fondo Armando Brasini, Documentazione fotografica, scatola 27, foto n. 28, *Veduta prospettica del Ponte Omerico sullo Stretto di Messina. Dettaglio dell'isola centrale. Arch. A. Brasini, ing. M. Palmieri.*
5. ACS, fondo IRI (numerazione nera), serie 5580, busta STU/626, *Discorso pronunciato dal presidente dell'IRI, Giuseppe Petrilli, alla Cerimonia inaugurale dell'Autostrada del Sole*, 4 ottobre 1964.
6. Per ulteriori approfondimenti sulla "Città-ponte" di Maurizio Sacripanti si veda (Capitato et al., 2017).
7. Per ulteriori approfondimenti sulle megastrutture si veda (Banham, 1980).
8. Per ulteriori approfondimenti sulla crisi economica degli anni Sessanta e sul declino della Scuola Italiana di Ingegneria si veda (Capurso e Martire, 2015, pp. 86-107; Iori e Poretti, 2013, pp. 181-191).
9. Per ulteriori approfondimenti sulle trasformazioni in materia di pianificazione urbanistica in Italia nel secondo dopoguerra si veda (Salzano, 1997, pp. 334-367).

History of Engineering

Proceedings of the 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale

Naples, 2022 May 16th - 17th

volume II

Cuzzolin

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale

Naples, 2022 May 16th-17th

Volume II

Editors

Salvatore D'Agostino, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Elena Manzo

Cuzzolin

First edition: April 2022
Prima edizione: aprile 2022

© 2022 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 978-88-86638-94-4

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: Vulcanica Srl - Nola (NA)

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (Presidente)
Michele Brigante
Mario Como
Edoardo Cosenza
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Luciano De Menna
Giulio Fabricatore
Giovanna Greco
Emanuela Guidoboni
Elena Manzo
Luigi Marino
Vittorio Marchis
Raffaele Mauro
Dieter Mertens
Lia Maria Papa
Antoine Picon
Giuseppe Riccio
Luciano Rosati
Antonio Moccia
Bruno Siciliano
Andrea Silvestri
Giuliana Tocco Sciarelli
Carlo Viggiani
Armando Zambrano

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

Rossella Del Regno
Università di Salerno
Andrea Lizza
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Boris Igor Palella (Presidente)
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 nona 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

Summary / Sommario

Volume I

Preface/Prefazione
Salvatore D'Agostino *XIII*

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Un progetto di isolamento degli edifici dal suolo per ridurre gli effetti del terremoto: il trattato di Giovanni Aldini (1781)
Emanuela Guidoboni 3

Ingegnerie del futuro, tra scienza e scaramanzia
Vittorio Marchis 17

Il cantiere edile, tra maestranze specializzate, costi e normalizzazione: le voci dall'antichità
Giovanna Greco 31

Le terme di Baiae tra mito, storia e tecnica
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Gennaro Di Fraia, Angela Schiavone 45

Terremoti: riflessioni su alcuni casi tra Roma e l'Appennino
Cairoli Fulvio Giuliani 59

Il ponte romano sul torrente Harod (Israele). Nota su un ponte posto in diagonale rispetto al corso dell'acqua
Luigi Marino, Raffaele Serangeli 71

Ipotesi per il terminale flegreo dell'Aqua Augusta Campaniae. Tra indagine multidisciplinare e funzionamento idraulico
Pierpaolo D'Agostino, Francesco Pugliese, Raffaele Merone 85

Nuovi dati per lo studio dell'area tra le catacombe di S. Gaudioso e S. Severo alla Sanità a Napoli
Maria Amodio, Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo 99

La distribuzione e il drenaggio dell'acqua nella città romana di Saepinum
Damiano Santillo, Federico Capriuoli, Gabriella Caroti, Andrea Piemonte, Maria Diletta Colombo, Isabella Muccilli, Maria Gabriella Carpentiero 111

L'importanza del Palazzo di Ctesifonte nella storia dell'ingegneria strutturale
Stefano Miccoli, Luisa María Gil-Martín, Enrique Hernández-Montes 125

Il "podio" e gli elefanti nel simbolismo quattrocentesco della corte Riminese di Sigismundus Imperator
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 139

L'impatto dei terremoti nella genesi di un modello costruttivo: il caso dell'architettura ecclesiastica di committenza angioina (fine XIII – inizio XIV secolo)
Arianna Carannante 153

L'evoluzione storica della sicurezza sui luoghi di lavoro: da Filippo Brunelleschi al D. Lgs. 81/2008
Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino 167

Riparazione dei danni e presidi antisismici dopo il terremoto del 1818 in area etnea: il caso di Acireale
Federica Scibilia 177

Le infrastrutture idrauliche ottocentesche a Napoli
Roberta Gambardella 191

La «Shallow Ecology» nell'Ottocento borbonico
Giuseppe Foscari 201

Arsenali militari in Italia e architettura del ferro nell'800. Il ponte girevole di Taranto
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 215

Presidi antisismici nella storia: il ruolo degli elementi lignei nella cultura costruttiva aquilana
Alessandra Tosone, Alessandra Bellicoso 229

La risposta di ingegneri e architetti ai terremoti di Ancona nel XX secolo. Progetti, realizzazioni e scuole di pensiero
Giovanni Bellucci 243

Storia delle pompe di calore: principi, tecnologie, applicazioni
Filippo Busato, Marco Noro 257

Storia degli strumenti per la misura della pioggia: dall'orinale di Benedetto Castelli ai radar e ai sistemi satellitari
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 271

Rocking behaviour and safeguard of freestanding art objects: an hystorical perspective
Davide Pellecchia, Nicolò Vaiana, Pasquale Cesarano, Luciano Rosati 285

Genesi e sviluppo della disciplina "Fisica Tecnica Ambientale". 1975-2015
Marco Filippi 299

La Storia dell'Ingegneria in Italia e in alcuni Paesi oggi: una prima rassegna
Raffaele Mauro, Anna Maragno 313

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Costruzione e Progetto dei ponti di grande luce negli ultimi due secoli
Mario Como 329

Fisica, scienze, applicazioni all'inizio dell'Unità d'Italia. Temi e posizioni epistemologiche nella rivista "Il Politecnico" (1860-1869)
Lucio Fregonese 343

Nuovi sistemi costruttivi di primo Novecento: dai disegni tecnici di progetto alle opere realizzate, testimonianze da riconoscere e da valorizzare
Michela Benente, Cristina Boido 357

From 1922 to today: the Radar, an Italian story too
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli 371

The evolution of photogrammetric knowledge in Cuba
Tomás Enrique Martínez Chao 385

Per una cultura interdisciplinare del Patrimonio costruito Storico
Salvatore D'Agostino 397

Sulla Conservazione del Patrimonio costruito storico: "com'era, dov'era" una utopia da perseguire
Salvatore D'Agostino 405

Le misure di tempo nel tempo
Paolo Vigo 413

Meccanismi e modelli meccanici per la formazione tecnico-scientifica
Luigi Traetta, Marco Ceccarelli 427

Geometria e architettura, varianti e invarianti di trasformazione
Maria Letizia Conforto 439

La porosità come strumento per la riscrittura della relazione tra struttura e spazio nei processi di trasformazione urbana
Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta 453

Valutazioni numeriche preliminari della risposta sismica di strutture murarie baraccate ad Ischia (Italia)
Claudio D'Ambra, Gian Piero Lignola, Andrea Prota 467

Il contributo degli ingegneri alla costruzione degli edifici alti in Italia
Simona Talenti, Annarita Teodosio 481

Contabilizzazione del calore negli edifici residenziali: una tecnologia in forte divenire
Paolo Vigo, Laura Canale, Giorgio Ficco 495

Tra ingegneria strutturale e industrial design nel secondo dopoguerra in Italia
Matteo Ocone 509

L'ingegneria e l'innovazione tecnologica come ausilio per la sclerosi multipla
Giuliana Nardacchione 521

The development of the British cavity magnetron and the role of E.C.S. Megaw at GEC
Emilio Ciardiello 529

The development of the reflex klystron in England and in the United States told in images
Emilio Ciardiello 543

Il rilancio del progetto per il ponte di Messina in risposta al cantiere dell'Autostrada del Sole (1956-1964)
Rosa Maria Marta Caruso 557

Volume II

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

The chain parts must be holder: a new interpretation of the authenticity of the Golden Horn chain
Uğur Genç, Pier Gabriele Molari 573

Guarino Guarini ingegnere e matematico. Le architetture intangibili oltre la corte sabauda: la Chiesa dei Padri Somaschi di Messina
Angela Caliendo 587

Sviluppo della tecnica idraulica nel Regno di Napoli nel XIX secolo
Vittorio Bovolin 599

Il ruolo degli Ingegneri Circolari e degli Ingegneri Civici a Trento nella prima metà dell'Ottocento
Anna Maragno, Cristiana Volpi 613

La patente di ingegnere. Sapere tecnico e pratica professionale nel Piemonte d'Ancien Régime (1566-1724)
Elena Gianasso 627

La Società degli ingegneri e degli architetti in Torino
Luigi Falco 641

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte terza: Discipline specifiche per l'Ingegneria chimica e dei materiali e discipline opzionali
Carmine Colella 651

L'Ingegneria Geotecnica a Napoli dalle macerie della Seconda Guerra Mondiale
Ruggiero Jappelli, Carlo Viggiani 665

A strong interplay between physicists and engineers: Enrico Fermi and the construction of the first nuclear reactors
Salvatore Esposito 679

Science and technology. The physicist and the engineer
Luca Guzzardi, Danilo Capecchi 691

Reale versus digitale: una teca di plastici per l'e-learning e la valorizzazione
Lia M. Papa, Saverio D'Auria 703

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

A new solution for the Colosseum velarium
Eugenio D'Anna, Pier Gabriele Molari 719

Per la valorizzazione di un luogo di cultura ingegneristica. Resti di pavimentazione stradale in pietra nei Campi Flegrei
Maria Martone 733

Pavimentazioni in battuto di terra a Pompei tra storia e tecnologia
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 747

Tra Francia e Olanda, decorazione e costruzione navale nel Seicento
Claudia Tacchella 761

Le Cigar Ships
Massimo Corradi 775

Il restauro del Complesso di San Pietro a Corte a Salerno
Gennaro Miccio 789

Fondazioni pneumatiche in Italia: sperimentazione e sicurezza in cantiere sulle sponde del Tevere
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 803

Le grandi coperture metalliche realizzate in Italia alla fine dell'Ottocento
Marcello Zordan 817

John Smeaton. A civil engineer
Danilo Capecchi 831

Isambard Kingdom Brunel: un indiscusso protagonista dell'ingegneria vittoriana
Andrea Lizza 845

Apparecchi murari "irregolari" storicizzati: le tessiture "a cantieri" di area campana
Marina D'Aprile 851

Aspetti estetici e di durabilità nella realizzazione di ponti prefabbricati ad arco di piccola e media luce
Enzo Siviero, Alberto Zanchettin, Michele Culatti 865

Cemento armato e fortificazione permanente. Il contributo degli ingegneri militari all'arte fortificatoria sulla soglia del XX secolo
Sara Isgrò 877

Fortificazioni italiane sulle Alpi orientali. Le "grand dessaroi" degli ingegneri militari di fine sec. XIX
Sara Isgrò 889

Reaching new heights – Building technology of water towers in Germany in the 19th and 20th century
Barbara Berger 903

Le fondazioni pneumatiche per lo sviluppo delle prime reti ferroviarie in Italia
Alessandra Tosone, Renato Morganti, Danilo Di Donato, Matteo Abita 917

La Fiera di Bologna. L'architettura della grande luce nei padiglioni di Benevolo, Giura Longo, Melograni
Alessandra Tosone, Alba Fagnani, Renato Morganti 931

Le officine del gas ed i gasometri di Napoli
Andrea Lizza 943

La diga in terra battuta di Bomba: storia di una diga diventata paesaggio
Luigi D'Antonio, Vincenzo Di Florio 951

The birth of the thermodynamic theory between cannons and steam engines. An incommensurability case
Antonino Drago 965

Paolo Frisi with contributions to modern Mechanics
Marco Ceccarelli 979

Ingegneria italiana e lotta alla tubercolosi nel '900. Il grande cantiere sanatoriale e il caso studio abruzzese
Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Matteo Abita, Renato Morganti 993

La nascita del Settore Astronautico in Italia
Mario Marchetti 1007

Casi di industrializzazione edilizia in Italia: le stazioni di servizio di Andrea Marchetti e Renzo Zavanella (1947-54)
Laura Greco 1019

Architettura e caratteri ambientali: Luigi Carlo Daneri (1900-1972) e le Case alla Foce, una piazza "per dare a Genova il mare"
Elisa Boeri 1033

Paolo Reviglio, Ingegnere: i saperi politecnici trasferiti nella Colonia Eritrea di inizio Novecento
Nelly Cattaneo 1047

Gli interventi di ricostruzione post-bellica di Pier Luigi Nervi nei tabacchifici campani
Federica Ribera, Pasquale Cucco 1061

Dall'emergenza del dopoguerra all'Ingegneria del Novecento nell'opera di Giovanni Travaglini
Laura Travaglini, Ruggiero Jappelli 1075

Stefania Filo Speziale e l'edilizia borghese napoletana. Un'opera inedita: il complesso di via Petrarca 64 a Napoli
Andrea Maglio 1089

L'innovazione leggera di Alberto Galardi e Silvano Zorzi: il Palazzo Olivetti di Firenze
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 1103

Giustino Cantamaglia, ingegnere della ricostruzione post-bellica in Abruzzo
Pasquale Tunzi 1117

Il contributo delle industrie nella scrittura del territorio all'ombra del Vesuvio: il lavoro dell'ingegnere Pasquale Amodio a Torre Annunziata a metà Novecento
Ermanno Bizzarri 1131

La testimonianza di un ingegnere a Palermo negli anni Sessanta: Giorgio Fernandez
Aurora Riviezzo 1145

Per una storia ambientale del Parco Nazionale dello Stelvio: il paesaggio idroelettrico
Stefano Morosini, Fabrizio Trisoglio 1159

Edilizia del Novecento: le "case popolarissime" a Cosenza
Alessandro Campolongo, Valentina Guagliardi 1171

Alcuni procedimenti costruttivi razionalizzati della Società Generale Immobiliare (SGI) in Italia negli anni Settanta. Il caso del quartiere Amendola di Modena
Francesco Spada 1185

Tubi e sistemi resistenti in acciaio. Studi e brevetti della Dalmine per l'impiego strutturale in edilizia
Renato Morganti, Alessandra Tosone, Danilo Di Donato, Matteo Abita 1199

Some proposals on the digital catalogue card of historical drawings
Carlo Rottenbacher, Edoardo Rovida 1213

Author Index / Indice degli Autori 1227

Salvatore D'Agostino

Honorary President of the Italian Association for the History of Engineering

Preface

Once again, dear *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, President of the Association, wanted me, as Honorary President, to present the IX National Conference of the Italian Association for the History of Engineering. It is an honour for me for which I thank *Francesca* and the Bodies of the Association.

We are still living in a painful period marked by the harbingers of the pandemic and the conflict in Europe that shakes the peaceful order of our institutions, marks us daily and compromises our future.

Nonetheless, the duty of intellectuals requires us to continue in our commitment, to perpetuate the founding values of our civilization. And so, with the total commitment of the President and the Treasurer, the dearest *Boris Palella*, this year too the IX Conference on the History of Engineering, International Conference, takes place.

It now continues a well-established path that every two years is enriched by a significant number of contributions, this year almost a hundred, by many academics and free scholars who, with constancy, contribute to the development of the History of Engineering.

Given the experience of 2020 which allowed the realization of the "online" seminar for the presentation of the VIII Conference during the full pandemic, this year during the two Neapolitan days we will try to guarantee the traditional physical participation in the conference and the simultaneous telematic transmission. This is to allow the active participation of speakers unable to travel, as well as more widespread dissemination throughout the national territory.

I hope that the path will continue in the coming years with the tireless commitment of the President and the effective collaboration of the Treasurer and the Board of Directors.

The structure of the Professional Orders will change next year, and I hope that even with the new Bodies, we can establish a fruitful relationship that will still promote the History of Engineering.

In the meantime, I thank the National Council Italian Engineers (CNI) and the Chambers of Engineers of Naples and Salerno for their fundamental support, and the Interdepartmental Center of Engineering for Cultural Heritage of the Federico II University of Naples, which collaborates in the operational structure of this initiative.We are still living in a painful period marked by the harbingers of the pandemic and the conflict in Europe that shakes the peaceful order of our institutions, marks us daily and compromises our future.

Salvatore D'Agostino

Prefazione

Ancora una volta la cara *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, Presidente della Associazione, ha voluto che, in qualità di Presidente Onorario, presentassi il IX Convegno Nazionale della Associazione Italiana di Storia della Ingegneria. È per me un onore di cui ringrazio *Francesca* e gli Organi della Associazione.

Viviamo ancora un doloroso periodo segnato dai prodromi della pandemia e dal conflitto in Europa che agita l'assetto sereno delle nostre Istituzioni, ci segna nel quotidiano e compromette il nostro futuro.

Ciononostante, il dovere di intellettuali ci impone di proseguire nel nostro impegno, per perpetuare i valori fondanti della nostra civiltà. E così, con l'impegno totale della Presidente e del Tesoriere, il carissimo *Boris Palella*, anche quest'anno si svolge il IX Convegno di Storia della Ingegneria, International Conference.

Esso continua ormai un percorso ben consolidato che ogni due anni si arricchisce di un numero significativo di contributi, quest'anno quasi cento, di molti accademici e liberi studiosi che, con costanza, contribuiscono allo sviluppo della Storia della Ingegneria.

Stante l'esperienza del 2020 che, in piena pandemia, consentì la realizzazione del seminario "on line" di presentazione dell'VIII Convegno, quest'anno si cercherà, pur garantendo il tradizionale percorso in presenza, con le due giornate napoletane, di realizzare anche la contemporanea trasmissione telematica, per consentire l'attiva partecipazione dei relatori impossibilitati a viaggiare, nonché una più capillare diffusione su tutto il territorio Nazionale.

Mi auguro che il percorso prosegua negli anni venturi con l'indefesso impegno della Presidente e la fattiva collaborazione del Tesoriere e del Consiglio Direttivo tutto.

L'anno prossimo cambierà la struttura degli Ordini Professionali e mi auguro che anche con i nuovi Organi, si possa instaurare un proficuo rapporto che ancora promuova la Storia della Ingegneria.

Intanto, ringrazio il CNI e gli Ordini di Napoli e Salerno per il loro fondamentale supporto, e il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali della Università degli Studi di Napoli Federico II, che collabora alla struttura operativa di questa iniziativa.

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Uğur Genç, Pier Gabriele Molari

The chain parts must be holder: a new interpretation of the authenticity of the Golden Horn chain

Gli anelli della catena devono essere più antichi: una nuova interpretazione della autenticità della catena del Corno d'Oro

Abstract
In ancient times it was a widespread practice to protect ports or places through which ships were forced to pass, such as the mouths of rivers, by barring them with iron chains to prevent the entry of enemy ships. Once overstepped, parts of that chain were usually demonstrated by the in the symbolic places of their city to assert their military power. In the Middle Ages and the Renaissance, the chain closure that aroused the most curiosity with the length of the defended section was undoubtedly the one placed at the entrance to the Golden Horn of Istanbul. Various parts of a chain from this period are exhibited in Istanbul's museums and have drawn attention to catalog and examine them and ask questions to date them with greater precision and to understand where they were located [1]. The present research on the original sources of the mentioned periods has made it possible to conclude that over time there had been two chains, with completely different characteristics, operating in 1203 and 1453 and that therefore the pieces found belong to the one built by the order of Manuel Komnenos, overstepped by Enrico Dandolo on 7 July 1203 and they are the chain parts siplited by Bonifacio I degli Aleramici as a war trophy for the factions participating in the IV Crusade. Some simple calculations confirmed that it was impossible for Dandolo to break the chain barring the port with his ship's energy, even hit to the chain at maximum speed.

Riassunto
Anticamente era pratica diffusa la protezione dei porti o dei luoghi attraverso i quali le navi erano costrette a passare, come le foci dei fiumi, chiudendoli con catene di ferro per impedire l'ingresso di navi nemiche. La barriera che questa catena presentava nelle incursioni portava il vincitore, che fosse riuscito ad oltrepassarla, a ostentarne parti nei luoghi simbolo della propria città per affermare la propria potenza militare. Nel Medioevo e nel Rinascimento, la chiusura a catena che destava più meraviglia

per la lunghezza del tratto difeso era senza dubbio quella posta all'ingresso del Corno d'Oro di Istanbul. Varie parti di una catena sono esposte nei musei di Istanbul e hanno richiamato l'attenzione per catalogarle ed esaminarle e porre domande per datarle con maggiore precisione e per capire dove fossero collocate [1]. La presente ricerca sulle fonti originali dei periodi in questione ha permesso di determinare che nel tempo si sono succedute due catene, dalle caratteristiche completamente diverse, operanti nel 1203 e nel 1453 e che quindi gli spezzoni ritrovati appartengano a quella costruita da Manuel Komnenos, superata da Enrico Dandolo il 7 luglio 1203 e divisa poi da Bonifacio I degli Aleramici come trofeo di guerra per i gruppi partecipanti nella alla IV Crociata. Alcuni semplici calcoli hanno confermato come fosse impossibile che il Doge Dandolo potesse aver spezzato la catena con l'energia della sua nave, anche se lanciata alla massima velocità.

Introduction: the chain pieces conserved in the museums of Istanbul

The chain pieces (Fig. 1) exhibited in Istanbul museums with the definition of the chain that "closed the Golden Horn harbor in 1453" have been the subject of discussion for many years.

The question that occupied the public was: "Why did the ships have to be driven by land in 1453 when there was a chance to cut this chain?" Entering the Golden Horn harbor by running the ships from the land was a very important feat that changed the course of that siege and marked the end of the Roman Empire. Research on the surviving links and chains started to classify, analyze them and to collect literature [1, 2]. Currently, there are sections of the chain in four museums in Istanbul, namely in Military Museum, Istanbul Naval Museum, Rumeli Fortress Museum and Istanbul Archeology Museum. The actual distribution of the chains is reported in Tab 1.

When the forms (Fig. 2) and dimensions of the pieces defined as the Golden Horn Chain in the museums were compared, it was understood that they belonged to the same whole and was found a particular sequence: 7 links with a closed center

Fig. 1 – Chain pieces exhibited in three Istanbul Museums [1].

Tab. 1 – The actual distribution of the chain in Istanbul Museums

Museum	*Chain pieces*	*Chain links*
Istanbul Archeology Museum	1	18
Istanbul Naval Museum	3	30-27-17 (69)
Rumeli Fortress Museum	3	47-23-4 (74)
Military Museum	21	55+2 rings (57), 29, 19, 19, 19, 15, 13, 10, 9, 8, 5, 5, 9x4 (248) 2x1, 1(S shape), 1 (C-shape)
Total	32	409 + 4 single

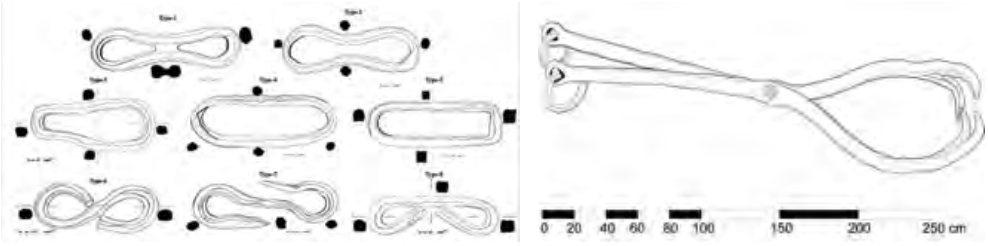


Fig. 2 – All chain link types that are understood to be deliberately produced. On the left in the top links type1 and type 2; on the right a big clamp [1,2].

Fig. 3 – The typical sequence of links [1].

(type-1) and one link with an open center (type-2). Links with a closed center have an average length of 50 cm, a width of 18 cm, a thickness of 40 mm and a weight of 14 kg and set a standard with these features. The dimensions of all the survived links are reported in [2].

Fig. 4 – The Golden Horn chain close to a sarcophagus of porphyrian marble (on the left); a detail of a connection (not survived) (at the center); connection rings (on the right) [1].

The Military Museum has the largest number of chain pieces: 21 chain pieces and 4 single links. The first source of the chains was the Hagia Irene Church.

A photo (Fig. 4) by Abdullah Brothers in 1891 shows where the chain was stored. Someone thought the position of the chain to symbolize the political death of the Byzantine Empire, how the city was taken off and broken at the end of the battle, so, dating so the chain to 1453. The chains and the large iron clamp were moved firstly to Military Museum, and some parts to other museums. A not survived hook is shown in the center of Fig. 4, which seems related to connect two rings (right of the same figure) to put up or submerge the main chain, so to permit the passage of ships (probably from the tower).

Chain closure of entrances of ports

As seen in many examples from ancient times to our recent history. The defense of ports, barring access with chains, has long been a practice specially in times of war, but also in times of peace to put a stop to piracy (bloking waterways with chains in also called “boom”).

It should be immediately noted that chains and walls are not impassable obstacles, but obstacles that must be guarded. They are essentially defensive lines on which to concentrate the defenses. In times of war, there are defensive ships aligned along the chain. While the city walls are equipped with fixed positions, the chains must be flanked by ships or boats or platforms with barrier and defense capabilities. In this case arrows or incendiary missiles, petroleum-based flamethrowers or vessels containing Greek fire are used to ignite the enemy ship or at least the sails and rigging in order to prevent or reduce the maneuvering capacity. The naval battle is thus transformed into a pitched battle with possible boarding after anchoring the enemy ships to the chain or defense ships. The famous beaks used by the Romans in the Punic wars to obtain a similar effect are of school memory.

To cite some cases, at the time of Rome, Appiano di Alessandria (Appiano, 2001: 656-657) reports that Publius Cornelius Lentulus Spinter in Lycia in 42 BC broke the

chains placed at the mouth of the Andriake river and went up to Myra where seized a large booty in favor of Brutus (Stillwell et al., 1976).

In Vitruvius we find indications on how to build defenses, especially for ports, it gives us the certainty of how this practice was widespread, stating that the designer must plan to close the entrance of ships, whether they are ports or rivers. o coastal places, with dams ending in towers from which to pull a chain by means of winches: «Circum enim porticus sive navalia sunt facienda sive ex porticibusaditis [ad] emporia turresque ex utraque parte conlocandae, ex quibus catenae traduci per machinas possint» [3]. In the Middle Ages we have evidence of this practice.

In the 1163 *Annales Pisani* we read: «A.D. MCLXIII, in mense Augusti incepta fuit magna domus, iuxta litus maris, portus Magnalis, pro utilitate marinariorum. Magnum fondacum cum turre et porta ferrea inceptum fuit post annos XII» and«A.D. MCLXIII. Soarsa, qui guardie Sancti Viti et Magnalis portus preerat, posuit magnam catenam que porrigebatur et extendebatur ab una turri usque ad aliam, et serrabat portum pro guardia marinariorum et reserrabat, et turres bene munivit et ordinavit pro Ianuensium guerra. Iterum fecit magnum puteum pro utilitate navigantium, prope domum portus Magnalis» (Ceccarelli Lemut, 1977).

In the 1290 Chronicles of Livorno it is said that the Genoese, after being repulsed in the assault of the port of Pisa by an iron chain, stretched out in its defense, later embarked the blacksmith Carlo Noceti (also called Noceto Chiarli) who managed to break it after putting it in the forge. The Genoese thus managed to attack the port and the city. In memory of the fact, a stone was carved (Fig. 5) and it is conserved in Genoa at the Sant'Agostino Museum. The chain was brought as a trophy to Genoa, divided into parts, exhibited in the various districts of the city (Ceccarelli Lemut, 1977). These links have a shape quite similar to those conserved in Istanbul Museums.

Fig. 5 – Genoa: Museo Sant'Agostino: the Genoese stone recalls the taking of the port of Pisa (on the top), detail (on the bottom).

During the Fifth Crusade the Crusaders attacked the Egyptian port city of Damietta closed by a chain. The city, under the control of the Ayyubid sultan al-Kamil, was besieged in 1218 and taken by the Crusaders in 1219. On August 24, the Crusaders captured the defensive river tower that protected the fortress to which was anchored one end of a chain, paving the way for the fleet to attack the main castle (Sterling, 2003). Later in

painting celebrating the event, the detail of the chain broken by the boat is emphasized by Cornelis Claesz. van Wieringen, (before 1628) or by Jan Luyken (1683) sailing on the chain [1]. Many other examples of the use of chains to close ports are listed in [2], a few of them are just mentioned here; many continued from ancient times to recent naval history:

– in 1296, at Magusa on the island of Cyprus;
– in 1472, in Anatolia, a port chain was broken in the port of Antalya, taken to the Vatican by the crusaders and still exhibited there;
– some port with chains are visible in Kitab-ı Bahriye, a book of navy or maritime chart, completed in 1521 by the Ottoman Admiral Piri Reis. These ports are located in Sicily, Majorca, Cyprus, Antalya, Brindisi, Marseille, Lazkai, Zara, Modon and Rhodes (Piri, 1513);
– a fine use of double line to close Havana harbor with iron chain and with boats was done by Antonelli in 1521 (Reyes, 2016).

Historical introduction to the Golden Horn chain

In history, there were several incidences when it was reported that the Golden Horn port of Constantinople was barred with chains. These testimonies were recorded during the Arab siege in 716, the siege of the Russian prince Oleg in 907 (Kandemir, 2008), the Crusade siege in 1203 and the Ottoman siege of the city in 1453. In Istanbul there has always been the need to connect Pera, at the Asian side, with the European side of the Bosphorus or at least to avoid the whole circumnavigation of the Black Sea or even just that of the Golden Horn. Similarly Xerxes's Pontoon Bridges were constructed in 480 BC during the Persia for the purpose of Xerxes' army to traverse the Hellespont from Asia into Thrace, then controlled by Persia. The enterprise was described by Herodotus in book VII, 36 of his *Historiae* in great detail 360 vessels from one side and 314 from the other were used, then were laid ropes of linen and papyrus and, today we would say, the deck was built from logs placed orthogonally to the ropes (Herodotus, 1559). Given the great distance between the two shores of the stretch of sea (Fig. 6), it was not in fact possible to lay a hanging chain as was the practice at the mouths of ports.

Faced with the continuous threat of raids by Muslims and pirates along the coasts of the Golden Horn in 1200, Emperor Manuel Komnenos felt the need to build a real closure that would prevent enemy ships from entering this stretch of sea with its ports and therefore to avoid piracy and enemy raids or invasions. The chosen position is described by various authors with small variations (Koniates, 2021) and connects the Galata tower, in the Pera district, to the city walls now incorporated in the church of San Giorgio at *mangana*. The place is obviously so called because there were placed mangles that are machines equipped with long-range projectiles capable of hitting boats in transit in this arm of the sea, as military art teaches.

Fig. 6 – Costantinople: the position of the chain/bridge at the time of the IV Crusade (Queller e Madden, 1997).

The chain of 1203

We know the existence of a chain at the time of the Fourth Crusade from the documents. It was built and put into operation by the Emperor Kommenos (who reigned from 1143 to 1180) together with the terminal towers from which to lay the chain itself: «A work of this emperor was the tower standing not far from the sea whose waves washed the dry land called Damalis; another tower was built on the opposite side of the straits right next to the Monastery of Mangana. The emperor constructed these towers in order to block the occasional attacks by barbarian ships by stretching an iron chain from one shore to the other, thus rendering impenetrable both the regions in the vicinity of the City's acropolis and the channel whose waters coursed all the way to the palace complex in Blachernai» (Koniates, 2021).

The breaking of the chain (boom) blocking access to the Golden Horn is described in two different ways. One of these is that a Venetian ship from the Crusader fleet first rammed the chain at speed and then soldier hacked at the chain with axes and broke it allowing the Crusaders' ships to enter the Golden Horn [2]. We have a precise description of this chain by the *Chroniqıre d'Ernoul et de Bernard le Tresorier* (de Mas Latrie, 1871: 32, 362) written in 1227-1231 [4] which says three arches long, therefore about 750-1000 meters, with links as long as a human arm. From the history of the Doges, we know that it was magna and that also a magnum bridge ran over it.

«Or vous dirai combien celle kaine estoit longe. Elle avoit bien plus de .III. traities de lonc d'arc, et si estoit bien aussi grosse comme li bras d'un home. Li uns des ciés estoit à une des tours de Coustantinoble, li autres si estoit à une ville d'autre part c'on apiele Peire .... Au cief de celle rue [ville] avoit une tour, là où lí ciés de la caine

estoit qui de Coustantinoble venoit; ... Or vous dirai comment celle tours avoit non. [Ele avoit à non] lí Tors de Galatas.» (de Mas Latrie, 1871).

We have the description of how the Venetians forced the chain and entered the Golden Horn: «Serenissimus vero dux et comites memorati cum suo felici exercitu Costantinopolim applicantes, pervenerunt ad locum qui dicitur Mangana et invenerunt ibi cathenam magnam firmatam ab uno capite ipsi civitati Costantinopoli et sic tranverso ab alio capite firmatam ad Galathas, Super ipsam vero cathenam pons magnus paratus erat, per quem ibant et redibant homines a civitate Costantinopolitana ad dictum locum. Dux igitur et comites paraverunt ad bellum, et tunc una navis magna Venetorum que Aquila vocabatur venit cum magno impetu elevatis velis et percusit in ponte et cathena et sine lesione pertransiit, rupto ponte et cathena, et unanimiter intraverunt» [5].

On that matter, some scholars argue that the chain was not broken but the passage was opened, since the Galata tower was conquered first. However, the thing remains uncertain given that, as we later know for the chain of 1453, there were four keys, to open the chain. So even if the traction chain connected to the winches had been lowered, the actual chain which is always at sea level, should also have been released. The position of these secondary chains can be clearly seen in the drawing by Francesco di Giorgio (Fig. 7).

From the chronicle of the conquest: «Some were slain or taken alive, and others slid down the chain as though it were a rope and boarded the Roman triremes, while many others lost their grip and fell headlong into the deep. Afterwards, the chain was broken, and the entire fleet streamed through. As for our triremes, some were overpowered on the spot, and those forced to shore suffered damage after they were emptied of their men. The evil took many forms, such as has never entered the heart of man. It was the month of July of the year 6711 [July 1203 (Berto, 1999)]» (Koniates, 2021).

This chronicle tells us that the chain was broken in some pieces and that a piece was sent to Cypro as a real messenger to confirm the fall of the city in 1203: «Certain others, who had high hopes of having Ikonion assigned to them by lot, contended hotly. They sent gates of the City to their fellow countrymen in Syria, as well as pieces of the chain that had been stretched across the harbor blocking its entrance, and they dispatched messengers everywhere to announce the City's fall» (Koniates, 2021).

The fact that are so many pieces in the museums may be explained by the knowledge that they were cut into pieces just in 1204-1205 and the place where they are found: the church was where Bonifacio I degli Aleramici collected the spoils and distributed them among the Crusaders.

This remarkable device was about 750 m long and consisted of a massive iron chain supported by large floating timbers with a flexible walkway on top. A number of Byzantine ships were also moored along its inner side to serve as defensive positions (Nicolle, 2011).

Fig. 7 – Constantinople, the chain for the closure of ports: the shape (left) (Francesco di Giorgio Martini, 1967: Tav. 114 T 61v), *(right)* (Münster, 1598: 1325).

Thanks to the chain pieces encountered in museums, we can interpret how the port was closed. As explained in an evaluation about the chain; it was a real "chain" that supported the lateral thrusts of single trusses and that these were articulated (Takeno, 2012) each other. When the chains in the museums were examined the sequence of the links: seven of type-1 and one of type-2 marks the length of the span (3-3.5 m). The chain could thus have the necessary tension to support fixed and mobile loads, to be supported by the floating deck [1] and to be anchored at the bottom of the sea in some points (Avilia, 2007).

The Byzantine troops inside the fortress put up a heroic resistance but the fortress was captured, and Crusader troops worked the capstain and lowered the chain. After the fortress had been taken and the chain breached, the Crusader fleet entered harbor and thus brought their ships to safety (De Clari, 2005). There are evaluation emphasizing that the misconception that the chain breaks with the speed of a ship is common (Pryor and Wilson, 2007; Queller and Madden, 1997; AA.VV., 1859).

In Appendix some numerical expressions to fix that it was impossible to break the chain with the energy of Dandolo's boat are reported.

The chain of 1453

From the Diary of Nicolò Barbaro who were in Constantinople during the days of the conquest by Mehmed II in 1453 there is a precise description of the then existing chain that connected Pera with the city walls: «A dì do april, el serenissimo imperador si comandò a ser Bortolamio Soligo, che dovesse destender la cadena a traverso del porto, zoè da Costantinopoli fina in Pera; el dito ser Bartolamio Soligo per comandamento de l'imperador si destexe la cadena a traverso del porto, e questa tal cadena si iera de legnami grossissimi e redondi, e innarpexadi uno cun l'altro cun feri grossi, e cun cadene grosse de fero, e li cavi de la cadena, uno cavo si era dentro

da le mure de Costantinopoli, e l'altro cavo si era dentro da le mura de Pera per più segurtade de la dita cadena. Habiando destexa questa cadena a traverso del porto, l'achade a far provixion da la banda da tera ferma, e però tuti i nobeli de Veniexia si andò da l'imperador, e aricordari che se dovesse far quatro chavi de le quatro porte de la tera, zoè de quele da la banda da tera. — In quela fiada el serenissimo imperador si respoxe humanamente: che Costantinopoli si iera sta più e iera de quegli da Veniexia, cha de Griexi, e perchè el volea ben a Venitiani el volse dar le quatro porte de la tera con tute le chiave in varda, e cusì felo, e cusì le ave quatro nobeli da Veniexia; e i nobeli da Veniexia si chiamò el cunseio di dodexe, e fo dade per el dito cunseio queste quatro porte in varda a quatro nostri zentilhomeni. La prima porta che sun la Cresca fo dada a misser Catarin Contarini fo de misser Zuane; la segunda porta si fo dada a misser Fabruzi Corner fo de misser Zuane; la terza porta si fo dada a ser Nicolò Mozenigo fo de misser Lunardo el primo; la qual porta se chiama Elpigi; la quarta porta e ultima che son el palazzo del serenissimo imperador si fo dada a ser Dolfin fo de ser Domenego; i quali nobeli avea le chiave de queste quatro porte, e tegnivele cun bona varda.» (Barbaro, 1856).

To have a representation of the shape of this chain, we can refer to the description and drawings shown in the Treatises of Francesco di Giorgio (Fig. 7) illustrating just a type of self-floating chain to be used for long stretches, as needed in the Istanbul barrage. Note the terminal part which consists of two branches: one anchored at sea level and the other, having smaller rings, which serves both to stretch the main chain and to keep it hooked even when the gate is opened.

The description of the Table 114 - [T 61v] is: «Quando alcuno porto tanto di latitudine fusse che la catena tirar non si potesse, ed anco per la longhezza sua debile fusse, faccisi le incatenate travi di legno di pino o quercia, correggiate di ferro e bene legate con perni, commesse con alcune sotto poste e diritte travi che un ponderoso sasso per diritto sotto a sostener venghi. E infra la torre della fortezza e'l travito l'entrata è da lassare con una catena atta a sostenere, la quale con una piccola calare intanto che alla nave l'entrata si dia, di poi su ritirando a la sua chiave e chiavarda si commetta. E così el porto sicuro star porrà» (Francesco di Giorgio Martini, 1967).

The same self-floating type of chain is drawn by Münster (1598) (Fig. 7). The conqueror did not undertake to break it so as not to have to face the barrage, instead, they transported the ships by land in great secrecy, thus going beyond the chain itself. With this very daring operation they managed to encircle the ships present to defend the chain, thus avoiding colliding with ships armed with flamethrowers and incendiary bombards. Once the city was conquered, Mehmed II had therefore no interest in destroying this important obstacle at the entrance to the Golden Horn; in the engraving of Constantinople made by Hardtman Schedel in 1493 (Fig. 8) the chain is clearly visible, at least for its terminal.

Fig. 8 – Constantinople: the "upper" coupling branch of the chain that survived the conquest of Constantinople in 1453 in an engraving of 1493 by H. Schedel (Schedel, 1943).

Remarks and Conclusions

It is understood that the chains were preserved as a symbol of victory, they were exhibited and even their parts were distributed to various places so that this image of victory could be seen by more people. The triumphant who captured the city of Constantinople also benefited from the same propaganda tool.

There is no record that the Ottoman state preserved the chain after the conquest. The first document on the chain in the place is the photo in Fig. 4, taken at the time when the Hagia Irene church was used as the first museum of the empire for war tools and equipment. It is possible that the chain pieces here will be exhibited as propaganda tool for the empire which entered a period of decline and loss, to serve as a reminder of its former strength.

The pieces currently present in the museums of Istanbul have a shape and size quite like the description reported by Ernoul-Bernard (de Mas Latrie, 1871) and are similar to the chain used for the closure of the port of Pisa, shown in the bas-relief in Fig. 5. We also have the description of how all the pieces were brought with the huge booty accumulated by the Crusaders in the Hagia Irene church so that they could then be divided among the various groups of Crusaders by Bonifacio I degli Aleramici of Monferrato. It can be thought that these pieces of little value, when compared with the huge booty coming from the sacking of Constantinople, were left right in the place where they were transported for division and found here after many centuries. The chronicles say that only part of the chain was transported to Crete, perhaps to be brought to the Pope as evidence of the taking of the city. It can

therefore be deduced that these links belong to the broken chain opened in 1203 and divided in 1204-1205.

After a description of the chains that were placed to block the entrance to the Golden Horn, it is argued with documents of the time that the pieces of chain visible today in the Istanbul Museums belong to the chain built and put into operation by Emperor Manuel Komnenos and passed by Dandolo on 1203 July 7, having this shape quite similar to that described by Ernoul in his Chronicle.

The chain, described by Barbaro and used in the defense of Constantinople in 1453, has a very different shape from the other beeing self-floating. It is recalled that this last chain was not broken by Mehmed II during the capture of Constantinople, since the ships are transported with a memorable and unpredictable feat by land, thus avoiding the attack on this well-manned line of defense and therefore considered impossible to overcome. It therefore does not seem conceivable that segments of the latter chain have been kept in many different places for evident celebratory episodes of the victory, while this takes on completely different values in the case of the chain divided in 1204 when the different groups of Croisades, each would like to have a trophy to exibit in its own village. In Appendix are reported some calculations to set that the chain could not be broken by Enrico Dandolo by his boat named *Aquila*, but Dandolo could have passed the gate after the Crusiades captured the Galata tower and moved the chain away from its supports.

Bibliography

AA.VV. 1859. *Recueil des historiens des croisades. Historiens occidentaux.* III. Paris: Imprimerie Impériale,

Appiano di Alessandria. 2001. *Storia Romana*. Libro IV. Torino: UTET.

Avilia F.2007. *La storia delle ancore*. Roma: Ireco.

Barbaro N. 1856. *Giornale dell'assedio di Costantinopoli 1453 – 2 (aprile 1453)* (a cura di E. Cornet). Vienna: Libreria Tender & Comp.

Berto L.A.. 1999. *Testi storici Veneziani: (XI-XIII secolo). Historia ducum Venetorum, Annales Venetici breves, Domenico Tino, Relatio de electione Dominici Silvi Venetorum ducis*. Padova: CLEUP.

Bondioli M. 2000. L'arte della progettazione e della costruzione delle galee veneziane dal XV al XVI secolo. *Proceedings of IX International Symposium on Boat and Ship Archaeology (IX ISBSA), Boats, ships and shipyards* Venezia, 4-8 dicembre

Ceccarelli Lemut M.L. 1977. Repertorio delle fonti documentarie edite del Medioevo. In: *Collana storica della. Biblioteca del Bollettino storico Pisano.* Pisa: Pacini

De Clari, R. 2005.*The conquest of Costantinple*. New York: Columbia University Press

De Villehardouin, J. 1938. *De la Conquête de Constantinople* (M. Paulin Ed.). Paris: Renouard Jules.

de Mas Latrie M.L. 1871. *Chronique d'Ernoul et de Bernard le Trésorier publiée pour la première fois d'après les manuscrits de Bruxelles, de Paris et de Berne, avec un Essai de classification des continuateurs de Guillaume de Tyr, pour la Société de l'histoire de France*. Paris: Chez M.me V.e Jules Renouard.

Francesco di Giorgio Martini F.. 1967. *Trattati di architettura ingegneria e arte militare* (a cura di G. Maltese). Milano: Polifilo.
Herodotus. 1559. *Herodoti Halicarnassei Historiae libri IX*. Basileae: Ex officina Hieronymi Curionis, impensis Henrici Petri
Koniates N.. 2021. *City of Byzantium, Annals of Niketas Koniates* (Translation by H.J. Magoulias), Detroit: Wayne State University Press.
Millingen A. 1899. *Byzantine Constantinople*. London: Murray.
Münster S. 1598 *Cosmog*raphia. Basilea: stampato a spese di Henrigo Pietro Basiliense
Nicolle D. 2011.The Fourth Crusade 1202-04: The betrayal of Bizantium. Bloomsbury Publishing
Piri R.. 1513. *Kitab-Ä Bahriye (Book of Navigation)*.
Pryor J., Wilson P.. 2007. The Chain of the Golden Horn, 5-7 July 1203. In: *In Laudem Hierosolymitani: Studies in Crusades and Medieval Culture in Honour of Benjamin Z. Kedar* (I. Shagrir, R. Ellenblum, J. Riley-Smith Eds.), 369-384). HampshireAshgate
Queller D.E., Madden T.F. 1997. *The Fourth Crusade: The Conquest of Constantinople*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
Reyes L. P. 2016. Indios en la defensa marítima del territorio cubano (s. VXI-XVII). Revista Hispanoamericana, 6, 2-23.
Schedel Hardtman. 1493. *Liber Chronicarum cum figuris et ymaginibus ab initio mundi*. Norimberga: Antonius Koberger.
Sterling D. 2003. The Siege of Damietta: Seapower in the Fifth Crusade 1217-1221 A.D. In: *Crusaders, Condottieri, and Cannon: Medieval Warfare in Societies around the Mediterranean* (D.J. Kagay and L.J.A.Villalon Eds.). 101-131. Boston: Brill
Stillwell R.,. 1976. *The Princeton Encyclopedia of Classical Sites* (W.L. MacDonald and M. Holland McAllister Eds.). Princeton: Princeton University Press.
Takeno J., Takeno Y. 2012. The mistery of the defence chain mechanism of Costantinople. In: Explorations in the History of Machines and Mechanism. Proceedings of HMM2012 (T. Koetsier and M. Ceccarelli Eds.). 199-211. Berlin: Springer.
Tyrensi W. 1611. *Historia rerum in partibus transmarinis gestarum a tempore successorum Mahumet, usque ad annum Christi 1184.* XIV, 982, Hanoviae: Edita a venerabili Willermo Tyrensi Archipiscopo, in Gesta Dei per Francos.

Webgraphy

[1] Genç U. 2009.
https://www.academia.edu/2225541/Haliç_Zinciri_Problemi
[2] Genç U. 2010.
https://www.academia.edu/38876476/Haliç_Zinciri_Tamamı_
[3] Vitruvius. De Architectura. (English translation)
https://resources.warburg.sas.ac.uk/pdf/kfh125b2128022.pdf
[4] Gaggero M. 2012.
http://peme.revues.org/1608 ; DOI : 10.4000/peme.1608
[5] Fiori L. 2013-14.
http://amsdottorato.unibo.it/6574/1/Fiori_L._Il_codice_autografo_di_Piero_Giustinian_un_esempio_di_genesi_ed_evoluzione_della_cronachistica_medievale.pdf

Appendix: Was a galley like Dandolo's capable of breaking the chain?

From a document dated 27/2/1276, quoted in (Bondioli, 2000), we read that Charles I of Anjou ordered a certain number of galleys from the Venice arsenal with these characteristics: total length 39.50 m, waterline length 28.20 m, maximum width of 3.70 m, immersion of 2.08 m. From the shape of the hull shown in (Bondioli, 2000) we can assume a fineness coefficient of 0.7÷0.8. The mass of the ship can then be calculated from the volume of its topside:

$$28.20 \cdot 3.70 \cdot 2.08 \cdot 0.7 = 152 \text{ m}^3$$

Considering a seawater density of 1025 kg/m^3, the mass was 156000 kg. We also know that the maximum speed of the ship could reach 7÷8 marine knots per hour (for no more than 15 minutes of rowing) corresponding to 3.6÷4 m/s. The ship could therefore have a maximum kinetic energy of:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} 156.000 \cdot 3.6^2 \cong 1 \text{ MJ}$$

Considering the breaking tension of the chain material of 300 N/mm^2 with an elongation of 20%, the chain initially in an orthogonal position in respect to the direction of the ship, is possible to calculate the angle α between the line connecting anchor points and the branches at break

$$\cos \alpha = \frac{L}{L+0,2L}$$

from which α = 33° and therefore if the length of the chain from side to side was 900 m between the initial position and the one in which the chain it should have broken, we calculate a run:

$$\frac{450}{2} sin\, \alpha = 110\, m$$

With the section of the chain of about 40 ·100 = 4000 mm^2 and a breaking tension of 300 N/mm^2 the force exerted by the vessel for balance of forces should have been:

$$4000 \cdot 300 \cdot 2 \cdot \sin \alpha \sim 133 \text{ ton}$$

Therefore, assuming a linear law of increase in the chain pull between the initial position and the break, it is calculated that the energy needed was

$$\frac{1}{2} 1330000 \cdot 110 = 72 \text{ MJ} >> 1 \text{ MJ}$$

where 1330000 is in N.

From these simple calculations it can be deduced that, unless the links were not perfectly welded, Dandolo could not have broken the chain but that the chain had been opened by the fix point placed at sea level below the Galata tower. The required force to break the chain would also have been 133 tons, which does not seem compatible with the structure of a thin galley, even if rostral: «*Erant sane in præfato exercitu, naves longæ, rostratæ, gemini remorum instructæ ordinibus, bellicis usibus habiliores, quæ vulgo galæ dicuntur, centum quinquaginta*» (Tyrensi, 1611).

Angela Caliendo

Guarino Guarini ingegnere e matematico. Le architetture intangibili oltre la corte sabauda: la Chiesa dei Padri Somaschi di Messina

Guarino Guarini engineer and mathematician. The intangible architectures beyond the Savoy court: the Church of the Somascan Fathers of Messina

Sommario

Guarino Guarini è una figura di rilievo nel panorama architettonico di tutti i tempi al cui studio molti critici si sono rivolti sviluppando specifici approfondimenti in relazione ai diversi campi di interesse ai quali Guarini si è dedicato nel corso della sua vita. Una personalità poliedrica e complessa che intende l'architettura quale frutto di un'elaborazione che si sviluppa sul piano geometrico e matematico e diventa il tramite per la conoscenza profonda di Dio e della realtà. In tutta la produzione di Guarini è evidente una ricerca rivolta a una nuova oggettivazione dell'architettura, in cui è possibile leggere non solo i mutamenti architettonici del tempo, ma anche le linee teoriche poste a fondamento del suo linguaggio espressivo. La riproposizione di schemi compositivi e soluzioni formali è testimonianza di una sperimentazione spaziale e linguistica che si riscontra nei diversi progetti dove prende corpo un linguaggio del tutto personale e dove il vocabolario degli elementi è plasmato e rinnovato dalla sua capacità di comporre e articolare le forme in modo nuovo, innestandosi comunque sulla tradizione classica.

Qui di seguito si analizza una tra le opere per le quali non esiste più alcuna traccia materiale, la Chiesa dei Padri Somaschi di Messina, ricostruendo l'architettura sul piano del foglio attraverso le indicazioni teoriche del Trattato di Architettura Civile (Guarini, 1737) e le "incisioni" (Guarini, 1753) a corredo del Trattato medesimo, mediante la cui rappresentazione è possibile individuare alcune specificità del linguaggio architettonico guariniano che riguardano sia la composizione geometrica e modulare, riconoscibile talvolta negli impianti planimetrici e altre volte negli alzati, sia la gerarchia spaziale dei differenti volumi, che contribuisce a sottolineare quel senso di verticalità tanto ricercato da Guarini e nel quale si concentrano significati simbolico-religiosi e invarianti compositive.

Abstract
Guarino Guarini is a prominent figure in the architectural panorama of all times to whose study many critics have turned, developing specific insights in relation to the different fields of interest to which Guarini has dedicated himself during his life. A multifaceted and complex personality who understands architecture as the result of an elaboration that develops on a geometric and mathematical level and becomes the medium for a profound knowledge of God and reality. Throughout Guarini's production there is evident research aimed at a new objectification of architecture, in which it is possible to read not only the architectural changes of the time, but the theoretical lines at the basis of his expressive language. The revival of compositional schemes and formal solutions is evidence of a spatial and linguistic experimentation that is found in the various projects where a completely personal language takes shape and where the vocabulary of the elements is shaped and renewed by his ability to compose and articulate new way as far as grafting on the classical tradition.

In this case study we will want to analyze one of the works - the Church of the Padri Somaschi of Messina - for which there is no longer any material trace, reconstructing the architecture on the plane of the sheet through the theoretical indications of the *Trattato di Architettura civile* (Guarini, 1737) and the *Incisioni* (Guarini, 1753) accompanying the treaty itself, through the representation of which it is possible to identify some specificities of Guarini's architectural language concerning both the geometric and modular composition, sometimes recognizable in the planimetric systems and at other times in the elevations, and the spatial hierarchy of the different volumes, which contributes to underline that sense of verticality much sought after by Guarini and in which symbolic-religious meanings and compositional invariants are concentrate.

Guarino Guarini nel panorama culturale del XVII secolo
La difficoltà di definire con estrema precisione un periodo storico porta solitamente a tralasciare il dato cronologico fine a sé stesso, ma induce a considerare una serie di fattori che nel complesso consentono di definirne i margini temporali. Eventi politici, culturali e artistici, spesso collegati tra loro, permettono di determinare una sostanziale periodizzazione di un'epoca, anche se le radici e le ragioni di ciascun periodo storico vanno sempre ricercate in quello precedente e confluiscono in quello immediatamente successivo.

Con il termine Barocco, in maniera abbastanza semplicistica, si intende quel periodo storico compreso tra il 1600 e il 1750, cronologicamente limitato tra il grande classicismo del Cinquecento e il Neoclassicismo settecentesco. L'associazione a un giudizio complessivamente negativo di tale vocabolo è stata rimossa in epoca relativamente recente; è nota infatti l'accezione e il significato del termine coniato

a opera dei teorici neoclassici e ampiamente utilizzato come aggettivo per indicare qualcosa di stravagante, bizzarro, confuso, eccessivo, artificiale e artificioso. Il senso attribuito a tale definizione nasce soprattutto dal confronto della produzione culturale, artistica e architettonica di quel periodo con quella Rinascimentale e Manierista, confronto incurante del fatto che il Barocco non solo non nasce dal nulla, ma si genera e si sviluppa autonomamente dal linguaggio precedente. Il quadro storico, entro il quale analizzare gli sviluppi culturali, consente di individuare differenti fattori di incidenza: la condizione politica e sociale e le interrelazioni di potere tra i grandi Stati nazionali, il ruolo predominante di una Roma pontificia guidata da autorevoli "sovrani", il carattere propagandistico della Controriforma e l'espansione internazionale degli Ordini monastici dediti a tale intento. Volendo individuare un elemento unificatore delle evoluzioni culturali e del nuovo "codice-stile" si deve tener conto di un significativo evento quale il Concilio di Trento. L'arte diventa in questo momento un mezzo a servizio dell'ideologia cattolica e la diffusione di tale ideologia diventa capillare grazie alla continua espansione degli ordini religiosi e ai compromessi politici che si vengono a creare. Si assiste inoltre a una fervida attività edilizia rivolta innanzitutto a modificare l'aspetto delle città con interventi che prescindono talvolta da ragioni di carattere pratico e che assecondano esclusivamente i "disegni politici". L'ossessione alla costruzione, come mezzo di persuasione e di dichiarazione del proprio potere amplifica il fenomeno edilizio, restituendo spazi e architetture del tutto innovative.

Molti sono i protagonisti di questo periodo ciascuno dei quali, attraverso uno specifico linguaggio, ha saputo contribuire allo sviluppo di un'arte varia e creativa.

Guarino Guarini è considerato uno degli esempi italiani di maggior rilievo del periodo barocco; egli progetta opere che si contraddistinguono per la forte differenziazione formale e tipologica, rientrando nel filone di un'architettura tesa alla persuasione dell'osservatore tramite la fascinazione sensibile ed emotiva. L'espressione delle concezioni intellettuali barocche, ma soprattutto il messaggio universale che la Chiesa tende a diffondere, si esplicita attraverso le architetture religiose, opere paradigmatiche nelle quali si condensano elementi costruttivi, morfologici e formali. Il tema della centralità, tanto ricercato nel secolo precedente e nell'architettura rinascimentale, trova forse maggiore attuazione proprio in questo periodo storico, nel quale si sviluppano impianti centrali attraverso l'evoluzione della forma circolare, dove si concretizzano spazi nei quali l'unitarietà armonica è data dalla frammentazione visiva e percettiva, in cui lo spazio, infinitamente esteso, è ridefinito nella mente dell'osservatore. La teoria si concretizza attraverso la pratica: il fare architettonico diventa un mezzo di trasmissione ideologico e, attraverso scelte individuali e operati "bizzarri", si comunica e si costruisce una nuova identità culturale avviata nel nome di una profonda cultura religiosa che si ritrova poi nell'istituzione dei fondamenti teorico-scientifici del successivo Illuminismo.

Guarino Guarini assume in questo particolare contesto un ruolo paradigmatico; capace di inserirsi ecletticamente nella tradizione marinista e barocca, attingendo ai presupposti teorici in quelle ancora precedenti, diventa un rinnovatore del linguaggio architettonico, riportando in un unico sistema ideale arte e scienza.

La figura di Guarini: il profilo di un teologo-architetto

Guarino Guarini (1624-1683) appartiene all'ultima fase del barocco italiano: pur non facendo parte della generazione dei grandi maestri che lo hanno preceduto, è una figura emergente nel panorama culturale e artistico del tempo, una figura che si distingue per un linguaggio architettonico inedito, basato su di una profonda erudizione, e si esprime attraverso una spiccata competenza tecnica.

Guarini, fortemente rivalutato dalla critica moderna, assume un ruolo di particolare rilievo nell'ambito della storia dell'architettura ed è stato oggetto di una attenzione crescente che si è esplicitata in una sempre più ricca e approfondita ricerca, tesa a mettere in luce le valenze e la complessità del suo lavoro di teorico e di architetto. Le prime considerazioni che evidenziano il carattere di originalità si ritrovano nelle Guide locali piemontesi (Derossi, 1781) pubblicate a partire dalla metà del Settecento fino alla prima metà dell'Ottocento; si tratta di estimatori di Guarini che sottolineano, all'interno di un ampio discorso dedicato all'architettura e alle architetture piemontesi più significative, il carattere di singolarità degli esempi guariniani. L'attenzione a Guarini, al di fuori dei confini nazionali, si manifesta già nel XVIII secolo, in concomitanza dell'interesse suscitato dalla pubblicazione dei suoi Dissegni (Guarini, 1753); si ritiene infatti che i contenuti di tale pubblicazione abbiano influenzato il gusto del tempo tanto da risultare considerazione comune che le opere guariniane abbiano avuto il ruolo di matrice compositiva delle architetture realizzate in Austria e in Germania nel XVIII secolo. In Italia, solo verso la fine del XIX secolo, Tommaso Sandonnini si interessa di ricostruire uno studio storico – filologico mediante la raccolta dei dati d'archivio compiuta a Modena (Sandonnini, 1888). Quella di Sandonnini rappresenta la prima monografia sull'autore e risulta particolarmente interessante in quanto capace di mettere in luce alcuni eventi che precedono il periodo di maggiore notorietà della vita dell'architetto, quello legato alla città di Torino. Nel 1968, infine, viene pubblicata una riedizione, curata da Nino Carboneri, del *Trattato di Architettura civile* che contribuisce a riportare luce sulla figura di Guarini sia come architetto che come trattatista (Carboneri, 1970).

Per comprendere la complessa figura di Guarini è necessario ripercorrere le tappe salienti della sua vita, in modo da poter ricercare il fondamento dei presupposti teorici, le ragioni dei suoi continui spostamenti e le motivazioni delle diverse scelte architettoniche.

Nel 1614 i Teatini si stabiliscono a Modena, nella vecchia chiesa di San Vincenzo e dopo qualche anno danno inizio alla costruzione di una nuova chiesa, dedicata

al medesimo Santo, in un sito poco distante dalla casa paterna di Guarini. Il futuro architetto inizia a frequentare la casa teatina e successivamente è inviato a Roma come novizio dell'Ordine. L'educazione ricevuta durante gli anni trascorsi a Roma, nonché gli insegnamenti e i fondamenti teorici che ogni aspirante sacerdote riceve durante gli anni di noviziato, rappresentano la base per poter comprendere la sua successiva attività di architetto in quanto gli anni della formazione teologica hanno influito sulle radici dell'architettura guariniana: il periodo di noviziato svolto a Roma coincide con la fervida attività borrominiana in una "Roma barocca" che offre molte possibilità di arricchimenti formativi.

In seno all'Ordine teatino, che raramente assume per la progettazione dei propri edifici un architetto esterno, dunque laico, i seminaristi novizi sono indotti a individuare il proprio indirizzo "professionale" e l'architettura rientra a pieno titolo tra le discipline studiate durante gli anni di noviziato, come dimostrato dai numerosi ecclesiastici-architetti del tempo e dalle opere da loro realizzate. Coloro che dimostrano di avere una giusta inclinazione verso l'architettura e il disegno in genere vengono dunque inviati nelle diverse sedi dell'Ordine, laddove vi è la necessità di costruire nuovi complessi religiosi, e tali trasferimenti consentono ai prelati di visitare molte e differenti città italiane ed europee. In particolari casi, ovvero quando si riconosce al prete-architetto talento e bravura, ma anche la protezione del sovrano della Corte presso la quale presta servizio, allora gli si concede di progettare anche edifici civili: si tratta proprio del caso di Guarino Guarini, che realizza numerose opere, in Piemonte, per la famiglia Savoia.

Terminato il noviziato a Roma, nel 1647 Guarini rientra a Modena dove riceve l'Ordinazione il 17 gennaio 1648[1]. In questa città, nel corso di pochissimi anni, egli riesce a ottenere all'interno del proprio Ordine incarichi e riconoscimenti di prestigio e di grande responsabilità. L'elezione di Guarini a capo della comunità teatina modenese trova però un'opposizione "politica": non solo Guarini è obbligato a rinunciare alle cariche raggiunte, ma il peso di tale sfavore lo costringe a lasciare la sua città natale. Nel 1655, anno in cui viene esiliato da Modena, inizia il suo continuo peregrinare che lo porta a soggiornare in differenti città italiane ed europee, come Messina e Parigi e che termina nel 1666, anno del suo definitivo trasferimento nella città di Torino dove si stabilisce quasi definitivamente sotto l'ala protettrice dei regnanti sabaudi. I numerosi viaggi gli consentono di osservare da vicino le architetture di diversi periodi storici nonché le realizzazioni del tempo rappresentative delle tendenze linguistiche e culturali in atto. Nella città siciliana si assiste al primo individuale incarico in architettura del padre teatino: Guarini interviene, con un progetto per la facciata, a concludere i lavori per la realizzazione della chiesa della Santissima Annunziata dove si esprime attraverso un linguaggio architettonico desunto dall'insieme di esperienze formative precedenti, prima fra tutte quella legata al mondo romano e all'esempio borrominiano.

Guarino Guarini a Messina

Prima di stabilirsi definitivamente a Torino, Guarini trascorre un periodo della sua vita nella città di Messina; nel 1660 è chiamato a insegnare matematica e filosofia presso l'Ordine dei Teatini locale e in questo periodo gli viene commissionato il progetto della facciata della chiesa della Santissima Annunziata. La città gode in quegli anni di un momento economicamente favorevole, tanto da poter essere annoverata tra le più grandi e importanti città d'Europa; la sua ricchezza è frutto delle differenti attività commerciali ed è in particolare riferibile alla produzione tessile e al commercio mercantile e marittimo. Le trasformazioni urbane che derivano dallo sviluppo socio-economico risultano particolarmente significative tanto da modificare anche il volto della città. Per la realizzazione delle proprie strutture, gli Ordini religiosi si servono dei confratelli che dimostrano una particolare attenzione all'architettura, certi di conseguire disegni di progetto rispettosi di un linguaggio comune nel quale schemi planimetrici e disegni di facciata risultano coerenti con modelli predefiniti e consolidati, in accordo con le indicazioni dettate dalla Controriforma. Vengono adottati distintamente la tipologia a impianto longitudinale per le chiese annesse ai conventi e per gli oratori, mentre la chiesa a pianta centrale è realizzata per le Confraternite. Gli interni vengono eseguiti secondo schemi tradizionali e le innovazioni stilistiche sono lasciate esclusivamente all'apparato decorativo.

Per la chiesa della S.S. Annunziata i Teatini avevano iniziato la costruzione a partire dagli anni Venti, sulla base di un progetto di pianta a croce latina; alla fine degli anni Cinquanta la chiesa manca ancora della facciata e Guarini, giunto a Messina, viene invitato a realizzarne il progetto. L'edificio viene consacrato il 13 giugno del 1660[2]. La chiesa, danneggiata dai terremoti del 1783 e del 1894, sarà poi completamente rasa al suolo in seguito al terremoto del 1908, motivo per cui le uniche testimonianze della facciata nel suo insieme risultano essere l'incisione riportata nell'*Architettura civile*, alcune illustrazioni e alcune foto d'epoca che ne testimoniano la reale configurazione[3].

Del progetto guariniano realizzato rimangono pochissime tracce materiali in quanto l'edificio, distrutto dal terremoto del 1908, fu completamente abbattuto per dar luogo a una strada della nuova Messina prevista da Borzì nel piano del 1911. Alcuni, pochi, resti della chiesa sono attualmente conservati presso il Museo Regionale Interdisciplinare di Messina; trattandosi di porzioni di elementi decorativi quali capitelli e modanature, la loro conservazione, oltre a consentire di preservare elementi utili alla conoscenza e alla futura trasmissione, risulta valida anche ai fini dello studio necessario per la comprensione dei rapporti delle parti e di riscontro con la trattazione degli ordini architettonici elaborata da Guarini.

Gli anni della maturità: Torino e il Piemonte

L'ultimo periodo della vita di Guarini è compreso tra gli anni che vanno dal 1666, anno in cui, come detto, è chiamato presso la Casa teatina di Torino, e il 1683, anno

della sua scomparsa. Questo periodo coincide con la piena maturità dell'architetto che in questo breve arco temporale progetta e realizza le sue opere più note. Sono gli anni in cui trovano pieno compimento le sue idee, in un rapporto con la città di Torino e con la famiglia reale dei Savoia che gli consente una libertà di pensiero e di azione tale da permettergli di dar luogo ad architetture inedite, caratterizzate da un linguaggio innovativo e del tutto personale.

La sua presenza a Torino è inizialmente legata alla costruzione della chiesa teatina di San Lorenzo, per seguire la realizzazione della quale Guarini è espressamente chiamato da Parigi. Successivamente, nel 1668, la famiglia reale sabauda gli conferisce la nomina di Ingegnere e Matematico Ducale per la Cappella della Sacra Sindone e l'incarico di progettare alcuni edifici civili che segneranno poi il carattere della città nuova che proprio in quegli anni si andava espandendo. In effetti, in quegli anni, la capitale sabauda si andava trasformando secondo un processo iniziato nel periodo a cavallo tra il XVI ed il XVII secolo a opera di Carlo ed Amedeo di Castellamonte e di Ascanio Vitozzi. Il nuovo quartiere previsto dal piano di Vitozzi vede sorgere nella seconda metà del Seicento numerose opere architettoniche, religiose e civili, a firma di Guarini. È proprio a Torino che in questi anni egli realizza le opere più significative del suo repertorio, progetti di architetture che, prima di tutti, hanno alimentato nel tempo l'interesse degli storici e della critica; oltre alla chiesa di San Lorenzo e alla Cappella della Sacra Sindone, Palazzo Carignano e il Collegio dei Nobili.

La chiesa dei Padri Somaschi

L'opera incompiuta che Guarini progetta per la città di Messina è la chiesa dei Padri Somaschi il cui progetto, rimasto esclusivamente su carta[4], è riportato nei Dissegni d'architettura civile et ecclesiastica, in Figura 1, e nel Trattato di Architettura Civile.

La controversa definizione del dato cronologico potrebbe risultare di fondamentale importanza per stabilire se il progetto messinese rappresenti un'anticipazione di temi che saranno successivamente applicati in opere realmente costruite, oppure se tale progetto coincida con la fase più matura del linguaggio guariniano, che vede già realizzate o via di realizzazione alcune opere fondamentali dell'architetto, quelle torinesi, le quali presentano elementi in comune con la chiesa dei Padri Somaschi (l'utilizzo delle volte ad archi intrecciati e la sovrapposizione additiva che restituisce spazi telescopici) che, in concordanza con la complessità architettonica[5] presente nell'organismo, denota un'effettiva maturità; al riguardo, attualmente, non esistono però riscontri certi.

La chiesa dei Padri Somaschi presenta un impianto centrale di matrice esagonale la cui struttura è articolata su tre livelli ottenuti dalla sovrapposizione di volumi che si concludono nella volta di copertura a padiglione. Al primo livello lo spazio è risolto attraverso la connessione geometrica di due esagoni concentrici attraverso i quali si viene a definire un primo ambiente centrale e un deambulatorio composto da sei

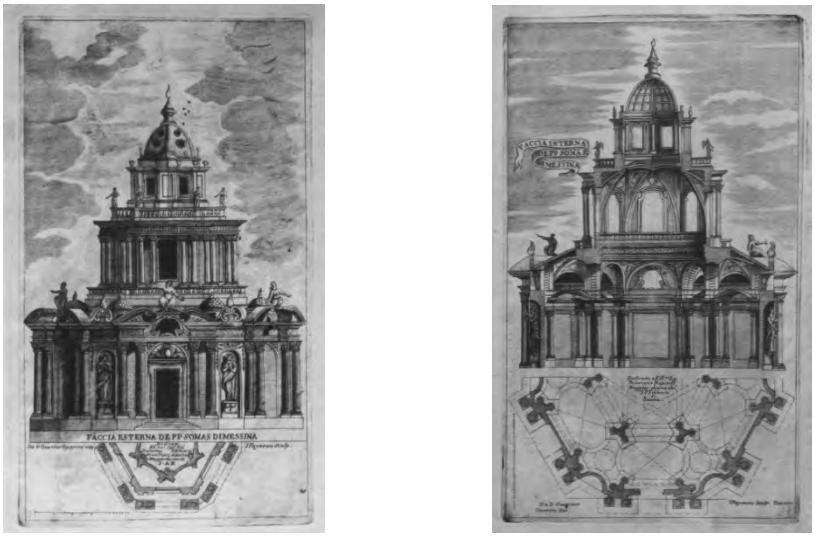


Fig. 1 – G. Guarini, Chiesa dei Padri Somaschi di Messina: pianta del secondo livello e prospetto (a sinistra); pianta del primo livello e sezione (a destra) (Guarini, 1686: tavole non numerate).

cappelle laterali, raccordate tra loro mediante piccoli spazi poligonali dove lo spazio è concepito autonomamente rispetto a quello centrale. Apparentemente si rileva dunque una reale indipendenza spaziale, ma nello schema geometrico-compositivo dell'impianto sono invece riscontrabili specifici rapporti proporzionali che configurano un sistema spaziale complesso partendo da soluzioni geometriche semplici. Questi spazi risultano essere fisicamente e visivamente tra loro distinti anche dalla presenza di una maglia di pilastri - posizionati nei vertici dell'esagono minore - che funge da supporto strutturale del livello superiore.

Mentre all'interno lo spazio è scandito dalla presenza di tali pilastri trilobati, all'esterno la configurazione del primo livello si articola grazie alla presenza di colonne binate disposte lungo i vertici del poligono di base, atte a sostenere la relativa trabeazione e il frontespizio. Nello sviluppo verticale la composizione dà luogo a una successione geometrico-spaziale di volumi che generano una struttura complessa. Il passaggio dal primo al secondo livello è segnata dalla presenza di archi a tutto sesto che collegano i pilastri trilobati; gli archi sono tra loro raccordati mediante una superficie circolare che consente di definire altrettanti pennacchi al di sopra dei quali corre un unico cornicione circolare. Al secondo livello trova luogo un tamburo esagonale, corrispondente alla geometria di base della parte centrale del primo livello, che racchiude in sé una volta a fasce. L'intreccio di archi impostati sugli angoli dell'esagono rappresenta una stella a sei punte e determina una volta traforata

che consente il passaggio della luce dalle sei grandi finestre disposte lungo i lati del tamburo e ne consente il passaggio fino al livello inferiore. Il tamburo del secondo livello è, all'esterno, contornato da una serie di colonne binate disposte lateralmente rispetto a ciascun lato del poligono su cui poggia una cornice che segue il medesimo perimetro dell'impianto di base e al di sopra della quale trova spazio una balaustra adornata da statue. Attraverso l'intreccio degli archi che costituiscono la volta a fasce si viene a creare un ulteriore esagono ruotato di trenta gradi - per costruzione geometrica - rispetto a quello precedente; su questo spazio cavo si innesta il tamburo del terzo livello, anch'esso esagonale, coperto con una volta a padiglione sulla quale svettano un lanternino e una torcia. La chiesa, pur risultando complessivamente semplice nella composizione spaziale, presenta alcuni dettagli specificamente complessi e in particolare, al primo livello, risulta molto articolata la copertura del deambulatorio perimetrale. Il disegno delle cappelle laterali è pensato per aumentare l'effetto spaziale dell'insieme; le cappelle sono coperte da una volta a crociera, che appare gonfiata in virtù dell'utilizzo di superfici cilindriche, la cui direttrice segue la curva definita dall'arco di collegamento tra i pilastri trilobati della zona centrale e la curva definita dall'arco che raccorda i suddetti pilastri con quelli addossati alla muratura del perimetro esterno. I piccoli spazi poligonali sono coperti invece da lanterne circolari e spazialmente risultano definiti attraverso la parte interna del muro perimetrale, corrispondente alle nicchie visibili in prospetto, e la proiezione degli archi minori delle crociere poste a copertura delle cappelle contigue (Passanti, 1963).

In questo edificio Guarini esprime con precisione una tematica ricorrente nelle proprie opere, cioè quella della sovrapposizione additiva di corpi separati lungo un'unica linea, ove le tradizionali regole compositive vengono in qualche modo rivisitate e, nonostante l'apparente disomogeneità tra le parti, la struttura nel suo insieme risulta unitaria e conclusa.

Al livello superiore il ritmo della facciata, scandito dal colonnato che percorre l'intero perimetro, risulta molto più semplice rispetto a quello sottostante, circostanza che si verifica anche nel passaggio dal secondo al terzo livello. Tale modificazione della complessità decorativa e compositiva si risolve anche all'interno: la zona più alta - la più piccola, semplice, integra e ferma - «si degrada in quella più ampia dell'irrequieto intreccio di archi e, più in basso, nella ancor più ampia zona terrena, quale meno solida e tanto più complessa, ammorbidita e ricca, la quale […] ci presenta variante all'infinito, come in un caleidoscopio, il rifrangersi delle articolate e minute strutture».

Conclusioni

L'analisi delle architetture intangibili contribuisce all'indagine del linguaggio architettonico guariniano, arricchendo il palinsesto delle opere più note, ovvero quelle torinesi. Lo studio del Trattato di Architettura civile e dei disegni di Guarini, i cui

originali sono conservati presso l'Archivio di Stato di Torino, costituisce un modo per comprenderne il linguaggio, analizzando gli elementi e i fondamenti compositivi dei numerosi progetti che costituiscono l'esemplificazione applicativa delle enunciazioni teoriche formulate. Si tratta di progetti nei quali è possibile individuare alcune specificità ricorrenti: la composizione geometrica e modulare, riconoscibile talvolta negli impianti planimetrici e altre volte negli alzati, e la gerarchia spaziale dei differenti volumi sovrapposti, che contribuisce a sottolineare quel senso di verticalità tanto ricercato da Guarini e nel quale si concentrano significati simbolico-religiosi e invarianti compositive.

La complessità spaziale della chiesa dei Padri Somaschi viene ridefinita attraverso l'indagine grafica in Figura 2, supportata, in carenza di dati materiali e concreti, unicamente dalla documentazione presente nel *Trattato di Architettura civile*. Il disegno di architettura contribuisce a descrivere con fedeltà i dati oggettivi, materici e formali, a individuare la genesi geometrica degli spazi, ma soprattutto a esprimere i contenuti e i significati dell'opera, gli stessi che l'autore intendeva forse comunicare,

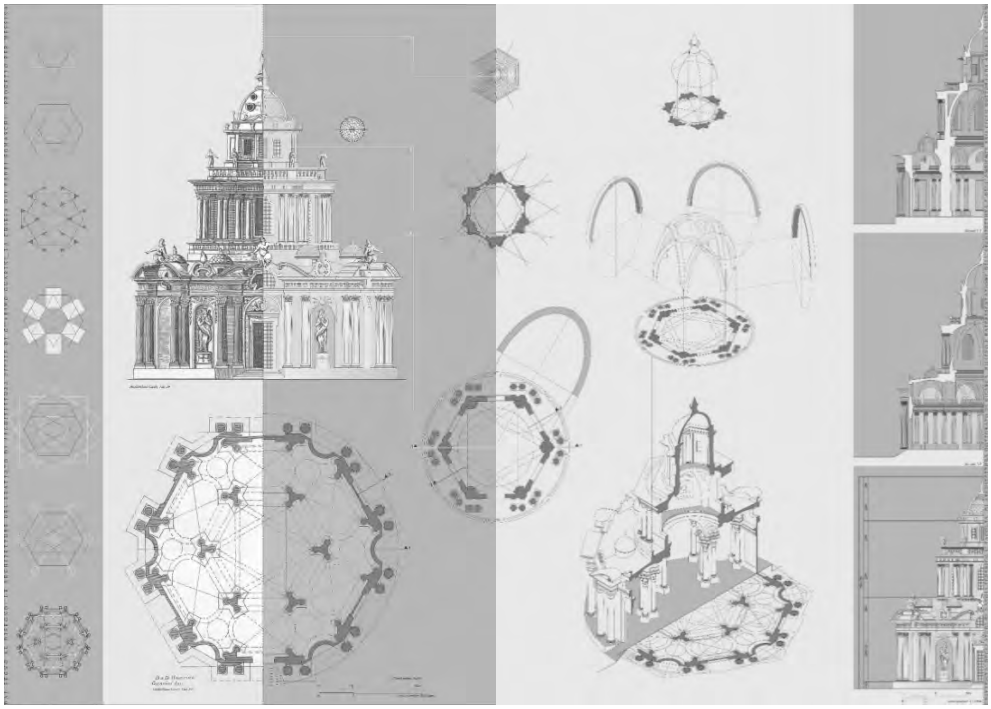


Fig. 2 – G. Guarini, Chiesa dei Padri Somaschi di Messina: analisi delle geometrie costitutive e ricostruzione grafica della planimetria e dell'alzato (a sinistra;) ricostruzione grafica delle sezioni e dello spaccato assonometrico (a destra) (Elaborazioni grafiche di A. Caliendo).

e di risalire all'idea di progetto e ai presupposti alla base dell'atto inventivo, certamente decifrabili attraverso le testimonianze materiche, architetture reali, ma anche mediante l'approfondimento di quelle opere mai realizzate, intangibili.

Bibliografia

Carboneri N. 1970. Guarini a Modena. In: *Guarino Guarini e l'internazionalità del Barocco, Atti del convegno internazionale promosso dall'Accademia delle Scienze di Torino* (a cura di V. Viale), Torino 30 settembre - 5 ottobre 1968. 47-70 Torino: Accademia delle scienze.

Craveri G. G. 1753. *Guida de' Forestieri per la Real città di Torino*. Torino: Gian Domenico Rameletti libraio.

Derossi O. 1781. *Nuova guida per la città di Torino*. Torino: Stamperia Reale.

Guarini G. 1686. *Dissegni d'architettura civile et ecclesiastica, inventati e delineati dal padre D. Guarino Guarini modenese De Chierici Regolari Theatini matematico dell'Altezza Reale di Savoia*. Torino: Eredi Gianelli.

Guarini G. 1737. *Architettura civile del Padre D. Guarino Guarini Chierico Regolare. Opera postuma dedicata a Sua Sacra Reale Maestà in Torino MDCCXXXVII*. Torino: Gianfrancesco Mairesse all'insegna di Santa Teresa di Gesù.

Guarini G. 1968. *Architettura civile* (edizione curata da N. Carboneri). Milano: Edizioni Il Polifilo.

Nobile M.R. 2006. Guarini e la Sicilia. In: *Guarino Guarini* (a cura di G. Dardanello, S. Klaiber, H.A. Millon). 487-493. Torino: Umberto Allemandi Editore.

Passanti M. 1963. *Nel mondo magico di Guarino Guarini*. Torino: Toso.

Sandonnini T. 1888. Il padre Guarino Guarini modenese. In: *Atti e Memorie delle reali deputazioni di storia patria per le provincie modenesi e parmensi*. Modena: Tipografia Carlo Vincenzi.

Note

1. Archivio di Stato, Modena, Opera Pia, Teatini, 364. Documento datato 13 ottobre 1649.
2. 13 giugno 1660; Roma, Archivio Generale dei Teatini, *Libro della Consulta*, 1658-1661, ms 31, f. 72r (7 dicembre 1658).
3 Tale tesi è avvalorata dall'assenza di tale opera dagli elenchi degli edifici distrutti dal terremoto, dall'assenza dalle *guide* della città e, andando a ritroso nel tempo, non risulta essere presente neanche tra le opere illustrate da Francesco Sicuro nella sua opera del 1768, *Vedute e prospetti della città di Messina*.
4. Superando il dilemma circa la realizzazione dell'opera, e dando per certa l'opinione comune che tale progetto sia stato solo ideato dall'autore e mai realizzato, resta inoltre ancora aperta la questione della datazione del progetto (Nobile, 2006: 492).
5. Lo sviluppo verticale di tali archi non aderisce a una superficie piana ma, in quanto ottenuta dall'intersezione di differenti superfici curve, quella semisferica delle lanterne e quella cilindrica delle volte a crociera, risulta appartenere alla categoria delle curve complesse, dette quartiche.

Vittorio Bovolin

Sviluppo della tecnica idraulica nel Regno di Napoli nel XIX secolo

Development of the hydraulic technique in the Kingdom of Naples in the XIX century

Sommario
L'istituzione, nel periodo francese, della Scuola di Applicazione di ponte e strade rappresentò un importante passo nello sviluppo della cultura tecnico-ingegneristica nel Regno di Napoli, sulla cui utilità è sufficiente osservare che essa fu sostanzialmente mantenuta dal Governo borbonico dopo la Restaurazione. Ovviamente i frutti della Scuola non si manifestarono immediatamente, ma fu necessario un certo tempo di incubazione affinché gli approcci e i metodi insegnati nella Scuola si affermassero nella comunità tecnica napoletana. Il presente lavoro intende seguire gli sviluppi di tale progresso in ambito idraulico analizzando sinteticamente l'evoluzione di tre grandi progetti: emissario del lago del Fucino, canale tra Adriatico e Tirreno e bonifica della Piana del basso Volturno. I tre esempi proposti evidenziano come sono stati necessari circa due decenni affinché la cultura idraulica moderna si affermasse e superasse gli approcci classicisti utilizzati in precedenza.

Abstract
The establishment in Naples of the Application School, during the so called "French period", shaped on the example of the French *École d'Application des Ponts et Chaussées*, signed an important step forward the development of the modern engineering knowledge in the Kingdom of Naples. An incubation period of about 20 years was needed before approaches and methods taught into the School could be accepted into the Neapolitan technical community and became fruitful. The present work intends to investigate the development in the field of the hydraulic engineering following the developments of three projects: the restoration of the Fucino emissary, the construction of a canal linking the Adriatic to the Tyrrhenian and the reclamation of the low Volturno valley. These examples show that about 20 years were required before the modern hydraulic engineering approaches substituted the old approach based on the mere reference to classical texts.

Introduzione

La possibilità per una società moderna di realizzare grandi progetti infrastrutturali richiede la disponibilità sinergica di numerosi fattori quali la volontà politica, la disponibilità economico-finanziaria e il consenso sociale, ma anche le capacità professionali dei tecnici chiamati a progettare ed eseguire tali progetti.

Così, la costruzione, agli inizi degli anni ’30 del XIX secolo, dei ponti sospesi sul Garigliano e sul Calore Irpino, progettati da Luigi Giura dopo un lungo viaggio di istruzione in Francia e in Inghilterra, indica chiaramente che l’ingegneria strutturale nel Regno di Napoli era in grado di affrontare la progettazione di opere innovative.

Mancando un esempio iconico come quello dei ponti progettati da Giura, la ricostruzione delle competenze idrauliche nel Regno di Napoli risulta più complicata.

Il presente contributo intende analizzare l’evoluzione delle conoscenze in campo idraulico dei tecnici del Regno di Napoli dall’inizio XIX secolo fino alla Unità di Italia attraverso l’analisi di tre progetti idraulici: il ripristino dell’emissario del lago del Fucino, la possibilità di realizzare un canale navigabile di collegamento tra l’Adriatico e il Tirreno e infine le opere di bonifica della piana del basso Volturno.

Il ripristino dell’emissario del lago del Fucino

Il progetto di ripristino dell’emissario del lago del Fucino è un interessante caso di studio non solo perché ha una storia plurisecolare (Parisi e Pica, 1996), ma anche perché è uno dei pochi progetti pubblici finanziati, almeno inizialmente, direttamente dal governo borbonico.

Il lago del Fucino occupava la parte più depressa di una vasta area endoreica nella regione dei Marsi. Il livello del lago, in funzione delle variazioni a scala pluriennale delle condizioni climatiche, presentava oscillazioni, anche di diversi metri, che creavano disagi ai possessori dei terreni rivieraschi. Per limitare tali oscillazioni era stato realizzato, in epoca romana, un emissario che, probabilmente dopo la caduta dell’Impero Romano smise di svolgere la propria funzione per mancanza di manutenzione. Negli oltre 1400 anni successivi vi furono numerosi tentativi di ripristino, ma nessuno ebbe successo. Agli inizi degli anni ’30 del XIX secolo, dopo un lungo dibattito, il governo borbonico avviò le opere di ripristino dell’emissario romano.

La grande capacità organizzativa dei tecnici preposti alla direzione dei lavori, la dedizione e l’impegno delle maestranze e la concomitanza di un periodo di relativa siccità, che comportò una progressiva diminuzione del livello del lago, permisero un precario ripristino della continuità dell’emissario romano (Afan de Rivera, 1833, 1845; Liberatore, 1833, 1835, 1837).

Purtroppo, quando il periodo climaticamente favorevole ebbe termine l’inversione della tendenza climatica comportò un progressivo aumento del livello del lago, cosicché l’emissario venne nuovamente inondato dalle acque e tutte le opere provvisionali realizzate furono distrutte, riportando il sistema allo stato precedente.

L'approccio politico di non intervento nelle attività economiche e, probabilmente, il ricordo dell'insuccesso dell'intervento tecnico spinsero il Governo borbonico ad affidare nel 1852 la questione del lago del Fucino all'iniziativa privata, che, in effetti, nei 20 anni successivi portò a compimento l'opera.

Per quanto riguarda la ricostruzione del livello tecnico che aveva preceduto la partenza dei lavori degli anni '30 del XIX secolo, è esemplificativo ricordare l'incarico dato nel 1807 da Ferdinando I al monsignore Carlo Rosini, presidente delle Reali Accademie di Antichità, Scienze e Belle arti, di esaminare se l'emissario romano avesse mai raggiunto lo scopo di condurre le acque dal Fucino nel Liri. La risposta di Rosini, basata sulla autorità degli antichi scrittori, fu che le acque del Fucino si fossero già una volta imboccate almeno in parte nel Liri e che quindi la questione non era tecnica, bensì andava inquadrata come una questione filologica.

L'approccio classicista finalizzato al mero ripristino delle opere romane non riguardava solo il caso del Fucino, ma anche, ad esempio, il problema del miglioramento dell'approvvigionamento idrico della città di Napoli. A tal riguardo è significativo l'approccio iniziale tenuto nel 1840 da Felice Abate che, a propria volta, propose semplicemente di ripristinare l'acquedotto romano che da Serino giungeva a Baia.

Quello che accomuna le fasi iniziali delle questioni del Fucino e dell'acquedotto del Serino è la prevalenza dell'approccio classicista rispetto a quello tecnico.

Il paradigma tecnico non è quello di studiare e definire la progettazione di una opera nuova, ma di limitarsi al solo restauro delle opere antiche: la riuscita del progetto non dipende dalle capacità ingegneristiche dei tecnici incaricati, ma è garantita dalle fonti antiche. Per questa sorta di sudditanza dei tecnici del periodo verso i propri predecessori antichi il progetto borbonico di ripristino dell'emissario del Fucino si presentava, fin dall'inizio, di corto respiro in quanto era limitato al mero ripristino del solo emissario, rimandando aduna seconda fase (Afan de Rivera, 1836) la definizione delle ulteriori opere complementari necessarie per rendere il sistema completamente funzionale.

Al fine della presente analisi l'aspetto più significativo che si ricava dalla lettura dei numerosi testi dedicati alla questione del Fucino è che la discussione era svolta sulla base di informazioni di tipo planimetrico e batimetrico non aggiornate e che in molti casi l'Autore non aveva visitato personalmente i luoghi (Afan de Rivera, 1833). Come è evidente dagli scritti di Afan de Rivera (1836), che si fece promotore dell'opera, le analisi relative alla capacità di laminazione della parte di lago rimanente confrontata con la capacità di scarico dell'emissario romano restaurato appaiono assai rudimentali.

A conferma del livello modesto delle conoscenze idrauliche di quel periodo è sintomatico notare anche il mancato avvio di una campagna di monitoraggio idrologico e idraulico. Tale assenza appare come una dimostrazione che i tecnici napoletani dell'epoca non avevano evidentemente acquisito gli strumenti matematico-concettuali necessari per sviluppare un modello interpretativo del comportamento del lago che avrebbe richiesto di essere supportato da misure dirette.

Il canale navigabile di collegamento tra l'Adriatico e il Tirreno

Un interessante sottoprodotto della discussione sul Fucino è la questione relativa alla possibilità di realizzare un canale navigabile per congiungere l'Adriatico con il Tirreno.

Nel 1818 Lippi fu il primo a proporre di realizzare il canale passando per il lago del Fucino. Quella di Lippi, che fu in costante attrito con il mondo tecnico napoletano, è una figura controversa che è discussa da D'Angelo (2018). Se da un lato Lippi osserva acutamente che i tecnici contemporanei non agiscono in maniera autonoma, ma sono legati alla tradizione antica e mirano alla mera restaurazione delle opere romane, dall'altro, probabilmente trasportato dalla propria vis polemica, mette in dubbio che l'emissario romano abbia mai funzionato. Con riferimento specifico agli aspetti idraulici l'affermazione di Lippi (1818) che l'immissione nel Liri di un lago grande come quello del Fucino avrebbe comportato la sommersione di parte della Terra di lavoro è una chiara dimostrazione che egli non aveva chiara la differenza basilare tra volume e portata.

Successivamente Lippi integrò la memoria del 1818 con due ulteriori scritti, nel primo Lippi (1820a) affrontò alcuni aspetti amministrativi che avrebbero dovuto regolare i lavori e la gestione del canale, mentre nel secondo Lippi (1820b), forse per riempire le lacune tecniche della memoria del 1818, descrisse le opere che caratterizzano il Canale della Linguadoca, oggi *Canal du Midi*, senza significative applicazioni al caso del canale tra Adriatico e Tirreno. Il limite insuperabile della proposta di Lippi fu che tutti i ragionamenti erano chiaramente basati "sulla carta" senza una conoscenza diretta dei luoghi.

Afan de Rivera (1823), nell'ambito delle *Considerazioni sul prosciugamento del lago del Fucino*, propose, a propria volta, la realizzazione di un canale per collegare il Tirreno con l'Adriatico passando proprio per il lago del Fucino.

Successivamente Durini (1835) propose di realizzare il canale collegando il Volturno con il Sangro passando per Alfedena mentre Tenore (1835) propose di collegare il Calore Irpino con l'Ofanto. In entrambe le proposte gli autori si limitarono a osservare che la morfologia del percorso da loro proposto risulta più favorevole rispetto al passaggio per il Fucino, ma non aggiunsero alcun ulteriore elemento tecnico-idraulico utile per comprendere la reale fattibilità e conseguentemente i costi delle opere proposte.

Che l'interesse nel Regno di Napoli per i canali navigabili non fosse limitato a singoli individui, ma era diffuso all'interno della comunità tecnica è chiaramente dimostrato sia dalla ampiezza della parte che Rossi (1837), come professore alla Scuola Applicazione di ponti e strade, dedicava alla progettazione dei canali navigabili, sia dalla memoria presentata da un valente tecnico come Vincenzo degli Uberti (1845) al VII Congresso degli Scienziati Italiani.

Il giudizio sulla proposta di Afan de Rivera del 1823 fu espresso dallo stesso Afan de Rivera (1833) che, con grande onestà intellettuale, ammise di avere commesso

gravi errori in quanto nel 1823 non aveva visitato personalmente i luoghi e si era basato esclusivamente su relazioni altrui.

L'esame delle proposte citate indica che esse appaiono nel complesso prive di concrete valutazioni di tipo ingegneristico-idraulico relative ad aspetti fondamentali quali dimensioni del canale, numero complessivo, posizione e dimensioni delle chiuse da realizzare, volume di acqua necessario per alimentare il sistema e individuazione delle possibili fonti idriche.

In conclusione, l'esame del contenuto tecnico delle pubblicazioni relative ai casi qui sinteticamente descritti indica che, nel complesso, le conoscenze ingegneristiche in generale, e idrauliche in particolare, non appaiono tali da garantire il successo di progetti idraulici complessi.

Il nuovo approccio degli allievi della Scuola Applicazione di ponte e strade: Vincenzo Antonio Rossi

A partire dagli anni '30 del XIX secolo la situazione negativa descritta in precedenza inizia a mutare radicalmente in quanto entrano in scena nuove figure professionali formatesi alla scuola di Applicazione di Ponti e Strade che mostrano di avere acquisito un elevatissimo spessore tecnico.

I giovani ingegneri napoletani, come riferisce Maiuri (1836), si formavano non solo sullo studio delle materie di base, ma anche con un ampio approfondimento delle materie idrauliche. Il principale esponente di questa nuova generazione di ingegneri è Vincenzo Antonio Rossi. Rossi affronta i casi descritti in precedenza e lo fa con estrema lucidità; i suoi scritti, per il rigore metodologico e la chiarezza espositiva, rappresentano una istruttiva e piacevole lettura anche per i tecnici moderni.

Come detto in precedenza la risalita del livello del lago del Fucino comportò la sostanziale perdita dei lavori di ripristino già effettuati e decretò la fine dell'intervento diretto del Governo Borbonico. La questione sarà ripresa nel 1852 con la Concessione dei lavori al Principe di Torlonia che li porterà a compimento dopo l'Unità di Italia. La decisione di Ferdinando II di affidare la soluzione del problema del Fucino alla iniziativa privata comportò che i tecnici napoletani non ebbero più modo di occuparsene direttamente. Peraltro, dopo l'unità di Italia la discussione sulle opere di regolazione e sulle modalità di gestione del lago del Fucino riprese vigore a livello nazionale come è dimostrato dalla aspra diatriba che contrappose l'ing. Elia Lombardini, uno dei massimi idraulici italiani dell'epoca, al gruppo di progettisti francesi che seguivano i lavori per conto del principe Torlonia (Lombardini, 1862, 1866a, 1866b, 1876, 1875; de Rotrou, 1864, 1871; de Rotrou e Brisse, 1872).

L'interesse professionale di Lombardini (1845) per lo studio del comportamento dei laghi lo aveva portato a scrivere una memoria di carattere generale su tale argomento. L'anno successivo Rossi (1846) pubblicò un proprio contributo sull'argomento sviluppando alcuni aspetti matematici della memoria di Lombardini. Circa 20

anni dopo la memoria del 1846, Lombardini (1866a) pubblicò una seconda memoria sull'argomento e ritenne necessario citare il contributo di Rossi. Questa citazione è significativa per due ordini di motivi: il primo è che quasi mai le memorie di Lombardini contengono citazioni di altri Autori, il secondo riguarda la circostanza che Lombardini riteneva che la memoria di Rossi fosse inedita. Il fatto che Lombardini, che si confronterà aspramente per circa un decennio con i progettisti delle opere del Fucino, ritenne necessario rispondere a distanza di 20 anni a quella che egli riteneva una Comunicazione personale è un chiaro, sia pure indiretto, riconoscimento dell'elevato valore scientifico di quanto scritto da Rossi, il quale sarebbe stato certamente in grado di contribuire al dibattito sul Fucino che vide impegnati Lombardini da una parte e gli ingegneri incaricati da Torlonia di eseguire i lavori dall'altra.

Per quanto riguarda i canali Rossi (1843a) riporta che nel 1838 fu inviato in Capitanata per esaminare la possibilità di realizzare un canale navigabile da Foggia a Manfredonia e che, sulla base della evidente conoscenza dei testi francesi e inglesi sull'argomento, progettò il canale seguendo un preciso percorso metodologico. In particolare, Rossi racconta che partì dalla identificazione delle merci che si intendeva trasportare per definire le caratteristiche geometriche delle imbarcazioni destinate a trasportarle e conseguentemente le dimensioni da assegnare al canale. Si pose quindi il problema del numero di chiuse necessarie lungo il percorso per superare il dislivello da Foggia a Manfredonia e del volume di acqua necessario per l'esercizio del canale; a tal riguardo, consapevole che il trasporto delle merci avrebbe avuto un carattere stagionale, cercò di valutare, sulla base dei pochi dati che gli fu possibile raccogliere, la disponibilità idrica durante il periodo di maggiore richiesta. Interessante è anche la definizione meccanica data del sistema canale come un sistema per sollevare pesi. La inaspettata conclusione della memoria che, pur avendo dimostrato la fattibilità dell'opera, ne sconsiglia la realizzazione, lascia il sospetto che in effetti questa pubblicazione fosse giusto un esercizio finalizzato a indicare a coloro che si limitavano a lanciare l'idea di un canale navigabile quali fossero tutti i passi progettuali da seguire per la corretta progettazione di tale tipologia di opere.

La conferma dell'elevato approccio metodologico raggiunto dalla scuola Napoletana è ulteriormente dimostrata dalla memoria presentata da Rossi (1845) alla VII Riunione degli scienziati italiani svoltasi a Napoli, nella quale l'Autore riconosce, in maniera lucidissima, che i principi fondamentali della fisica classica, quello della conservazione della massa e il secondo principio della dinamica, sarebbero in teoria sufficienti a rendere definiti i problemi idraulici, ma che all'applicazione di tali principi ai "grandi bisogni sociali" si oppongono due ostacoli. Il primo è rappresentato dalle difficoltà matematiche legate alla risoluzione delle equazioni, che sono correttamente identificate come equazioni differenziali alle derivate parziali, il secondo dalla carenza dei dati empirici necessari per l'applicazione quantitativa delle stesse equazioni. L'esperienza come progettista rende anche Rossi consapevole che non

sempre i problemi idraulici sono affrontabili con esperimenti a piccola scala, ma che è necessaria anche una attività diretta sul campo. La memoria si conclude con la proposta di predisporre, con termine moderno, un database delle opere idrauliche contenente tutte le informazioni utili per migliorare le conoscenze tecniche e guidare i tecnici nelle applicazioni pratiche.

La bonifica del basso Volturno

La bonifica del territorio identificato come *Campania Felix* ha una lunghissima storia e per un inquadramento della problematica a partire dalla azione Vicereale si rimanda a Fiengo (1988).

Nel Regno di Napoli il problema della gestione idraulica del territorio, e in particolare delle zone di pianura, rappresentò, a partire dalla pubblicazione del testo di Monticelli (1820) un importante argomento di discussione. La problematica fu presa in carico da Afan de Rivera che spinse affinché si procedesse con gli interventi di bonifica.

Dopo un iniziale periodo di incertezza il Governo Borbonico decise di impegnarsi nella bonifica della pianura del basso Volturno, cioè della vasta pianura compresa tra Mondragone e Licola, delimitata dai primi contrafforti degli Appennini. Questa pianura presenta due caratteristiche morfologiche che rendono problematici gli interventi di bonifica: la prima è che il Volturno scorre pensile rispetto ai terreni circostanti, mentre la seconda riguarda la presenza lungo tutta la costa di una ampia fascia dunale. La prima caratteristica comporta che i punti più depressi della piana si trovano distanti dalle sponde del Volturno in corrispondenza dei due corsi d'acqua, Regia Agnena e Regi Lagni, che drenano le porzioni di piana poste rispettivamente in destra e in sinistra del Volturno. La seconda caratteristica comporta che una vasta porzione di territorio a monte della fascia dunale per una larghezza di oltre 3 km si trova sostanzialmente priva di recapito diretto a mare.

Maiuri (1868) nella introduzione al Progetto di colmata della zona a destra della Agnena riporta che nel periodo dal 1838 al 1843 Ferdinando II aveva preso personalmente a cuore la questione della bonifica del basso Volturno e spingeva affinché gli interventi procedessero rapidamente. Secondo Maiuri nel primo periodo gli interventi vennero eseguiti in maniera un po' estemporanea e in assenza di un Progetto complessivo; successivamente si riuscì a mitigare il "fervore" del Re e fu possibile avviare una fase di rilievi topografici dell'area e di progettazione organica degli interventi. Le affermazioni di Maiuri sono confermate dalla lettura del testo di Savarese (1856), nel quale si rende conto delle attività di bonifica svolte dalla fine degli anni '30 fino al 1855.

I tecnici napoletani avevano maturata una chiara differenza tra le aree che potevano essere bonificate per gravità (essiccazione) e le aree retrodunali (polder), che invece avrebbero richiesto il ricorso alla colmata. In alternativa alle colmate si sarebbe potuto ipotizzare il ricorso al sollevamento meccanico delle acque presenti nei

polder retrodunali. Questa era una pratica nota da secoli in quanto era stata applicata su ampia scala in Olanda mediante l'impiego di mulini a vento. È da dire anche che nella città di Napoli vi erano stati dei tentativi di utilizzare l'energia eolica, come è dimostrato dalle vedute della città, ad esempio quelle di Hogenberg del 1572, di Duchetti del 1585 e di Beauvau del 1615, dove alla punta di Castel dell'Ovo e del molo di protezione del porto sono rappresentati chiaramente dei mulini a vento. Evidentemente, le condizioni climatiche del Mediterraneo, differenti rispetto a quelle del mare del Nord, non resero l'operazione conveniente e le strutture furono smantellate in quanto nelle vedute successive della città esse non sono più presenti.

Prima dello sviluppo della energia elettrica non rimaneva quindi che l'intervento con le colmate. L'ottimismo e la consapevolezza tecnica acquisita dai tecnici napoletani spinse la Direzione delle Bonifiche, anche in presenza di una situazione oggettivamente difficile, a preparare l'avvio della fase di bonifica per colmata delle vaste aree retrodunali.

De Renzi, nel 1829, pubblicò un articolo che aiuta a comprendere l'idea che all'inizio del XIX secolo si aveva sulle possibilità di recupero delle aree retrodunali. L'Autore nel manifestare il proprio appoggio al progetto di Afan de Rivera di spostare le gore, cioè le vasche, per la macerazione della canapa nelle aree poste a valle di Carditello, osservò, in termini moderni, che tali aree erano idonee a ricevere attività inquinanti in quanto «l'aria è naturalmente infetta, e non suscettibile di miglioramento» (De Renzi, 1829).

Il ricorso alle colmate per la bonifica di aree depresse era una tecnica nota agli ingegneri napoletani ed era stata utilizzata in precedenza in un certo numero di casi. Prima del 1855 si trattò però di interventi a piccola scala e in alcuni casi di natura sperimentale (Maiuri, 1868).

Nel caso dei polder retrodunali da Mondragone a Licola si trattava invece di una sfida di tutt'altra dimensione, in quanto bisognava passare da colmate definibili come "puntuali" a colmate di "aree vaste", cioè a colmate che non avvengono con la semplice immissione delle "torbide" di un corso d'acqua nell'area da colmare, ma nelle quali l'estensione dell'area da bonificare è tale da richiederne la suddivisione in sotto aree che ricevono le torbide dei corsi d'acqua in tempi diversi tra di loro.

Rossi nel 1843 pubblicò una memoria, relativa al progetto di bonifica per la colmata dei terreni della Campagna Vicana, l'odierna Villa Literno in sinistra dei Regi Lagni. La memoria (Rossi, 1843b), con la chiarezza e il rigore che caratterizzano tutti gli scritti dell'Autore, è significativa non solo con riferimento allo specifico progetto, ma soprattutto per il fatto che delinea tutti gli aspetti metodologici sottesi alle bonifiche per colmata di aree vaste. Rossi chiarisce che i prerequisiti indispensabili per la progettazione di colmate di aree vaste sono il completamento della bonifica per essicazione dei terreni che circondano l'area da bonificare e una conoscenza approfondita dell'area da colmare, che deve essere oggetto di un meticoloso lavoro di rilievo topografico. Un

aspetto fondamentale che caratterizza la memoria è il principio di unitarietà, in termini di tempo e spazio, degli interventi da realizzare: la bonifica per essicazione delle aree circostanti l'area da colmare, la colmata vera e propria e la successiva sistemazione idraulica dell'area a colmata ultimata fanno parte di un unico processo. La sistemazione definitiva dell'area da colmare si deve raccordare alla bonifica per essicazione delle aree circostanti; l'esecuzione delle colmate non è quindi fine a sé stessa, ma è integrata nel progetto di sistemazione definitiva dell'intera area.

Sebbene il progetto di Rossi (1843b) relativo alla Campagna Vicana non venne probabilmente realizzato nella sua interezza, la metodologia delineata nella memoria si dimostrò un elemento condiviso dagli altri tecnici impegnati nella progettazione delle opere di bonifica. Mililotti (Savarese, 1856) e Amenduni (Maiuri, 1868), infatti, ripercorrono il percorso metodologico tracciato da Rossi.

Seguendo l'esempio di Rossi, i progetti redatti dai nuovi ingegneri napoletani affrontano tutti gli aspetti della progettazione a partire dalla definizione del franco di coltivazione, delle quote del piano campagna da raggiungere con le colmate e del relativo sistema di canali di drenaggio post-colmata, mentre il volume di sedimenti necessario per la colmata fu valutato sulla base di una estesa campagna di livellazione. Un esempio della precisione dei rilievi tipografici realizzati per la progettazione degli interventi di colmata in destra Volturno è riportato nella Figura 1.

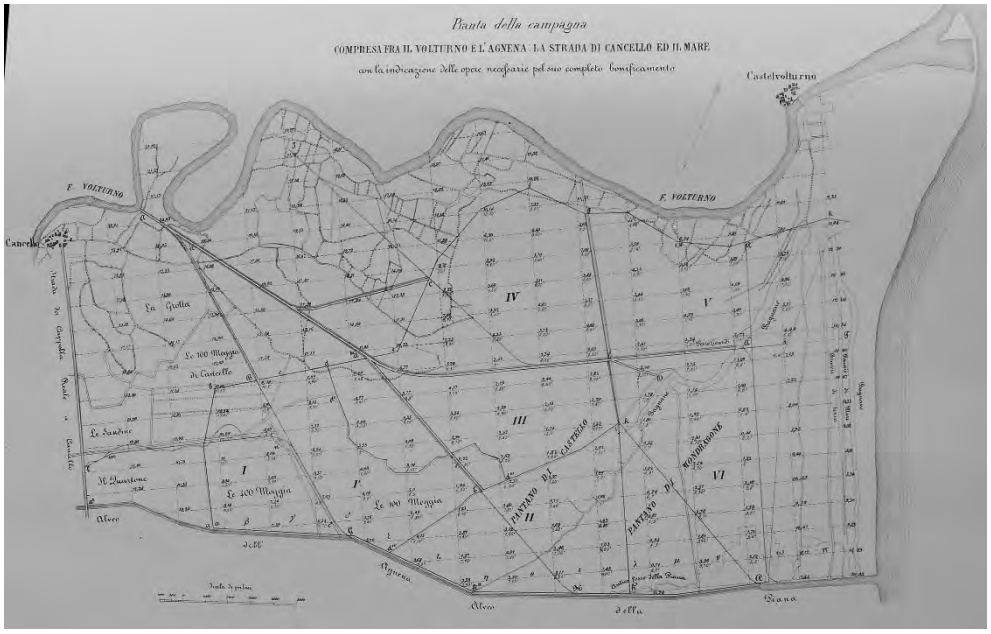


Fig. 1 – Rilievo topografico dell'area in destra dell'alveo della Regia Agnena (Savarese, 1856).

Dalla scala che accompagna la pianta riportata in Figura 1 si ricava che la dimensione massima della griglia di rilievo è prossima a circa 200 m. I progettisti valutarono la possibilità di unire più corsi d'acqua in una unica foce per migliorarne la capacità di sbocco a mare e definirono le dimensioni trasversali e longitudinali di tutti gli elementi del sistema di drenaggio.

I sedimenti necessari per effettuare le colmate furono prelevati mediante specifiche opere di presa dal fiume Volturno o da altri torrenti dell'area, la posizione delle prese fu attentamente studiata in funzione della pendenza da assegnare al canale diversore e al punto di colmata più lontano da raggiungere.

Il dato più significativo e difficile da determinare al fine di definire il tempo necessario per completare la colmata fu la stima della portata solida. A tal fine furono effettuate specifiche campagne di monitoraggio per determinare la portata idrica disponibile nei diversi periodi dell'anno e la relativa portata solida.

Rossi (1843a), sulla base di misure del trasporto solido effettuate personalmente, stimò che la portata solida del Volturno era pari a circa l'5% della portata liquida, Mililotti (1856) corresse la stima di Rossi riducendola all'1%, mentre Amenduni (1868) stimò il trasporto solido sulla base del tempo necessario per colmare una vasca che era già stata sottoposta a colmata.

Il rapporto tra il volume da colmare e la disponibilità annua dei sedimenti che è possibile derivare determina il tempo minimo necessario per effettuare la colmata. Correttamente i progettisti aumentarono tale tempo per tenere conto non solo del consolidamento dei sedimenti depositatesi, ma anche del terreno sottostante.

Infine la superficie complessiva da colmare venne suddivisa in sotto aree destinate a essere sottoposte in anni successivi alle operazioni di colmata.

Conclusioni

La sintetica analisi svolta mostra in maniera evidente, a parere di chi scrive, i progressi conseguiti dagli ingegneri napoletani in ambito idraulico nel corso di una generazione. Gli allievi della Scuola di Applicazione dimostrarono di avere acquisito tutti gli strumenti tecnico matematici necessari per affrontare con competenza ed efficacia le sfide che avevano visti impreparati i loro predecessori.

In particolare, per quanto riguarda l'aspetto relativo alle bonifiche, si può notare che, nonostante la pubblicistica post unitaria sia stata critica nei confronti degli interventi messi in atto dagli ingegneri napoletani prima del 1860, in effetti trascorso qualche anno dall'Unità di Italia l'azione di bonifica della piana del Volturno riprese per oltre quarant'anni secondo l'approccio delineato dagli ingegneri napoletani, che venne abbandonato solo quando la disponibilità dell'energia elettrica rese possibile la bonifica dei polder per sollevamento meccanico.

Può essere quindi opportuno concludere questa memoria riportando le parole di Maiuri (1868) che spiegando le ragioni della pubblicazione del Progetto di boni-

fica in destra Volturno dichiara che «La seconda ragione sta in questo, che tranne le norme generali intorno al bonificare per colmata, insegnate dagl'italiani maestri, ricordati al principio di questa scrittura, pochi esempi abbiamo, che dimostrino come sieno state applicate a seconda delle condizioni locali. Ne, ch'io sappia, ci ha dovizia di memorie su tali applicazioni, che manifestino agl'ingegneri i metodi adoperati e gli espedienti escogitati in molti svariati casi ed in luoghi diversi».

Successivamente, fedele al programma espresso oltre 20 anni prima da Rossi, afferma con orgoglio che «Per il che dovrà tornare sempre utile alla scienza ed all'arte dell'Ingegnere, se non me ne inganno, il pubblicare per le stampe il presente progetto; a fine di mostrare l'applicazione dei principi generali delle colmate in un caso peculiare; nel quale le operazioni del colmamento vanno coordinate a migliorare, e ad un tempo conservare la già stabilita regolazione idraulica di una depressa contrada».

A 50 anni dalla fondazione della Scuola di Applicazione gli ingegneri idraulici napoletani ritengono, giustamente, di avere sviluppato competenze tecniche di livello tali da essere presentate alla comunità tecnica nazionale e forse internazionale.

Bibliografia

Abate F. 1840. *Delle acque pubbliche della città di Napoli idee intorno la ripristinazione dell'acquedotto Claudio*. Napoli: Tipografia Flautina.

Afan de Rivera C. 1823. *Considerazioni sul progetto di prosciugare il lago Fucino e di congiungere il mar Tirreno all'Adriatico per mezzo di un canale di navigazione*. Napoli. Reale Tipografia della Guerra.

Afan de Rivera C. 1833. *Osservazioni sull'esecuzione dei lavori dell'Emissario Claudio in Considerazioni sui mezzi da restituire* il valore proprio a doni che ha la natura largamente conceduto al Regno delle due Sicilie. Seconda Edizione, I. Napoli: Stamperia e Cartiera del Fibreno.

Afan de Rivera C. 1836. *Progetto della restaurazione dello emissario di Claudio dello e dello scolo del Fucino*. Napoli: Stamperia e Cartiera del Fibreno.

Afan de Rivera C. 1845. *Del bonificamento del Lago Salpi coordinato a quello della Pianura della Capitanata*. Napoli: Stamperia e Cartiera del Fibreno.

D'Angelo F. 2018. *Dal Regno di Napoli alla Francia: Viaggi ed esilio tra Sette e Ottocento*. Napoli: Dante & Descartes.

De Renzi S. 1829. *Osservazioni sulla topografia-medica del Regno di Napoli*, 2. Napoli: Stamperia della Società Tipografica.

de Rotrou L. 1864. *Dessechment du lac Fucino e reconstruction de l'emissaire de Claude*. Firenze: Coi Tipi dei successori Le Monnier.

de Rotrou L. 1871. *Prosciugamento del lago Fucino*. Turin: Imprimerie Heritiers Botta.

de Rotrou L., Brisse A. 1872. *Dessechment du lac Fucino par S.E. le prince A. Torlonia reponse a m. l'ingenieur commandeur E. Lombardini par Leon de Rotrou*. Firenze: Typographie successeurs Le Monnier.

Durini G.N. 1835. Della possibilità d'un canale che unisca l'Adriatico col Mediterraneo, e del corso da darsi alla strada provinciale dell'Abbruzzo Citeriore. Napoli: Il Progresso delle Scienze, delle Lettere e delle Arti, XI(IV), 128-133.

degli Uberti V. 1846. *Su' canali navigabili che si potrebbero costruire nel Regno di Napoli, e della loro utilità comparativamente alle strade ferrate*. Napoli: Tipografia de' Fratelli Fernandes.

Fiengo G. 1988. *I regi Lagni e la bonifica della «Campania felix» durante il viceregno spagnolo*. Firenze: Olschki.

Liberatore R. 1833. Sull'emissario del Fucino. Napoli: Annali Civili del Regno delle due Sicilie, I, 122-133

Liberatore R. 1835. Cenno sullo stato in che trovansi i lavori pel nettamento dell'Emissario di Claudio nel mese di novembre del 1834. Napoli: Il Progresso delle Scienze, delle Lettere e delle Arti, IV(X), 161-170.

Liberatore R. 1837. Sull'emissario del Fucino Articolo secondo. Napoli: Annali Civili del Regno delle due Sicilie, XIII(XXVI), 83-90.

Lippi C. 1818. *Lago Fucino ed emissario di Claudio nella Regione de' Marso ossia materiali per la soluzione d'un problema idoneo a dimostrare che questa famosa opera de' Romani fu fallata da Narciso, e per effettuare nuovi lavori ad oggetto asciugare i due terzi dell'estensione del lago Fucino e stabilirne con residuo delle sue acque un canale navigabile per la comunicazione dell'Adriatico col mediterraneo facendolo passare a traverso la larghezza del Regno di Napoli*. Napoli: Stamperia Fratelli Fernandes.

Lippi C. 1820a. Programma per l'unione dell'Adriatico col Mediterraneo, mediante un canale navigabile, che dovrebbe intersecare la larghezza del Regno di Napoli, ed essere alimentato dal lago Fucino anche per asciugare, così, i due terzi della vasta larghezza di quel lago. Napoli: Nuova Biblioteca Analitica di Scienze Lettere ed Arti, 4(XVII), 129-162

Lippi C. 1820b. *Dottrina de' canali di navigazione de' terreni elevati*. Napoli: Stampe di Luigi Nobile.

Lombardini E. 1845. Della natura dei laghi e delle opere intese a regolarne l'efflusso (con Nota aggiuntiva). Milano: Memorie dell'I.R. Istituto Lombardo di Scienze Lettere ed arti, 2, 394-528

Lombardini E. 1862. *Notizia sulle opere intraprese pel prosciugamento del lago Fucino e su quelle da eseguirsi per il radicale bonificamento del suo bacino*. Milano:. Tipografia di Dom. Salvi e C.

Lombardini E. 1866a. Appendice alla memoria sul prosciugamento e bonificamento del Lago Fucino. Milano: Rendiconti Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, Classe di Scienze Matematiche e Naturali, III, 152-155

Lombardini E. 1866b. Aggiunta alla memoria sul prosciugamento e bonificamento del Lago Fucino. Milano: Rendiconti Reale Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, Classe di Scienze Matematiche e Naturali, III, 196-198

Lombardini E. 1875. *Cenni riassuntivi dei progetti e delle opere intraprese pel prosciugamento e definitivo bonificamento del Lago del Fucino e considerazioni su queste ultime.* Milano: Tipografia degli ingegneri.

Lombardini E. 1876. Appendice ai cenni riassuntivi sul prosciugamento e bonificamento del Lago del Fucino. Milano: Il Politecnico Giornale dell'Ingegnere Architetto Civile ed Industriale, XXIV, 759-762.

Maiuri G. 1836. *Delle opere pubbliche del Regno di Napoli e degli ingegneri preposti a costruirle.* Napoli: Stamperia e Cartiera del Fibreno.

Maiuri G. 1868. *Progetto Del diffinitivo bonificamento e regolazione idraulica della contrada in destra del Volturno compresa tra il canale della Regia Agnena e il piede de' monti*

di Carinola. Napoli: Tipografia dell'Unione.
Monticelli G. 1820. *Sulla economia delle acque da ristabilirsi nel Regno di Napoli*. Napoli: dai Torchi del Giornale Costituzionale.
Parisi R., Pica A. 1996. *L'impresa del Fucino: architettura delle acque e trasformazione ambientale nell'età dell'industrializzazione*. Napoli: Edizioni Athena.
Rosini C.M. 1807. *Dell'emissario Claudio nel paese dei Marsi*. Napoli.
Rossi V.A. 1837. *Delle lezioni sulle costruzioni e sull'arte di progettare date alla scuola di applicazione di ponti e strade da febbraio a settembre del 1837 Rapporto al Direttore Generale di ponti e strade delle acque e foreste e della caccia*. Napoli.
Rossi V.A. 1843a. *Di una navigazione mediterranea in Capitanata e della irrigazione di quelli terreni.* Napoli: Da Torchi del Tramater.
Rossi V.A. 1843b. *Memoria per un piano di lavori pel diffinitivo bonificamento della Campagna Vicana*. Napoli: Stamperia e Cartiere del Fibreno.
Rossi V.A. 1845. Proposta per l'avanzamento della scienza idraulica e delle applicazioni sue ai grandi bisogni sociali. Napoli: Museo di Scienze e Letteratura, Nuova Serie, III(VII), 348-354.
Rossi V.A. 1846. Sulle variazioni di altezza d'acqua e di capacità di un lago diviso in due rispetto a quelle nel lago indiviso. Napoli: Museo di Scienze e Letteratura, Nuova Serie, III(IX), 327-334.
Savarese G. 1856. *Bonificamento del bacino inferiore del Volturno*. Napoli: Stamperia Reale.
Tenore M. 1835. Lettera al sig. cav. L. Bianchini direttore del Progresso intorno alla strada provinciale dell'Abruzzo Citeriore. Napoli: Il Progresso delle Scienze, delle Lettere e delle Arti, 21, 279-286.

Anna Maragno, Cristiana Volpi

Il ruolo degli Ingegneri Circolari e degli Ingegneri Civici a Trento nella prima metà dell'Ottocento

The role of District Engineers and Civic Engineers in Trento in the first half of the 19th century

Sommario
A partire dalle specificità storico-politiche ma anche culturali e geografiche che contraddistinguono la regione nella prima metà dell'Ottocento, il presente contributo si propone di evidenziare il ruolo svolto a Trento dagli Ingegneri Circolari, i *Kreisingenieurs*, e dagli Ingegneri Civici che si succedono in qualità di funzionari, rispettivamente del Capitanato Circolare, l'unità amministrativa inferiore del governo dei territori assoggettati agli Asburgo, e del Comune.

Abstract
Starting from the historical and political but also cultural and geographical specificities that characterised the region in the first half of the nineteenth century, this paper aims to highlight the role played in Trento by District Engineers (*Kreisingenieurs*) and Civic Engineers who followed one another as officials, respectively of the District Captaincy, the lower administrative unit of the Habsburg government, and of the Municipality.

Dal Principato vescovile al Capitanato Circolare di Trento

Dopo l'allontanamento volontario del Principe vescovo che ne deteneva il potere da quasi otto secoli, nell'arco di pochi anni, a partire dall'autunno 1796, Trento è oggetto di occupazioni militari e di amministrazioni provvisorie che si susseguono e che vedono alternarsi nel governo l'Austria, la Baviera e il Regno Italico, fino a una situazione di ritrovata stabilità con la riannessione del Trentino alla Casa d'Asburgo nel 1813 (Cagol e Groff, 2013)[1]. Con la patente imperiale dell'aprile 1815 che istituisce definitivamente la Contea principesca del Tirolo la regione viene suddivisa amministrativamente nei due Circoli di Trento e di Rovereto[2] retti ciascuno da un Capitano, *Kreishauptmann*, che dipende direttamente dal *Gubernium* di Innsbruck, organo de-

centrato della Cancelleria aulica e dei dicasteri dell'impero, esercita poteri di governo e funge da intermediario con le circoscrizioni inferiori, i Distretti giudiziali e i Magistrati politico-economici, cui spetta la gestione delle città maggiori con i Comuni vicini. Nel caso di Trento, il Magistrato politico-economico, in base alla sovrana risoluzione del 1825, è un'istituzione composta dal podestà e da otto consiglieri, dei quali due stipendiati e nominati a vita, al pari del podestà, e gli altri eletti e in carica per un periodo di tempo limitato; il primo Statuto della città entra in vigore invece soltanto nel luglio del 1851. Sia il Capitanato Circolare sia il Magistrato politico-economico dispongono di diversi funzionari tra i quali gli ingegneri, cui sono complessivamente affidate tutte le questioni inerenti l'edilizia, lo sviluppo urbano, l'assetto idro-geologico del territorio e la costruzione e la manutenzione di strade e ponti.

L'Ingegnere Circolare: un funzionario imperiale al servizio del territorio

Dalle pubblicazioni che anno per anno testimoniano l'articolata organizzazione dell'apparato amministrativo asburgico nelle varie regioni dell'impero[3] emerge che nel 1819 l'ufficio tecnico dell'imperial regio [i.r.] Capitanato Circolare di Trento si compone di un Ingegnere Circolare, un Ingegnere aggiunto, due Maestri stradali, di cui uno nel capoluogo e uno a Borgo Valsugana, e alcuni praticanti inviati dall'i.r. Direzione provinciale delle pubbliche costruzioni, *k.k. Landesbaudirektion* o *k.k. Provincial Baudirektion*. A partire dal 1823 l'Ingegnere Circolare svolge anche il ruolo di Commissario stradale e viene istituita un'ulteriore figura di Maestro stradale a Pergine per la gestione della rete viaria in Valsugana, mentre dal 1834 gli Ingegneri aggiunti diventano due. Il numero di praticanti è invece variabile, fino a un massimo di quattro nel 1846.

Regolamenti e documenti d'archivio consentono di ricostruire con dovizia di particolari il funzionamento dell'ufficio tecnico del Circolo di Trento e le attività svolte dalle diverse figure che vi sono impiegate, specie negli anni in cui è diretto da Giuseppe Maria Ducati, di cui si parlerà nel seguito. «L'Ingegnere Circolare», si legge ad esempio nella Notificazione del 1814, «ha la direzione superiore di tutti gli oggetti relativi alla costruzione delle strade, ed ai lavori delle acque, e ponti del Circolo rispettivo. Egli dovrà personalmente rispondere della regolare, e lodevole manutenzione di questi rami di pubblica amministrazione, come pure della sollecita manifestazione di tutte le occorrenze straordinarie, della convenienza dei propri progetti, e della retta, stabile, ed economica esecuzione delle fabbriche placitate, e ordinate»[4]. Compiti e doveri dell'Ingegnere Circolare, cui sono richieste dunque competenze diversificate, che spaziano dall'architettura all'idrologia, oltre a una formazione pratica e non soltanto scolastica[5], anche se non bene specificato di che tipo, sono precisati nella successiva Aggiunta del 1824: egli dovrà «accompagnare con piani e conti preventivi tutti i disegni o cangiamenti dei progetti fatti da altri, ritenere copia dei medesimi, formandone un indice e custodindoli diligentemente, onde, sortendo dall'Ufficio, ovvero venendo

promossi o trasferiti, possano consegnarsi ai loro successori. [… Dirigerà [… personalmente l'esecuzione delle fabbriche, facendo un regolare prospetto delle relative disposizioni contenente gli opportuni ordini, ed istruzioni riguardo alla quantità e qualità dei materiali da fabbrica, ai lavori dei professionisti da impiegarvi, dei muratori, dei manuali, e dei carri, agl'individui d'inspezione, ed al modo di rendere i conti, acciocché la fabbrica si eseguisca dietro a tale disposizione col dovuto ordine ed economia […. Alla fine di ciascun anno consegnerà al Capitanato del Circolo per essere dal medesimo spedito alla Direzione delle fabbriche un rapporto generale intorno alle fabbriche nel corso dell'anno proposto, approvate con superior risoluzione, eseguite o non ancora terminate; intorno allo stato dei ponti, delle vie laterali e delle comunicazioni nel suo Circolo; non che intorno alla natura dei fiumi ed altre acque, ed intorno ai danneggiamenti rilevanti cagionati nel corso dell'anno dai medesimi»[6]. Nella realtà quotidiana, come emerge dalla lettura della documentazione d'archivio, sull'Ingegnere Circolare sembrano, tuttavia, gravare soprattutto la gestione dell'ufficio e delle relazioni con le autorità superiori e locali e l'organizzazione e la supervisione dei compiti affidati al personale subalterno; frequenti sono, inoltre, i sopralluoghi e le visite che deve periodicamente effettuare in tutto il territorio di sua competenza. All'Ingegnere aggiunto, che ne assume le veci in caso di assenza o malattia, spettano invece per lo più l'elaborazione di specifici progetti e la direzione dei cantieri, mentre la principale occupazione dei Maestri stradali consiste «nel dirigere, e sorvegliare i lavori stradali, e nel disbrigo di affari a questi relativi»; i praticanti, infine, sono prevalentemente impiegati in rilievi tecnici e ad essi risultano talvolta affiancati alcuni "alunni", a cui sono affidate mansioni minori quali la copiatura di disegni e documenti[7]. Vi sono però funzionari che già in occasione dell'incarico di Maestro stradale o di disegnatore presso la Direzione provinciale si cimentano anche in progetti di architettura; è questo il caso, ad esempio, di Leopoldo de Claricini-Dornpacher (1812-1888)[8], autore di numerose chiese sparse in tutto il territorio trentino e criticate per lo «stile freddamente accademico, con motivi derivati dalle opere dei trattatisti cinquecenteschi, tipiche costruzioni create nell'ambito di uffici governativi», senza alcuna attenzione per il contesto (Rasmo, 1982)[9]. In generale, le opere a carattere pubblico promosse dall'amministrazione centrale e realizzate attraverso gli uffici circolari tendono ad avere uno stile riconoscibile in tutte le regioni dell'impero asburgico, così da identificarne facilmente la committenza (Campolongo e Volpi, 2019).

Figure di spicco dell'ufficio tecnico dell'i.r. Capitanato Circolare di Trento

Nel lungo arco temporale in cui ricopre il ruolo di Ingegnere Circolare a Trento, indicativamente dal 1804 al 1840, considerando anche le funzioni analoghe che svolge sotto le dominazioni bavara e italica[10], Giuseppe Maria Ducati (1778-1858) appare come una figura di una certa importanza soprattutto per la diffusione e la crescita di una coscienza di difesa del territorio (Cerato, 2017). Egli sostiene che in

tutta la provincia del Tirolo, «e forse anche in tutta la Monarchia» non esiste «nissun Circolo, in cui vi siano tanti terribili torrenti, oltre il fiume Adige, tanti Comprensorj, e tante Delegazioni, che somministrano per l'indole irrequieta e litigiosa del suddito giornalmente immensi affari, tanti oggetti di fabbriche comunali, di strade ponti chiese e scuole, e fienili, tante fabbriche erariali, e demaniali come in questo nostro Circolo», così come confermato, ad esempio, dall'elenco dei numerosi lavori in corso redatto nel 1829[11]. Per questo continue sono le «suppliche e rimostranze» che l'Ingegnere Circolare presenta alle autorità superiori al fine di «far conoscere l'impossibilità di supplire col personale accordato agli affari» dell'ufficio e «ottenere una migliore organizzazione ed assistenza», in particolare con la nomina di un secondo aggiunto «che sappia anche le lingue», come avverrà nel 1834.

Ducati realizza diversi interventi sulla viabilità di lunghi tronchi di strade in tutta la provincia e, dopo il suo pensionamento, continua ancora a fornire indicazioni riguardo lo stato di conservazione delle strade della città di Trento[12]. Affronta inoltre, a più riprese, la questione della sistemazione idraulica della valle dell'Adige, progettando alcuni tagli del fiume a sud di Trento e le bonifiche dei terreni paludosi. Predispone anche un piano generale finalizzato alla risoluzione dei problemi causati dal torrente Fersina, tramite opere e lavori da effettuare nel suo intero bacino; è infatti convinto della necessità di intervenire sugli affluenti dell'Adige in modo da limitare l'apporto di trasporto solido, al quale contribuiscono la presenza di zone franose nelle valli, non sotto controllo, e la situazione di incuria in cui si trovano alcuni boschi (Cerato, 2017). Poche sono invece le architetture ascrivibili a un suo diretto coinvolgimento in qualità di progettista; di queste solo la fabbrica neoclassica del teatro sociale di Trento (1817-19), di cui è anche direttore dei lavori, le proposte per il nuovo cimitero (1818-19) (San Giuseppe, 1985-86) e la sistemazione del cinquecentesco palazzo a Prato a residenza vescovile (1824-25) appaiono di una qualche rilevanza.

Tra i più fidati subalterni di Ducati vi è l'ingegnere Gian Antonio Bassi (1783-1865), impiegato presso il Capitanato Circolare prima come Ingegnere aggiunto e quindi come Maestro stradale, incarico che ricopre a Trento, a Pergine e a Borgo Valsugana, a quanto pare fino al 1858[13]. Bassi si occupa anche della regolazione di torrenti, di concerto con l'Ispettore forestale, un altro tecnico al servizio dell'i.r. amministrazione, e di arginature, oltre che di progetti di architettura, quali la ricostruzione finale in tardo stile neoclassico del municipio di Trento (1836-37), il disegno di un'apertura con barriera sulla sezione della Porta di S. Croce e il progetto della chiesa e canonica della Vela, successivamente realizzato dall'Ingegnere Civico Gian Antonio Caminada (Rasmo, 1998).

Il più valente collaboratore di Ducati è, tuttavia, Giuseppe Pietro Dal Bosco (1798-1880), il quale, dopo gli anni di praticantato svolto prima a Trento (1818-21) e quindi presso la Direzione delle pubbliche costruzioni di Innsbruck (1822-23), lo affianca come Ingegnere aggiunto fino al 1836. Oltre alla costruzione e sistemazione

di un certo numero di strade e ad alcuni progetti di ponti, numerosi sono soprattutto gli interventi a scala urbana o a carattere architettonico che lo vedono impegnato durante il suo servizio a Trento, che riguardano luoghi ed edifici significativi della città e che comprendono anche la riconversione delle strutture conventuali passate all'Erario pubblico: i progetti per l'area meridionale della città, la costruzione del monumentale cimitero neoclassico (1824-29), alcune soluzioni per il disegno della facciata del municipio oscillanti tra un'impronta neopalladiana e un freddo neoclassicismo (1828-36), l'ampliamento dell'ex convento dei Gesuiti a uso di seminario vescovile con la demolizione della seicentesca chiesa della Madonna del Carmine (1829-30, 1835), la ristrutturazione del monastero delle Clarisse in S. Croce a uso di ospedale civico (1830), il restauro della Prepositura (1831), la parziale demolizione della Ca' di Dio (1831), il progetto della facciata della chiesa di S. Margherita (1831), l'adattamento del convento in via S. Trinità a uso di residenza vescovile (1833), oltre alle proposte di "riforma della Piazza Grande", che prevedevano di lastricare in pietra l'attuale piazza del Duomo oppure di inserirvi una cortina arborea di separazione tra la parte civile e quella religiosa[14]. Dopo alcuni anni trascorsi in val Pusteria con il ruolo di Ingegnere Circolare (1839-43) e a Innsbruck presso l'i.r. Direzione provinciale, nel 1850 Dal Bosco ritorna a Trento come Ispettore, a capo del locale Ufficio delle pubbliche costruzioni, occupandosi nuovamente di progetti di una certa importanza quali la fabbrica dell'i.r. Senato della Corte di Giustizia del Tirolo e Vorarlberg in città (1851) e la proposta di abbattimento di parte delle mura civiche presso la Porta Nuova, elaborata insieme all'imprenditore Francesco Ranzi (1852)[15]. Secondo Rasmo la realizzazione più significativa di Dal Bosco è tuttavia la chiesa dell'Addolorata a Cavalese (1825-29), la cui eleganza neoclassica, raggiunta attraverso l'adozione delle forme di un tempio classico *in antis* con colonne ioniche, non è riscontrabile nelle costruzioni ecclesiastiche successive (Rasmo, 1982).

Un'altra figura di rilievo, benché impiegato per periodo di tempo limitato presso il Capitanato Circolare di Trento (1834-38) in qualità di Ingegnere aggiunto, è Leonhard Liebener (1800-1869), cui si devono uno dei progetti di sistemazione e ampliamento dall'ospedale civico in S. Croce, alcune proposte per la nuova Porta Maria Teresa (in sostituzione della Porta di S. Croce) e il progetto di trasformazione dell'ex convento di S. Trinità in residenza vescovile e liceo-ginnasio. Nominato Ingegnere Circolare a Imst, dal 1848 è a capo della Direzione delle pubbliche costruzioni e attua la riorganizzazione del Servizio Costruzioni e del Genio Civile per il Tirolo e Vorarlberg. È inoltre l'autore di un piano di sistemazione del bacino del Fersina, che nel 1840 riprende quanto proposto precedentemente da Ducati, di alcuni interventi sul corso dell'Adige quali i tagli di Nomi e Marco, e di opere stradali di una certa rilevanza tra cui la strada del Brennero. Partecipa infine alla redazione della prima carta geognostica del Tirolo e quale esperto di geologia e mineralogia vede il suo nome legato alla scoperta di diversi minerali (Hohenauer, 1969).

Nel 1841 è invece Floriano Menapace a sostituire Ducati quale Ingegnere Circolare a Trento. Menapace dimostra che la carriera dell'Ingegnere Circolare inizia dal praticantato presso l'i.r. Direzione provinciale, con la possibilità di essere inviato in Circoli diversi, e prosegue prima come Maestro stradale e successivamente come Ingegnere aggiunto fino ad arrivare al massimo ruolo. Sua è la costruzione tra il 1845 e il 1847, del primo ponte sull'Adige nel Trentino meridionale, a Villa Lagarina, caratterizzato da una struttura in legno a tre campate posta su testate e pilastri in pietra. Tra le altre opere importanti portate a compimento sotto la sua direzione vi sono inoltre, a Trento, la realizzazione del vasto invaso della nuova piazza d'Armi, in prossimità del Castello del Buonconsiglio (1849), e del liceo-ginnasio in via S. Trinità (1844-48), cui avevano lavorato in precedenza Dal Bosco e Liebener (de Finis, 1987), oltre all'elaborazione di un piano dell'Adige all'imboccatura del Fersina, con l'indicazione della deviazione del torrente da attuare (1846). Menapace è l'ultimo Ingegnere Circolare di Trento. Con l'emanazione, infatti, della sovrana risoluzione del 15 dicembre 1849 da parte del Ministro per il commercio, l'industria e le pubbliche costruzioni, il servizio di Ingegnere Circolare e Commissario stradale viene soppresso, e per i territori dei Circoli vengono istituiti i relativi Uffici per le pubbliche costruzioni[16]. L'Ufficio di Trento, la cui direzione è affidata a Dal Bosco con la funzione di Ispettore, coadiuvato dall'Ingegnere di prima classe Joseph Meusburger, inizia la sua attività il 6 febbraio 1850[17].

L'Ingegnere Civico: un funzionario al servizio della città

In più occasioni Ducati si lamenta della mole di lavori che gravano sul suo ufficio, alcuni dei quali di competenza dell'Ingegnere Civico, cui spetterebbero «tutte le fabbriche pubbliche comunali»[18]. «Se la città di Trento», scrive ad esempio nel 1829, «avesse un ingegnere di fatto, non solo di nome, potrebbe questo occuparsi di tutti i progetti anche d'importanza – quali la sede municipale oppure l'ospedale – e ne sarebbe con ciò alleggerito in qualche parte l'Ingegnere Circolare: ma come si può pretendere, che questa città ottenga un ingegnere di capacità, atto ad estendere colle prescritte norme un progetto qualunque di fabbrica con un annuo salario di 200 f. con quasi nissun'altro provento secondario?»[19]. Stando dunque a quanto affermato da Ducati, l'ingegnere allora in servizio presso il Magistrato politico-economico, Gian Antonio Caminada, sembrerebbe non avere la preparazione e l'esperienza necessarie per l'elaborazione di alcuni progetti, per i quali gli viene preferito il personale dell'ufficio tecnico circolare, in particolare l'Ingegnere aggiunto Dal Bosco (San Giuseppe, 1985-86). Non a caso, di Caminada, che rimane in carica almeno dal 1813 al 1839, quando presenta domanda di pensionamento anticipato per ragioni di salute[20], è ricordata soprattutto l'elegante casa che costruisce per sé in largo Carducci a Trento nel 1834 (Rasmo, 1982; Pasetti Medin, 2003).

Secondo quanto riportato nella Proposta d'istruzione sui doveri e sulle attribuzioni del nuovo ingegnere di questo Magistrato politico-economico, accordata con de-

creto della Cancelleria aulica del 21 giugno 1839, l'Ingegnere Civico ha il compito di occuparsi di «tutti gli oggetti di fabbriche, acque e strade, in quanto che riflettano direttamente od indirettamente l'interesse del comune o di fondi locali di beneficenza, l'obbligo dell'intervento nella cancelleria magistratale entro l'ore normali d'ufficio, la cura sulla conservazione dei fabbricati e degli utensili differenti di proprietà comunale, finalmente la disamina di progetti di fabbriche presentati da privati e la sorveglianza sulla regolare loro esecuzione». La sua nomina, nel 1839 e nel 1843 esito di un concorso, deve essere confermata dal Capitanato Circolare e comporta il giuramento «di usar attenta sorveglianza a tutte le strade comunali di questo distretto, agli argini dei comuni lungo l'Adige, ai muri dei rivi, ai tubi conducenti l'acqua da bere, di accudire a tutte le fabbriche e realtà appartenenti alla città, ed ai suoi comuni, nonché a quelle della Congregazione della Carità, così pure alle chiese di patronato comunale, ai cimiteri, alle canoniche, ai locali delle scuole elementari, e rurali; [… di custodire sotto propria responsabilità tutti i materiali di fabbrica di spettanza del magistrato, di far tenere in costante perfetto stato le macchine idrauliche e gl'istrumenti per l'estinzione degli incendi, di rassegnare annualmente un dettagliato preliminare sulle spese occorribili per le necessarie riparazioni, adattazioni di strade, ripari, condotti […, di sorvegliare ogni opera o fabbrica comunale con assiduità […di non operare collegato con alcuna secreta società». L'Ingegnere Civico, al quale è richiesta la conoscenza della lingua tedesca, è affiancato da un Ispettore ai lavori, «atto all'ispezione, sorveglianza e direzione dell'esecuzione dei progetti di fabbriche estese dall'Ingegnere Civico»[21], e in qualche caso da un praticante. Almeno dal 1838, la Congregazione di Carità contribuisce al suo salario, chiedendo in cambio l'«estensione di singoli preventivi di fabbriche nuove, di ristauri di fabbriche e muri di campagna», con eventuali collaudi e ispezioni, una visita annuale alle campagne e una visita semestrale ai fabbricati[22].

Dopo il pensionamento di Caminada, è nominato Ingegnere Civico Giovanni Rossetti, originario di Venezia. Grazie alla documentazione che presenta in occasione del concorso del 1839, è nota la sua formazione: ha conseguito il diploma di dottore ingegnere architetto presso l'Università di Padova ed è stato ingegnere praticante presso l'i.r. Ufficio provinciale delle pubbliche costruzioni, prima a Venezia e quindi a Belluno, occupandosi di opere idrauliche, fabbriche e lavori stradali. Rimane in carica per soli tre anni, fino al momento in cui è nominato Ingegnere di seconda classe per le strade ferrate (1843). Gli succede il perito geometra Paolo Leonardi, al servizio del Municipio di Trento per più di trent'anni, fino al 1870, quando è costretto al pensionamento anticipato perché, privo della patente di ingegnere civile, secondo il nuovo regolamento comunale in vigore non risulta abilitato a ricoprire il ruolo di capo della sezione edile.

Caminada, Rossetti e Leonardi sono i tecnici ai quali il conte Benedetto Giovanelli, colto e illuminato podestà di Trento dal 1816 al 1846, può affidarsi per

l'attuazione dei progetti di trasformazione in senso moderno della città, a partire da modelli illuministici e neoclassici. Non tutte le proposte, che prevedono in alcuni casi l'abbattimento di mura e porte urbiche (Giovanelli, 1871), e che, trattandosi di lavori pubblici, necessitano dell'avvallo e della collaborazione degli uffici circolari, trovano tuttavia realizzazione. In generale, il linguaggio architettonico che contraddistingue la maggior parte dei nuovi interventi promossi a livello municipale, ha lo scopo dichiarato di contribuire alla creazione di un'immagine urbana unitaria, che affonda le sue radici nel Rinascimento italiano, ripreso anche nelle opere dei secoli successivi, e nell'utilizzo di materiali lapidei di provenienza locale (Pasetti Medin, 2003), e cui concorrono anche il disegno e la pavimentazione di vie e piazze. Solo con la soppressione del Capitanato Circolare di Trento e con la nomina di Leonardi, le responsabilità a livello progettuale degli Ingegneri Civici appaiono maggiori, come si evince, ad esempio, in alcuni interventi a carattere urbano, fra cui spicca la realizzazione, nel 1850, del primo giardino pubblico della città, un boschetto all'inglese in prossimità della piazza d'Armi, da poco ultimata (Campolongo e Volpi, 2019). Una maggiore partecipazione delle istituzioni municipali ai lavori pubblici è legata, inoltre, alla costituzione di un apposito "comitato d'ordine", di cui il Consiglio comunale si avvale per studiare le proposte dei cittadini in merito alla gestione delle infrastrutture pubbliche, all'ornato e pubbliche insegne, agli esercizi di arti e mestieri (Cagol e Groff, 2013). Leonardi è successivamente l'autore dei progetti per un conveniente accesso al nuovo tribunale (1850), per una nuova contrada da Porta Nuova a Port'Aquila (1852), per la quale propone anche un maestoso accesso (1866), per la sistemazione dell'ingresso all'ospedale (1865) e per la copertura della roggia nella piazza del Duomo (1867).

Saranno tuttavia gli ingegneri che ne prenderanno il posto, Ludovico Weiss (dal 1870 al 1891) e Annibale Apollonio (dal 1891 al 1911) a contribuire in maniera significativa alla configurazione dei luoghi destinati ad assumere nuova importanza a livello urbano nella seconda metà dell'Ottocento a cominciare dall'area di Centa interessata dallo spostamento del corso dell'Adige e dalla costruzione della stazione ferroviaria, e dai nuovi quartieri per l'espansione della città, in linea con il rinnovamento promosso dal podestà Paolo Oss Mazzurana, che nell'ultimo quarto del secolo cerca di dotare la città dei necessari servizi e infrastrutture moderne (Bocchi, 1983; Mezzena, 1983).

Un nuovo ingresso da Verona. Il ruolo di Ingegneri Civici e Circolari nel disegno degli spazi pubblici della città ottocentesca

Nel secondo quarto dell'Ottocento, che, come detto, vede la compresenza a Trento dei funzionari dell'ufficio tecnico del Circolo e dei tecnici che si succedono nella carica di Ingegnere Civico, oggetto di particolare attenzione dal punto di vista della progettazione di fabbriche e spazi pubblici risultano le aree meridionali esterne alla

cinta urbica, in corrispondenza dell'accesso alla città dalla strada postale che collega Trento a Rovereto e quindi a Verona, e del palazzo delle Albere. Qui Dal Bosco, con l'apporto di Ducati, negli anni venti immagina nuovi luoghi a carattere collettivo, destinati al tempo libero e «deputati all'autorappresentazione della nascente borghesia» (Bocchi e Oradini, 1983). È questo il caso del complesso progetto per la zona delle Albere, comprendente un nuovo maestoso collegamento tra la città e l'edificio tardo-rinascimentale, nella configurazione proposta adibito «ad uso di bagni, caffetteria, trattoria e con sale di divertimento» e collocato al centro di una piazza circolare, delimitata da due filari di alberi e destinata al passeggio oppure a pubblici spettacoli; accanto alla nuova piazza sono previsti vari giardini, contraddistinti da un'impostazione geometrica, "all'italiana" verso nord, i "Campi Elisi", e con un carattere maggiormente paesaggistico verso sud, «alla maniera degli antichi romani con prateria, laghetto, ruscelli, boschi, monticelli, cespugli, viali, piazzette» (Pasetti Medin, 2001). Un'impronta stilistica simile è ravvisabile nella proposta di viali alberati da collocare lungo la strada postale tra il ponte sul torrente Fersina e la Porta di S. Croce in piazza della Fiera e tra quest'ultima e quella che sarà la successiva piazza d'Armi. L'"utopismo illuministico" e l'"elevato impegno di spesa" che caratterizzano questi progetti a grande scala ne impediscono tuttavia la realizzazione (Pasetti Medin, 2003). A geometrico giardino all'italiana vengono pensati inoltre gli spazi adiacenti all'ospedale civico, ricavato nell'ex convento delle Clarisse in S. Croce, ai cui lavori di sistemazione partecipano a più riprese, tra il 1830 e il 1840, per l'ufficio tecnico del Capitanato Circolare Dal Bosco, Liebener e Menapace, e per l'amministrazione comunale Caminada, in qualità sia di Ingegnere Civico che di costruttore (Longo, 1980), e Leonardi, per il disegno del nuovo accesso dalla strada postale.

Se i progetti di Dal Bosco per le aree a sud della cinta urbica hanno un carattere prevalentemente ideale, le vicende relative all'abbattimento della medievale Porta di S. Croce, restaurata alla fine del XVI secolo in conseguenza dell'arginatura dal torrente Fersina che fino a pochi anni prima la lambiva[23], presentano risvolti di natura più funzionale e concreta, oltre che rappresentativa, e vedono, per quasi un decennio, il contemporaneo coinvolgimento di tecnici comunali e circolari.

Al 1836 risale il «progetto d'un'apertura con barriera da erigersi all'ingresso di questa città sulla sezione di Porta S. Croce affine di rendere libero, comodo e sicuro il passaggio postale in quell'angusta e pericolosa situazione» che Bassi, in qualità di Maestro stradale, elabora su incarico di Ducati insieme all'Ingegnere Civico Caminada, qui in Figura 1. Già da tempo appariva, infatti, necessario e conveniente l'allargamento della porta, «per cui col pubblico ornato sia combinato l'allontanamento del pericolo proveniente dall'angustia di quell'ingresso» e a tale scopo viene avviata parallelamente una sottoscrizione pubblica che raccoglie i contributi volontari di numerosi cittadini, incluso lo stesso tecnico municipale. La struttura viene demolita l'anno seguente con l'intento di costruire un arco trionfale per le nozze di Ferdinando

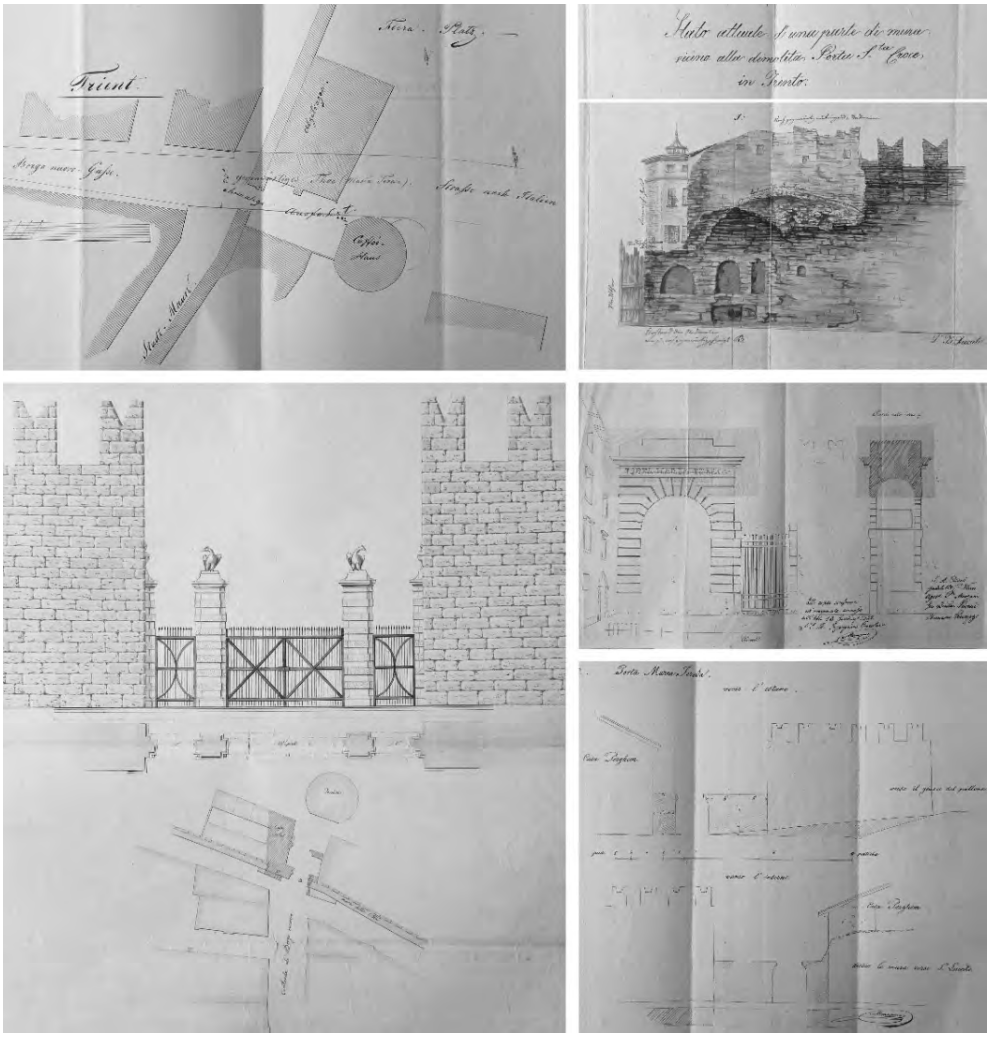


Fig. 1 – Trento: Porta di S. Croce/Porta Maria Teresa nel 1838 (in alto); progetti di G.A. Bassi e G.A. Caminada, 1836 (a sinistra, in basso) e di F. Menapace, 1842 e 1844 (a destra, al centro e in basso) (ASCTn, 3.8 – V.141.1855).

II di Borbone con Maria Teresa d'Austria, alla quale la città vuole dedicare la nuova porta (Rasmo, 1935). Dopo la soluzione abbozzata dall'Ingegnere aggiunto Franz Schweighofer[24], nel 1838, su suggerimento del podestà Giovanelli, l'altro aggiunto Liebener viene inviato a Verona e a Brescia per studiare alcuni esempi di barriere realizzate nelle due città; al suo ritorno presenta tre progetti, forse influenzati dalle due ipotesi, l'una a foggia di barriera e l'altra come porta monumentale, elaborate

da Rodolfo Vantini, l'architetto di fiducia della famiglia trentina dei Thun, incontrato a Brescia. Il primo progetto di Liebener consiste in due portoni d'ordine dorico sormontati da un attico con emblemi, ornati e iscrizioni, il secondo in un edificio maestoso, dotato di spazi per le guardie, l'ufficio di Finanza e la Pesa, e pilastri atti al sostegno dei cancelli, e il terzo simile al precedente se non per la presenza di un porticato in corrispondenza di entrambi i prospetti. A causa del perdurare delle opposizioni mosse dai proprietari dei due edifici attigui alle mura che avrebbero dovuto essere in parte demoliti, ma anche di questioni di natura stilistica e soprattutto economica, nonostante le modifiche apportate al progetto da Liebener nel 1839 in base alle indicazioni del Consiglio aulico delle fabbriche e le successive "idee di barriera" dell'Ingegnere Civico Rossetti, ancora nel 1844 si discute sulla «spesa occorribile per eseguire vari lavori indispensabili, onde aprire compiutamente la muraglia civica a Porta Maria Teresa». A occuparsi del progetto è ora il nuovo Ingegnere Circolare Menapace, il quale già da due anni sta collaborando con le autorità comunali e l'Ingegnere Civico Leonardi e in ultima istanza predispone semplicemente la «demolizione d'un tronco di mura di procinto a Porta Maria Teresa», la «regolare riduzione delle pareti laterali al vacuo che rimane» e il «proposto parziale appianamento a di fuori della porta», rinunciando dunque a qualunque carattere rappresentativo o monumentale per l'accesso alla città da Verona[25]. Non trova alcun seguito nemmeno la conversione delle «mura di procinto scarnate» in «facciate di comode e sane case prospicienti sulla Fiera», immaginata dal podestà Giovanelli, «una idea bellissima ed originale: introdurre nella vera vita attiva e rendere in qualche modo redditizi, resti antichi!», come sarà giudicata un secolo più tardi dall'architetto e pittore trentino Giorgio Wenter Marini (Wenter Marini, 1921).

Quanto piazza della Fiera con il tratto di mura urbiche che la costeggiano rimanga un luogo a lungo irrisolto nel tessuto urbano nel corso di tutto l'Ottocento è testimoniato dall'ultima proposta di Leonardi, il quale nel 1886, ormai da tempo in pensione, ne delinea un ampliamento e una sistemazione volti sempre a sottolinearne il carattere di spazio pubblico per il passeggio e il loisir.

Conclusioni

L'intervento sulla Porta di S. Croce è soltanto uno degli episodi che consentono di mettere in evidenza il ruolo svolto dai diversi funzionari del governo centrale e dell'amministrazione municipale che si trovano a operare a Trento nel secondo quarto dell'Ottocento e che rappresentano una peculiarità dei territori assoggettati agli Asburgo. Se la formazione scolastica e le precise competenze di questi tecnici sono ancora da approfondire, le modalità con cui assurgono al loro incarico sembrano chiare: la qualifica di Ingegnere Circolare è, infatti, l'esito di una lunga e faticosa progressione di carriera all'interno degli uffici tecnici imperiali, mentre l'Ingegnere Civico viene scelto attraverso un concorso, in cui vengono tenuti in conto titoli e re-

ferenze presentate. Con il loro operato, entrambe le figure hanno sicuramente influito in maniera significativa sull'immagine della città e sulla gestione del suo territorio, come alcune architetture e alcuni interventi di carattere prettamente ingegneristico, qui brevemente trattati, dimostrano.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata sviluppata nell'ambito del Progetto di Interesse Nazionale – PRIN 2017 "Stone pavements. History, conservation, valorisation and design" (20174JW7ZL) finanziato dal Ministero della Pubblica Istruzione, Università e Ricerca (MIUR, oggi MUR) del Governo Italiano.

Le autrici ringraziano, in particolare, Franco Cagol e il personale dell'Archivio storico del Comune di Trento.

Bibliografia

Au Fiore L. (a cura di). 1985. *Leopoldo Claricini Dornpacher*. Monfalcone: Edizioni della Laguna.

Bocchi R. 1983. Forma urbana e ruolo delle istituzioni municipali nei processi di sviluppo della città moderna. Trento nell'età del podestà Paolo Oss Mazzurana. Studi Trentini di Scienze Storiche, II, 1, 109-132.

Bocchi R., Oradini C. 1983. *Le città nella storia d'Italia. Trento*. Roma-Bari: Laterza.

Cagol F., Groff S. (a cura di). 2013. *La città di Trento nel Risorgimento europeo*. Trento: Comune di Trento.

Campolongo F., Volpi C. 2019. Largo Porta Nuova in Trento. Urban Space and Stage for Political Representation. In: *Planen und Bauen im Grenzraum/Planning and Building in Border Regions* (a cura di K. Tragbar e V. Ziegler). Innsbrucker Beiträge zur Baugeschichte, Band 1. 125-139. Berlin-Münich: Deutscher Kunstverlag.

Cerato M. 2017. *La stabilità dell'equilibrio. L'ingegnere Giuseppe Maria Ducati e il tema della difesa del suolo in area trentina nel corso dell'Ottocento*. Trento: Fondazione Museo Storico del Trentino.

Corsini U. 1963. *Il Trentino nel secolo decimonono*. I (1796-1848). Rovereto: Manfrini.

de Finis L. 1987. *Dai maestri di grammatica al Ginnasio Liceo di via S. Trinità in Trento*. Trento: Società di Studi Trentini di Scienze Storiche.

Garbari M. 2003. Aspetti politico-istituzionali di una regione di frontiera. In: *Storia del Trentino. V. L'età contemporanea 1803-1918* (a cura di M. Garbari e A. Leonardi). 13-164. Bologna: Il Mulino.

Giovanelli B. 1871. *Ricordi del conte Benedetto Giovanelli Podestà di Trento (dal 1815 al 1846) al suo successore.* Trento: Tip. Edit. Marietti.

Hohenauer G. 1969. Leonhard von Liebener, der Tiroler Geologe und Mineraloge, Straßen- und Brückenbauer. Zu seinem 100. Todestage am 9. Februar 1969. Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum, 49, 79-100.

Longo L. 1980. Progetti relativi all'edificio di S. Chiara di Trento conservati nell'archivio militare di Monaco di Baviera. Studi Trentini di Scienze Storiche, II, 1, 131-145.

Mezzena L. 1983. La politica urbanistica del Comune di Trento durante l'amministrazione di Paolo Oss Mazzurana. Studi Trentini di Scienze Storiche, II, 1, 133-158.

Pasetti Medin A. 2001. Per la storia del giardino a Trento tra Ottocento e primo Novecento. Studi Trentini di Scienze Storiche, II, 1-2, 149-168.
Pasetti Medin A. 2003. Architettura e decorazione dell'Ottocento. In: *Storia del Trentino. V. L'età contemporanea 1803-1918* (a cura di M. Garbari e A. Leonardi). 491-528. Bologna: Il Mulino.
Rasmo N. 1935. L'antica porta S. Croce a Trento. Trentino, 3, 80-81.
Rasmo N. 1982. *Storia dell'arte nel Trentino*. Trento: Dolomia.
Rasmo N. 1998. *Dizionario biografico degli artisti atesini*. Vol. 2B (a cura di L. Borrelli e S. Spada Pintarelli). Bolzano: s.n.
San Giuseppe C. 1985-86. *L'architetto e il funzionario. Giuseppe Pietro Dal Bosco e il cimitero monumentale di Trento*. Tesi di laurea. Università degli Studi di Padova.
Wenter Marini G. 1921. Il podestà Giovanelli e le sue idee edilizie. Alba trentina, 3, 94-97.

Note

1. Sulle vicende storico-politiche che interessano la città di Trento nella prima metà dell'Ottocento, si segnalano anche Corsini, 1963; Garbari, 2003.
2. A differenza di Trento, Rovereto era già stata sede del Circolo ai confini d'Italia, istituito nel 1754.
3. Cfr. Schematismus von Tirol und Vorarlberg. 1819-1843. Innsbruck: Wagnerischen Buchhandlung; Provinzial-Handbuch von Tirol und Vorarlberg. 1844-1848. Innsbruck: Wagnerischen Buchhandlung; Bauverordnungsblatt für das Kaiserthum Österreich. 1850. Wien: Förster; Handbuch der Behörden in Tirol und Vorarlberg. 1858. Innsbruck: Wagnerischen Buchhandlung; Handbuch der Behörden, Institute, Vereine und Anstalten in Kronlande Tirol und Vorarlberg. 1860, 1862. Innsbruck: Wagnerischen Buchhandlung.
4. Notificazione dell'i.r. Commissione aulica plenipotenziaria riguardante l'organizzazione provvisoria delle autorità politiche, e la determinazione dei principj generali per l'amministrazione interinale della parte italiana, ed illirica del Tirolo. In: *Raccolta delle leggi provinciali pel Tirolo e Vorarlberg per l'anno 1814*, I, §132, §133.
5. Per la nomina di un Ingegnere Circolare non contano solo gli «studj antecedenti» e le «cognizioni tecniche procacciatesi dai candidati», ma è necessario «siansi essi impiegati con ottimo successo per molti anni praticamente nelle costruture» (Prescrizione relativa alla nomina degl'Ingegneri Circolari. In: *Raccolta delle leggi provinciali pel Tirolo e Vorarlberg per l'anno 1817*, IV(I), CXII). Nella maggior parte dei casi non sono note le scuole frequentate dagli Ingegneri Circolari in servizio a Trento.
6. Aggiunta all'istruzione per gl'Ingegneri Circolari. In: *Raccolta delle leggi provinciali, pel Tirolo e Vorarlberg, per l'anno 1824*, 26 novembre 1824, 1080-1086.
7. Archivio di Stato, Trento [ASTn], Capitanato Circolare, Trento, b. 39.
8. Laureato al Politecnico di Vienna, Leopoldo de Claricini è anche l'autore, nel 1847, della mappa dell'Adige in 14 fogli. Lavorerà nuovamente a Trento come Ingegnere di seconda classe, secondo la nuova riorganizzazione, almeno nel 1860 e nel 1862 (Pasetti Medin, 2003; Au Fiore, 1985).
9. San Giuseppe spiega come a inizio Ottocento «la scelta di un particolare architetto non dipendeva più da questioni di stile, di assonanze ideologiche o culturali, ma si ricorreva automaticamente ad un progettista piuttosto che a un altro in base al posto da lui occupato e all'ufficio in cui era impiegato»; questo tecnico doveva rispondere al suo diretto superiore soltanto per gli aspetti di spesa e di funzionalità, e non di gusto (San Giuseppe, 1985-86).

10. Dopo due anni come praticante alla Direzione delle pubbliche costruzioni per il Tirolo e Vorarlberg e l'ammissione nel 1801 nel corpo degli i.r. ingegneri patentati, nel 1802 Ducati è nominato Ingegnere Circolare a Rovereto, in sostituzione di Isidoro de Leporini, autore nel 1774 del primo piano per la regimazione dell'Adige. Dal 1804, quando gli viene affidata la sorveglianza delle strade postali del principato di Trento, al 1806 è Ingegnere distrettuale a capo degli uffici tecnici di entrambi i Circoli, mentre dal 1806 al 1809 è Ingegnere Ispettore distrettuale e in capo sotto la Baviera e dal 1809 al 1813 Ingegnere in capo del Dipartimento dell'Alto Adige per il Regno d'Italia.
11. ASTn, Capitanato Circolare, Trento, b. 39.
12. Archivio Storico del Comune, Trento [ASCTn], 3.8 – VII. 641.1853; 3.8 – VII.96.1855.
13. È quanto riportato in *Handbuch der Behörden in Tirol und Vorarlberg*. 1858. Innsbruck: Wagnerischen Buchhandlung, benché stando alla data di nascita di Bassi indicata da Rasmo (Rasmo, 1998), nel 1858 l'ingegnere doveva avere 75 anni.
14. Biblioteca Comunale, Trento, Fondo Dal Bosco; ASCTn 3.8 – XI.363.1843.
15. ASCTn, 3.8 – VII.7.1855; 3.8 – VII.13.1853.
16. Dispaccio del Ministero del commercio, dell'industria e delle pubbliche costruzioni del 25 dicembre 1849. In: *Bollettino provinciale delle leggi e degli atti del Governo pel Tirolo e Vorarlberg*, fasc. XIII, dispensato e spedito il 25 aprile 1850, 106-108.
17. ASCTn 3.8 – XI.468.1850; *Bauverordnungsblatt für das Kaiserthum Österreich*. 1850. Wien: Förster, 33. Nel 1862 Meusburger sarà Ingegnere capo del Distretto di Trento (*Oberingenieur*).
18. ASTn, Capitanato Circolare, Trento, b. 559.
19. ASTn, Capitanato Circolare, Trento, b. 39.
20. ASCTn, 3.8 – XI.3160.1839. Caminada afferma di aver servito lo Stato sin dal 1799, inizialmente come Maestro stradale.
21. ASCTn, 3.8 – XI.3440.1843.
22. ASCTn, 3.8 – XI.3398.1841.
23. A testimonianza di ciò, fino al 1809, quando viene tolta da Ducati "per ordine superiore", in un cassone sopra la Porta di S. Croce era presente una ferrata: nel caso di piena del torrente Fersina, la ferrata si lasciava cadere dall'alto per proteggere la città dall'ingresso di sassi o ghiaia a grana grossa e, tramite opere interne, impedire anche l'afflusso delle acque (Cerato, 2017).
24. Schweighofer è Ingegnere aggiunto presso il Capitanato Circolare di Trento dal 1837 al 1838; l'anno successivo è invece impiegato presso il Circolo dell'Adige.
25. Tutte le citazioni sono tratte dalla documentazione relativa ai progetti conservata in: ASCTn, 3.8 – V.141.1855. Delle proposte di Liebener esiste soltanto la descrizione.

Elena Gianasso

La patente di ingegnere. Sapere tecnico e pratica professionale nel Piemonte d'Ancien Régime (1566-1724)

The "patente" of engineer. Technical knowledge and professional practise in Piedmont in the Ancien Régime (1566-1724)

Sommario

Il sapere tecnico che ha costruito la città-capitale, nella definizione già discussa da Argan, e il suo intorno ha a lungo dialogato con la figura dell'ingegnere e con l'esercizio di una professione non sempre, e non solo, definita da occupazioni in ambito militare. Nel Piemonte di Ancien Régime, è noto, l'ingegnere lavora a lungo in edilizia, occupandosi pure di Architettura, nell'accezione di fabbriche dei duchi di Savoia, restituendo esiti che definiscono l'immagine di Torino e del ducato poi del regno sabaudo. Le sue competenze professionali sono spesso riconosciute dalla committenza a fronte dell'attività svolta, anche prima della "patente" di nomina a "ingegnere", ossia del provvedimento ducale, poi regio, che riconosce un titolo e attribuisce a figure di nota capacità tecnica uno specifico incarico. Non molti studi hanno permesso di evidenziare anche l'impegno assunto da ingegneri patentati per autorizzare l'esercizio della pratica professionale di soprastanti alle fabbriche, misuratori, estimatori e pure altri ingegneri. Essenziale è il confronto con il Consiglio delle Fabbriche e Fortificazioni, organo di governo incaricato di sovrintendere alla costruzione dell'Architettura ma poi autorità in materia di edilizia, e con il potere locale, la Municipalità che, di fatto, è spesso la mano operativa che costruisce parti di città e territorio. È in questo contesto che emergono figure ancora poco studiate, tra cui Rocco Antonio Rubatto e il figlio Giuseppe che, tra il secondo Seicento e il Settecento, sono ingegneri patentati impegnati tra lo Stato e il Comune che, oltre ad abilitare all'esercizio della pratica professionale, coordinano cantieri che, disegnando il territorio di un regno riconosciuto sulla scena europea, restituiscono competenze in ambito militare, ma anche saperi di idraulica, edilizia, urbanistica, basi solide, ampie, per il progressivo definirsi di un titolo in materia civile. Nel 1724, poi, un regolamento dedicato alla figura dell'ingegnere scrive un quadro intermedio tra la frammentazione seicentesca e l'Ottocento.

Abstract
The technical knowledge for building a "capital city", a locution already published by Argan's in the Sixties, dialogues since time with the engineer, a professional figure not always et not only busied in military works. During the *Ancien* Régime, in Piemonte, the engineer usually works in the construction industry, dealing with the Architecture – in the meaning published in the historical sources about Savoia's buildings - drawing the image of Torino, of the dukedom and then of the kingdom of Savoy. His professional skills and competences are often conferred by the client for or after a works, sometimes before the so-called *patente* of engineer, a ducal – then royal – measure that certified the title of engineer to qualified individuals, frequently for a specific work. Not many studies underline the role of certified engineer like *soprastanti le fabbriche*, architect in chief, measurers or appraisers.It is essential to compare the Municipality with the *Consiglio delle Fabbriche e Fortificazioni*, a board that was established to verify the buildings of Savoy's family, which later became an authority in civil and military constructions building sites. The local Authority, in fact, is often the operative institution that really built the city and the area around it. Between Seventeenth and Eighteenth century, in this context, stand out Rocco Antonio Rubatto and his son Giuseppe, little-known engineers with "*patente*", that is certified engineers, who worked for the central and the local Authority, for the State and the Municipality. In addition to conferring professional qualifications, they work in many construction sites, drawing the image of an European kingdom, with competences and skills in military works and in hydraulic, construction industry, urban planning, basis for the title of civil engineer. A complex situation, it's rearranged by a specific regulation around the profession of engineer which was, in 1724, an intermediate act between the Seventeenth-century fragmentation and the Eighteenth century.

Introduzione
«Patens nude pro Literae patentess». «Literae patentes, id est, Apertae et in totam papyri vel pergameni latitudinem expansae, quae Clausis opponebantur, cum iste sigillo publico, hae sigillo quos Sercreti vocabant, sigillarentur; vulgo: Lettres patentes» (du Cange, 1883-1887: 209, 124). Le definizioni che Charles du Cange pubblica sul finire dell'Ottocento per illustrare il significato, in ambito giuridico, del termine "patente" e della locuzione da cui deriva, "lettere patenti", sintetizza bene il valore di documenti che, per loro insita natura, sono emanati per attribuire incarichi, pagamenti o altro diventando, con riferimento alle professioni tecniche, strumenti utili a riconoscere abilità, capacità e competenze spesso molto specifiche. Nel Piemonte d'*Ancien Régime*, la patente che riconosce un sapere, o più saperi, nell'ingegneria si lega inizialmente a figure impegnate in ambito militare, chiamate

a occuparsi di opere intorno alle fortificazioni, professionisti che, tuttavia, ricevono spesso contemporaneamente incarichi di ingegneria idraulica, progettazione urbanistica, architettura ed edilizia, segnali del progressivo configurarsi di un'idoneità anche in materia civile.

La "patente" di ingegnere: sapere tecnico per la corte e per lo Stato

«Il zelo che dimostra al servizio n[os]tro Giulio Cesare Bessone, e la capacità, l'habilità, ed isperienze che in lui concorrono per la proffessione d'Ingegnere invitandoci a compartirgli gli effetti del n[os]tre grazie, ci siamo compiaciuti ad accordargli il Carico d'Ingeg[ne]re n[ost]ro. Onde con le presenti di n[ost]ra mano firmare, [perciò] di nostra certa scienza, piena presenza, ed autorità assoluta col parere del n[ost]ro Consiglio abbiamo creato eletto, costituito e deputato, creiamo eleggiamo constituiamo deputiamo il sudetto Giulio Cesare Bessone n[ost]ro Ingegnere con tutti gli honori, autorità pre-eminenze prerogative, privileggi, utili dritti regaglie, ed altre cose che ne dipendono, e con la paga di lire mille duecento d'arg[ento] […] con che presti il dovuto giuramento. Mandiamo pertanto e commandiamo a tutti li n[ost]ri Magistrati, Ministri Ufficiali sia di giustizia che di guerra, ad ogni altro […] spediente, ed in particolare al n[os]tro primo Ingegnere il Collonelo Ghibert di riceverlo, riconoscere, stimare, e riputarlo per Inge[gne]re da noi come sovra constituito […]. Torino li 29 marzo 1694»[1].

Nel Piemonte sabaudo d'*Ancien Régime*, il documento che nomina Giulio Cesare Bessone ingegnere ducale nel 1694 evidenzia subito la necessità di dimostrare specifiche capacità, abilità e pratica per esercitare la professione di ingegnere, sottolineando pure il necessario riconoscimento da parte del primo ingegnere ducale. Professionista retribuito ancora nel 1695 e nel 1696 (Comoli Mandracci, 2002: 475), citato dalla bibliografia come figura impegnata nella costruzione di fortificazioni (Brayda et al., 1963: 17), Bessone è riconosciuto come autore di una interessante *Pianta di Torino*[2] che restituisce un disegno puntuale della città e del territorio circostante la capitale, raffigurando la zona produttiva di Borgo Dora e alcune residenze della Corona di delizie, di proprietà ducale (Macco e Romano, 1989: 320). Emergono subito, scorrendo l'ancora breve suo profilo professionale, competenze diverse, legate da un sapere tecnico in ambito perlopiù militare.

È noto che nel ducato sabaudo, già nei primi anni del regno di Vittorio Amedeo II, la distinzione tra il militare professionista e l'ingegnere di guerra appare quasi inesistente, a tratti sfumata, mai evidenziata quasi certamente perché pratica diffusa. Carlo Promis, nei suoi studi sul tema pubblicati nel 1871, ricorda la coincidenza tra le due figure: «è cosa nota come sino circa l'anno 1650 in uno stesso individuo si accomunassero l'ingegnere e l'artigliere e (quanto più si risale ai tempi anteriori) vi fosser unite eziandio le professioni di armaiolo, polverista e meccanico, e che l'uomo stesso adoprava allora le piccole e le grandi artiglierie, dopo averle fuse, fabbricatane

la polvere, curatine i carri ed i letti. Compiva poi tutte le parti dell'ingegnere, chi provvedeva altresì alle piante delle fortezze ed a contrarle, come altresì la lor espugnazone e difesa; tutto ciò tanto all'età dell'artiglierie antiche, quanto nei primordii di quelle a fuoco» (Promis, 1871: 414). Scorrendo le patenti di nomina, infatti, si riconoscono figure che ricoprono incarichi militari chiamate a occuparsi di fortificazioni da progettare, costruire, consolidare e disegnare in interessanti tavole che scrivono pagine di storia della cartografia (Sereno, 1997: 61). Ne è esempio Ascanio Vitozzi, una figura che nel secondo Cinquecento si inserisce nella corte ducale di Emanuele Filiberto, il duca di Savoia che dopo la pace di Cateau Cambrésis del 1559 sceglie Torino capitale del ducato sabaudo, città in cui già avevano operato ingegneri militari tra cui Francesco Paciotto, l'autore della cittadella pentagonale torinese che gli aveva permesso di raggiungere una fama internazionale tale da portarlo a ripetere il cantiere ad Anversa, Ferrante Vitelli, militare originario degli stati della Chiesa formato alla scuola dello stesso Paciotto, Giacomo Soldati, milanese nominato «ingegnere e cosmografo ducale» e poi «architetto e ingegnere ducale» (Scotti, 1969: 61-65, 70-76), Gerolamo Portigiani «ingegnere e fonditore in ogni arte di metallo» (Viglino, 2003: 38) e, ancora, Gabrio Busca, milanese esperto «nell'arte di fondere, et gettar artiglierie» (Viglino, 2003: 39). Vitozzi, che combatte come capitano d'artiglieria, diventa poi ingegnere e architetto ducale (Brayda et al.,1963: 69), legato per più di trent'anni a Carlo Emanuele I, esperto di cose militari, ma anche capace di dare forma alle fabbriche ducali nonché al disegno urbano di una capitale in espansione, tracciando scelte dallo sguardo lungo, ripetute ancora nel secondo Ottocento.

Lungo tutto il Seicento e per parte del secolo successivo, inoltre, sembra non potersi leggere una assoluta separazione tra l'ingegnere e l'architetto, due saperi tecnici multidisciplinari e interdisciplinari, esito di percorsi formativi affini, differenziati forse solo in seguito da una eventuale educazione accademica e dall'attività svolta. È certo che, fin dal Cinquecento, nel patrimonio professionale dell'ingegnere militare vi sono competenze di tipo architettonico e artistico appoggiate a studi di geometria e di architettura e, soprattutto, all'attività svolta. La patente di "ingegnere e architetto", forse soprattutto nel secondo Cinquecento e almeno fino alla nomina di Ascanio Vitozzi e del nipote Vitozzo dalla «virtuosa intelligenza nelle cose di architettura» (Brayda et al., 1963: 70), è attribuita a persone incaricate di occuparsi di cantieri di ingegneria e di architettura, con una non sottolineata distinzione tra l'assegnazione di compiti in ambito militare o civile. La questione, tuttavia, è tuttora aperta, forse in parte ancora segnata dal giudizio critico ottocentesco, quando "architetto" non è necessariamente titolo attribuito da patente, ma è termine utilizzato come riferimento al prevalente esercizio della pratica professionale.

Nel 1863 Domenico Carutti definisce i due celebri ingegneri ducali Carlo e Amedeo di Castellamonte, «architetti» in adesione a incarichi lontani dal disegno di fortificazioni (Carutti,1863: 35), e qualifica «ingegnere» Bertola, impegnato nelle «cose

militari» (Carutti, 1863: 282). Sul finire del XIX secolo, poi, lo studio sullo sviluppo edilizio di Torino nel Seicento pubblicato da Camillo Boggio, pur citando le due patenti di nomina a ingegnere ducale degli stessi Carlo e Amedeo di Castellamonte, li dice «architetti», precisando che prima del Settecento «gli architetti erano pure ingegneri militari e uffiziali di artiglieria ed erano chiamati alla fortificazione delle piazze» (Boggio, 1895: 30). È un lungo alternarsi di vocaboli, non sempre e non necessariamente corrispondenti al riconoscimento di un titolo professionale, se si può scrivere di "titolo", nel significato ora contemporaneo del termine, nell'*Ancien Régime* sabaudo.

Carlo di Castellamonte è ancora personaggio dal duplice, o forse meglio molteplice titolo, impegnato in attività militari e civili, accanto alla corte, allo Stato e alla municipalità (Gianasso, 2016: 208). Le patenti gli attribuiscono l'incarico di «veedor et contadore» del duca impegnato nelle «cose di disegno» nel 1602[3], «ingegnero» del duca di Savoia l'anno successivo[4], «vassallo e ingen.ro di V.A.»[5] nel 1612, «mio ingegnero»[6] nel 1631, «mio ingegnero e sovrintendente alle mie fortezze»[7] nel 1634, «ingegnere di S.A.»[8] in occasione di un viaggio in Savoia nello stesso anno, «luogotenente generale […] di artiglieria»[9] nel 1636, «Conte di Castellamonte»[10] in occasione di un viaggio a Cherasco su incarico di Vittorio Amedeo I, espressione ripetuta nel 1640, l'anno prima della sua scomparsa, quando riceve un donativo[11] dalla reggente Cristina di Francia. È subito giusto notare che l'uso di locuzioni differenti corrisponde a lavori di natura diversa, non solo in ambito tecnico, civile o militare, ma anche a incarichi di fiducia, espressione di quella stima che la corte a lungo gli riserva. Al tempo stesso, è anche corretto ricordare, con un approccio che supera la disciplina stretta della storia dell'architettura guardando alle ricerche sull'ordinamento legislativo e archivistico, che tutte le patenti sono emesse dalla Camera dei Conti di Piemonte e, poi, sono riunite nell'articolo 689 del fondo Patenti controllo finanze dell'Archivio di Stato di Torino che conserva materiale documentario attinente l'esercizio delle professioni tecniche (nello stesso archivio le Patenti regie comprendono, invece, nomine di ampia natura).

Tra i titoli attribuiti a Carlo di Castellamonte, tuttavia, emerge soprattutto la patente del 4 aprile 1615, anno in cui succede allo scomparso suo maestro Ascanio Vitozzi, documento in cui è detto dal duca «mio ingegnere civico»[12]. Il documento interessa sia Carlo di Castellamonte sia Carlo Vanello, ingegnere militare pagato per un viaggio a Nizza; nel testo "Civico", con probabile valenza di "civile", è qualifica che appare utilizzata per distinguere l'attività svolta da Castellamonte, perlopiù impegnato nella costruzione della capitale, da quella di Vanello, anch'egli figura vicina ad Ascanio Vitozzi, inviato a Nizza dove già aveva firmato studi e progetti per la fortificazione (Viglino et al. 2008: 263).

È ancora Carlo di Castellamonte, «primo nostro Ingegnere», a comparire tra i membri della «delegazione sovra le fabbriche della fortificazione di Torino, con l'autorità di conoscere e decidere su tutti i fatti dipendenti dalla medesima» istituita

nel 1633 da Vittorio Amedeo I con l'obiettivo di completare la costruzione delle mura intorno alla capitale, garantire sicurezza alla città, creare uno spazio utile per innalzare nuovi palazzi e, al tempo stesso, raggiungere quel «decoro del Principe» attraverso le fabbriche (Duboin, 1827: 930) che, fin dal Cinquecento e nel lungo Seicento, è magistralmente espresso dal concetto di "Magnificenza".

La «delegazione sovra le fabbriche della fortificazione» si pone come espressione di un ricercato controllo ducale sull'attività edilizia, già avviato nel 1566 quando la reggente Margherita di Francia proibisce di costruire entro la fortificazione senza ordine ducale (Duboin, 1836: 905-909) e poi confermato dal Magistrato sopra le fabbriche, istituito nel 1621, che, creato per verificare le fabbriche ducali, è ben presto incaricato di seguire anche l'attività edilizia nella capitale in adesione a regole precise per l'arte di edificare (Cuneo, 2014). Al Magistrato, cui partecipa un numero variabile di ingegneri e architetti ducali, è sostituito il Consiglio delle fabbriche, eretto con patente di Vittorio Amedeo I il 17 agosto 1635 (Duboin, 1827: 932), incaricato di occuparsi anche delle fortificazioni il 30 agosto dello stesso anno (Duboin, 1827: 933). Tra i componenti del Consiglio è ancora il primo ingegnere del duca, Carlo di Castellamonte.

Alla costituzione del Consiglio delle fabbriche e fortificazioni, con un voluto riordino del settore tecnico, si affianca una legislazione ducale mirata a regolarizzare e normalizzare la produzione dei materiali per costruire, verificarne la misura e il prezzo, controllarne la distribuzione. A questi ordini si accostano, ancora, altri provvedimenti che interessano da vicino le professioni tecniche. All'ingegnere intitolato da patente ducale come "primo ingegnere", ad esempio, almeno dai primi anni Trenta del Seicento spetta il compito di approvare i capi mastri da muro per l'esercizio della loro professione[13]. Lo stesso ingegnere esprime, poi, il proprio parere intorno alle regole da osservarsi per la misura del terreno (Borelli, 1681: 953), stabilendo norme che interessano inizialmente soprattutto gli agrimensori, una figura che, controllata e «approva[ta] per capace» almeno nel 1677 e ancora nel 1690, opera come misuratore, geometra, estimatore, notaio (Palmucci, 1997: 51). La situazione piemontese appare, quindi, alquanto frammentaria, diversa dall'organizzazione propria del più noto e non lontano Stato di Milano, dove il Collegio degli ingegneri e agrimensori, se comunque fondato sull'esperienza pratica trasmessa per le vie empiriche dell'apprendistato, è un'organizzazione legittimata dalla Città e dallo Stato (Brambilla E., 2018: 367).

A Torino, l'ingegnere è seduto nel Consiglio delle fabbriche e fortificazioni che, dopo la soppressione voluta da Carlo Emanuele II nel 1666, è istituito nuovamente dalla reggente Maria Giovanna Battista di Savoia Nemours nel 1678 (Duboin, 1832: 494-496). Adducendo come motivazione la mancanza delle tre cariche di Tesoriere, Controllore e Segretario, il duca aveva chiuso il Consiglio delle fabbriche e fortificazioni e ne aveva appoggiato le incombenze al Consiglio delle Finanze (Duboin, 1832: 484-485). È nel Consiglio rinnovato dalla seconda Madama Reale che siede

Amedeo di Castellamonte, figlio di Carlo: «quando sarà necessaria la sistenza del Conte Amedeo Castellamonte primo Ingignero di detta A.R., o d'altro Ingignero, si dovrà far avvertire come nell'addietro, nel qual caso gli si darà la solida sedia fuori dell'ordine conforme al solito» (Duboin, 1832: 495). Il celebre professionista è confermato «Primo Ingegniero S.A.R.» da Maria Giovanna Battista il 12 ottobre 1675, con una patente che «continuando istessi motivi che mossero la fu A.R. del Duca Carlo Em.le 2° di glor[ios]o mem[ent]o a confermare al d[ett]o Conte li annuo trattenimento di scudi cinque cento trentatre, e un scudo d'oro, come per ordine delli sedeci di luglio 1650»[14]; il titolo è riconfermato due anni più tardi quando la duchessa gli retribuisce «viaggi e vacationi fatte p. servitio di S.A.R.»[15].

È Amedeo a spiegare il concetto di "Magnificenza", identificandola con una virtù attribuita al duca Carlo Emanuele II, esercitata in tempo di pace, «che ha per fine l'Eternità, l'Utilità, & il Decoro, & hà per oggetto le Fabriche, quali con la mole loro rendono immortale il Nome degli Edificatori, con la costruttione, utilità a' Popoli, e con la proportione, e Simetria, ornamento, e decoro alle Città» (Castellamonte, 1672: 85-86); al tempo stesso, nel libro, il termine è utilizzato per indicare la costruzione di fortezze, città, castelli, cittadelle, con una voluta estensione del concetto dall'ambito civile a quello militare.

Nella seconda metà del XVII secolo, Amedeo di Castellamonte ripete il ruolo assunto dal padre Carlo, trasversalmente chiamato a occuparsi di fortificazioni e soprattutto titolare di incarichi in materia civile che privilegiano l'Architettura ducale. Aristocratico formato nel settore tecnico, educato prevalentemente nelle scienze matematiche intese con una accezione estesa alla meccanica e all'architettura, la figura dell'ingegnere patentato apre una discussione critica che indaga la relazione tra i percorsi formativi impartiti agli allievi istruiti nell'ingegneria e la pratica professionale, tema centrale negli studi che interessano il milanese (Gatti Perer, 1965; Piedimonte, 1981; Sandri, 1983; Scotti, 1983) o altre aree della penisola oppure che consderano, anche per il Piemonte sabaudo, il Settecento (Roggero, 1987; Ferraresi e Visioli, 2012). La letteratura sottolinea la continua mancanza di distinzione tra i diversi ruoli professionali, tra l'ingegnere che opera nel settore militare, figura certo prevalente, e quello che si occupa di "cose" civili, talvolta già detto architetto. Di qui deriva la doppia intitolazione ai due Castellamonte.

La sovrapposizione tra i diversi ambiti professionali è poi nel Regolamento o nuova costituzione del Consiglio dell'artiglieria, fabbriche e fortificazioni (Duboin, 1827: 934-936) del 1711 dove, tuttavia, siedono «il primo Ingegnere Bertola quando si tratterà di fortificazioni, et il Capitano, et Ingegnere Garove trattandosi di fabbriche civili; e successivamente quelli che riempiranno in avvenire i loro posti» (Duboin, 1827: 935). È una prima distinzione tra competenze militari e civili, comunque propria degli ingegneri patentati cui è riservato l'incarico. Sei anni più tardi, all'indomani della nomina di Filippo Juvarra «Primo Architetto Civile» con patente del

15 marzo 1714 (Roggero, 2014; 2020), il Regolamento o nuova costituzione del Consiglio dell'artiglieria, fabbriche e fortificazioni, rinnovato per meglio rispondere alle necessità dello Stato, precisa che «quando si tratterà di fortificazioni dovranno intervenirvi il primo Ingegnere militare, e se ne accaderà trattarsi di fabbriche civili, vi si chiamerà il nostro primo Architetto a queste deputato» (Duboin, 1827: 937).

La "patente" di ingegnere: sapere tecnico per la Città

Studi recenti hanno evidenziano l'impegno degli ingegneri, in primo luogo di Carlo di Castellamonte (Gianasso, 2016), come mediatori tra lo Stato, il duca e la corte, e la Municipalità torinese fin dal primo Seicento. Scorrendo le pagine dei verbali delle riunioni del Consiglio comunale o delle più ristrette assemblee di Congregazione, dove sono perlopiù discusse questioni inerenti la costruzione di Torino, si legge una difficoltosa relazione tra potere centrale e locale che, soprattutto nella seconda metà del Seicento, perde autonomia, dimostrandosi vincolato allo Stato cui è legato politicamente ed economicamente. È l'ingegnere ducale a porsi come intermediario nel dialogo tra le parti. Carlo di Castellamonte crea un esempio che forse, ma è tema ancora da approfondire, era già stato proprio di Vitozzi. Nella seconda metà del secolo è soprattutto il figlio di Carlo, Amedeo, a porsi tra il duca, lo Stato e la Municipalità torinese, ma la sua presenza influisce meno di quella del padre. Alla sua scomparsa emergono poi altri professionisti che, oltre a ricevere incarichi retribuiti da entrambe le istituzioni, scrivono altre pagine intorno alla figura dell'ingegnere patentato.

Figura emergente a Palazzo di Città è Rocco Antonio Rubatti [Rubato], ingegnere, capitano d'artiglieria, consigliere comunale e sindaco di Torino nel 1688 e nel 1698 (Brayda et al.,1963: 62-63). Legato alla Municipalità, nel 1679 è nominato dalla reggente Maria Giovanna Battista "Ingegnere di S.A.R.": la nomina chiarisce, con un lucido commento, il significato della patente ducale, strumento che autorizza all'esercizio della professione di ingegnere, ancora civile e militare: «Il saggio che l'ingegnere Rocco Antonio Rubatto [Rubatti] ci ha dato della sua capacità tanto nella militare, che civile, Architettura nell'occasione ch'è stato da noi commandato di portarsi in diversi luoghi per il Reale Servizio, ci invita ad aprirgli la strada di potersi esercitare nella sua professione per tenere occupati i suoi virtuosi talenti in vantaggio del Servizio di questa Regia Casa col stabilirsi Ingegnere di S.A.R. mio figliolo amat[issi]mo acciò che con questo mezzo gli riesca più facile il portarsi nelle Piazze Forti, porti, confini ed altri luoghi dove gli sarà commandato senza che incontri difficoltà alcuna»[16].

Ai tanti incarichi ricevuti dallo Stato, Rubatti aggiunge l'impegno in Comune, dove dedica una grande attenzione alla cittadinanza e alle necessità emergenti in anni non facili, risolvendo problemi con grande perizia tecnica. I lavori per la nuova polveriera, le soluzioni progettate per i mulini di Dora, l'impegno per i Padri della Consolata nella costruzione della cappella di San Valerico nella loro chiesa, i dise-

gni per il ponte sul Po sono una sequenza di incarichi che evidenziano soprattutto le sue competenze in ambito civile. Quando si torna a commentare il progetto che interessa i mulini di Dora, in occasione del Consiglio «risolto in Congregazione» nel giorno di san Michele del 1679, Rubatti è qualificato «capitano» e «ingegnere della Città»[17], con una non celata sovrapposizione, anche temporale, di nomine statali e municipali. Nello stesso anno in cui è insignito della patente della reggente, quindi, Rubatti è considerato ingegnere municipale, riconoscimento forse non normato di una professione tecnica.

Nella carica di Ingegnere di S.A.R. gli succede il figlio Giuseppe, nominato «Ingegnere con tutti gli honori del Padre»[18] il 26 febbraio 1692, impegnato a servizio della corte anche come luogotenente nel reggimento di Aosta (Brayda C. et al., 1963: 62), in una rinnovata coincidenza tra l'impegno in ambito militare e la professione di ingegnere. È un ripetersi del susseguirsi di incarichi tramandati da padre in figlio, come tra pure era stato tra Carlo e Amedeo di Castellamonte. A Giuseppe Rubatti, a Palazzo di Città, si affianca Tommaso Sevalle che, il 25 febbraio e il 30 settembre 1679, prestato giuramento di fronte al Vicario, è ammesso Estimatore e Misuratore della Città[19] dopo aver sostenuto un esame teorico e pratico che prevede la conoscenza delle regole della geometria e della pratica della misura dei terreni e di alcune nozioni di estimo (Ainardi,1996: 51). Sevalle vede riconosciuta l'esperienza maturata dopo nove anni di pratica il 14 maggio 1688, quando il duca Vittorio Amedeo II lo nomina "Misuratore ed Estimatore di S.A.R."[20] In alcuni tipi, è pure qualificato semplice "ingegnere", ma allo stato attuale delle ricerche mancano ancora dati più precisi. Figura dalla grande laboriosità, impegnato a servizio del Comune e dello Stato, è seguito nell'incarico di misuratore ed estimatore comunale da Achille Maria Lampo nel 1724 (Ainardi,1996: 53).

La "patente" di ingegnere: un atto per l'esercizio della professione

Nello stesso 1724, il Regolamento per gli ingegneri civili, e militari, e misuratori ed estimatori, oltre a confermare il ruolo dell'ingegnere come esaminatore degli altri professionisti, distingue – ripetendo le locuzioni utilizzate nel testo - gli «ingegneri civili» da quelli «militari».. Il manoscritto offre un quadro lucido e attento che organizza e classifica il sapere tecnico e l'esercizio pratico della professione di ingegnere, di misuratore e di estimatore. Il primo paragrafo è dedicato agli ingegneri; nel titolo, l'espressione «degli Ingegneri civili, o sieno Architetti, e degli Ingegneri militari», conferma l'uso dei due titoli nonché la coincidenza tra i saperi dei due professionisti.

Gli ingegneri civili, citando dal documento, si distinguono in «ingegneri civili», «ingegneri civili graduati» e «ingegneri civili esaminatori», con una preparazione sempre più approfondita. Alle diverse classi di ingegnere civile corrisponde, quindi, una diversa formazione; nel testo è puntualizzato che «sarà lecito agli studenti di supplicare per ottenere il titolo di ingegnere civile; agli ingegneri civili sarà lecito di

supplicare per ottener il titolo di graduato, ed alli graduati per avanzarsi nel novero degli esaminatori»[21].

Il primo livello, ossia la prima classe, dell'ingegnere civile corrisponde all'ingegnere civile "semplice", ossia privo di ulteriori qualifiche, detto anche «architetto». «Il semplice Architetto civile basta che in riguardo delle lettere sia ben instruito nella Gramatica, e che nel resto abbia mediocre disegno per far piante, profilli, ed alzate di fabbriche ordinarie: sia perito in far tipi, e sia ragionevolmente in possesso dell'Aritmetica, Geometria pratica, misure di terreni, e delle fabbriche»[22]. Al secondo livello è l'ingegnere civile graduato che «dovrà nelle lettere avere un poco di Rettorica, e circa la Professione dovrà possedere quanto è stato detto dell'Architetto semplicemente civile, e di più dovrà sapere li primi sei libri di Euclide, la trigonometria piana, far livellazioni, levar piante, far progetti di fabbriche civili, e templi, disegnare le loro piante, alzate e spaccati»[23]. Al terzo livello, gli «ingegneri civili esaminatori dovranno sapere tutto ciò appartiene ai graduati, e di più dovranno intendersi nella Filosofia, od almeno nella Logica; e poi dovranno sapere li libri dei numeri, e de' solidi di Euclide, la teoria delle meccaniche, misurare, e ripartir le acque correnti, riparar ai fiumi e torrenti, e di ogni altra cosa, che in pratica nella professione possa accadere»[24]. Il passaggio da una classe a quella superiore è possibile previo un esame alla presenza di quattro ingegneri esaminatori: se non "trovato capace", lo studente potrà approfondire la sua conoscenza, se abile riceverà opportuna dichiarazione e «in seguito [verrà] munito di quelle Patenti, che S.S.R.M. si degnerà accordargli»[25].

Lo stesso documento stabilisce vacazioni diverse per le divere classi dell'ingegnere civile: all'ingegnere semplice civile, operativo in città o non lontano, spettano sette lire e mezzo al giorno, se fuori città dodici lire al giorno e, in ultimo, se fuori città «venendogli somministrato» viaggio e «cibaria» otto lire al giorno; all'ingegnere civile graduato spettano rispettivamente dieci lire, sedici lire e dodici lire al giorno e all'ingegnere civile esaminatore diciotto lire, ventiquattro lire e sedici lire al giorno; disegni e modelli, invece, sono pagati a parte, in accordo con la committenza[26].

Gli ingegneri militari, si legge nel regolamento, si dividono in «ingegneri semplicemente militari» e «ingegneri civili militari». Il primo è una figura alle dirette e strette dipendenze del principe con l'incarico di «difendere la corona, e d'offendere li suo nemici»[27], il secondo unisce competenze in ambito militare a conoscenze nell'architettura civile. Il Regolamento rileva «e perché l'idoneo ingegnere militare dovrebber aver unita li Architettura civile, e quelle altre scienze, che gli rinforzano l'Idea per rendere più universale nelle sue operazioni, così a questi sarà lecito per esser ascritto dove la sua capacità lo potrà portare in una o l'altra delle classi degli ingegneri civili»[28]. L'ingegnere militare può, quindi, integrare la propria conoscenza con gli stessi studi richiesti alle tre classi di ingegneri civili, ottenendo una formazione ampia e completa. Tuttavia, per essere riconosciuto, è tenuto a sostenere un esame che gli permette l'esercizio della professione di ingegnere civile solo rispetto

alla classe (civile, civile graduato, civile esaminatore) per cui ha sostenuto l'esame, «sotto pena d'un anno di sospensione dell'esercizio, non sarà lecito […] professare né d'operare in quelle cose sopra le quali non saranno stati esaminati»[29]. L'esercizio della professione di ingegnere, conclude il Regolamento, è proibito a tutti coloro che non hanno sostenuto apposito esame di abilitazione.

Regolarizzando e riordinando la frammentazione seicentesca intorno alle professioni tecniche di ingegnere, architetto, misuratore, estimatore, si delinea un quadro ampio e completo che, oltre alla formazione e le regole per la pratica di lavoro, si conclude con una specifica patente da ingegnere, attribuita dal sovrano in funzione di un determinato percorso formativo e delle competenze maturate e, forse, dimostrate nel corso degli studi. In questa direzione, la patente diventa un documento non solo finalizzato all'attribuzione di un incarico o al riconoscimento di un pagamento, ma è anche l'atto che chiude lo specifico *iter* richiesto per diventare ingegneri autorizzati a lavorare. Da qui, lo studio delle patenti da ingegnere non può prescindere dall'essere rapportato non solo con i successivi regolamenti dell'artiglieria, delle fabbriche e delle fortificazioni, e con le pratiche del relativo Consiglio, ma anche con la riforma degli studi, rendendo il Settecento sabaudo un filtro in direzione dell'età contemporanea.

Conclusioni

Lettera aperta per definizione giuridica, la patente da ingegnere scrive un lungo *fil rouge* che lega il titolo a una definita pratica professionale e, progressivamente, a un percorso formativo lasciando aperta una ricerca che, qui, non può certo che essere introdotta. Tra Cinquecento e Seicento, lo scorrere delle figure presenti nel Piemonte sabaudo, più o meno vicine ai duchi o alle reggenti, è una sequenza solo esemplificativa del rapporto, dipendente perlopiù dal singolo ingegnere chiamato a lavorare, tra il professionista titolato e lo Stato o la corte. Emerge chiaramente la figura di Carlo di Castellamonte che, erede di Ascanio Vitozzi, riceve più di una patente, ancora documento di assegnazione di incarichi di varia natura che rendono la frammentarietà seicentesca intorno alle professioni tecniche; il figlio Amedeo ripete poi l'esperienza paterna, con altre rilevanti competenze professionali. Carlo, dopo Vitozzi, è pure una figura mediana tra lo Stato e la Municipalità, da cui riceve specifici riconoscimenti, rafforzando quella relazione che, in realtà, costruisce Torino città-capitale, nella definizione della locuzione già pubblicata da Giulio Carlo Argan negli anni Sessanta del Novecento (Argan, 1965). Più tardi, i Rubatto si pongono soprattutto a servizio del Comune dove, peraltro, Rocco Antonio è un personaggio di spicco alla guida del potere locale che porta l'ingegnere, prima non certo dotato di forte riconoscibilità sociale e politica, a divenire sindaco della città. Lungo tutto il Seicento, incrociando i documenti di Stato con gli Ordinati del Comune, uscendo dalla capitale anche di altri Comuni del Piemonte sabaudo, emerge l'importanza attribuita agli ingegneri, nelle diverse declinazioni dell'ingegnere civile e dell'ingegnere militare, figure che

rendono concreto quel sapere tecnico che trova un esito nell'«ingenium», «ars […] machina […] machina bellica […] instrumentum» (du Cange C., 1883-1887: 361) di cui scrive ancora du Cange quando, nell'Ottocento, formazione e titolo di ingegnere scrivono ormai un'altra storia.

Bibliografia

Ainardi M. 1996. Un professionista tra Sei e Settecento. Tommaso Sevalle, agrimensore, misuratore, estimatore, architetto, topografo. In: *Cascine a Torino. La più bella prospettiva d'Europa per l'occhio di un coltivatore* (a cura di C. Ronchetta e I. Palmucci). Torino: Camera di Commercio, Industria e Artigianato.

Argan G.C. 1965. *L'Europa delle capitali 1600-1700*. Milano: Fabbri-Skira.

Borelli G.B. 1681. *Editti antichi e nuovi de' sovrani principi della Real Casa di Savoia. Delle loro tutricii, e de' Magistrati di qual da Monti. Raccolti d'ordine di Madama Reale Maria Giovanna Battista.* Torino: Bartolomeo Zappata.

Boggio C. 1895. Gli architetti Carlo e Amedeo di Castellamonte e lo sviluppo edilizio di Torino nel XVII secolo. In: *Atti della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino,* XXIX(35), 27-58.

Brambilla E. 2018. *Università e professioni in Italia da fine Seicento all'età napoleonica*. Milano: Unicopli.

Brayda C., Coli L., Sesia D. 1963. Specializzaizone e vita professionale nel Sei e Settecento in Piemonte. In: *Atti e Rassegna Tecnica delle Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino,* XVIII(3), 73-82.

Carutti D. 1863. *Storia del regno di Vittorio Amedeo II*. Torino: Tipografia Paravia e C.

Castellamonte A. 1672 [ma 1675]. *Venaria Reale. Palazzo di piacere e di caccia ideato dall'Altezza Reale di Carlo Emanuele II Duca di Savoia Re di Cipro & disegnato e descritto dal Conte Amedeo di Castellamonte l'anno 1672*. Torino: Zappata.

Comoli Mandracci V. 2002. L'urbanistica della città capitale e del territorio. In: *Storia di Torino. 4. La città fra crisi e ripresa (1630-1730)* (a cura di G. Ricuperati). 431-462. Torino: Einaudi.

Cuneo C. 2014. La costruzione della città di Torino tra Seicento e Settecento: le norme, il cantiere, le professioni. In: *Forma urbis II. Il cantiere della città. Strumenti, maestranze e tecniche dal Medioevo al Novecento* (a cura di Casamento A.). 179-198. Roma: Kappa.

Macco M,. Romano G. (a cura di). 1989. *Diana trionfatrice. Arte di corte nel Piemonte del Seicento*. Torino: Umberto Allemandi & C.

du Cange C. 1883-1887. *Glossarium madiae et infimae latinitatis conditum a Carolo du Fresne Domino du Cange auctum a monachis ordini S. Benedicti cum supplementis integris D.P. Carpentierii delungii, aliorum, suisque digessit G.A.L. Henschel sequuntur Glossarium Gallicum, Tabulae, Indices, Auctorum et rerum, dessertationes, edito nova aucta pluribus verbis aliorum scriptorum a Léopold Favre Membre de la Société de l'Histoire de France et correspondant de la Société des Antiquaires de France.* Niort: L. Favre. (ed. anastatica: Bologna, Forni, 1982, t. 5 e 6).

Duboin F.A. 1827. *Raccolta per ordine di materie delle leggi, editti, manifesti ecc, pubblicati dal principio dell'anno 1681 sino agli 8 dicembre 1798 sotto il felicissimo dominio della Real Casa di Savoia in continuazione a quella del Senatore Borelli*. IV, tomo III(II). Torino: Davico e Picco.

Duboin F.A. 1832. *Raccolta per ordine di materie delle leggi, editti, manifesti ecc, pubblicati dal principio dell'anno 1681 sino agli 8 dicembre 1798 sotto il felicissimo dominio della Real Casa di Savoia in continuazione a quella del Senatore Borelli*. X, tomo VIII(VII). Torino: Eredi Bianco e Comp.

Duboin F.A. 1832. *Raccolta per ordine di materie delle leggi, editti, manifesti ecc, pubblicati dal principio dell'anno 1681 sino agli 8 dicembre 1798 sotto il felicissimo dominio della Real Casa di Savoia in continuazione a quella del Senatore Borelli*. VII tomo XIII(XV). Torino: Eredi Bianco e Comp.

Ferraresi A., Visioli M. (a cura di). 2012. *Formare alle professioni. Architetti, ingegneri, artisti (secoli XV-XIX)*. Milano: Franco Angeli.

Gatti Perer M.L. 1965. Fonti per lo studio dell'architettura mlanese dal XVI al XVIII secolo. Il Colleglio degli Agrimensori, Ingegneri e Architetti. Arte lombarda, X, 116-121.

Gianasso E. 2016. La costruzione della «Città nova» di Torino negli *Ordinati* del Comune. In: *Carlo e Amedeo di Castellamonte 1571-1683, ingegneri e architetti per i duchi di Savoia*. 205-220. Roma: Campisano.

Palmucci L. 1997. La formazione del cartografo nello stato assoluto: i cartografi-agrimensori. In: *Rappresentare uno Stato. Carte e cartografi degli Stati sabaudi dal XVI al XVIII secolo* (a cura di R. Comba e P. Sereno). 49-60.Torino: Umberto Allemandi & C.

Piedimonte A.M. 1981. La formazione degli ingegneri in Lombardia prima dell'Unità. In: *Il Politecnico di Milano 1863-1914*, 54-64. Milano: Electa.

Promis C. 1871. *Gli ingegneri militari che operarono o scrissero in Piemonte dall'anno MCCC all'anno ADCL*. Torino: Stamperia Reale.

Roggero C. 2014. Filippo Juvarra, «Primo Architetto Civile» a Torino. Paradigmi per la capitale del regno. In: *Filippo Juvarra 1678-1736, architetto dei Savoia, architetto in Europa* (a cura di P. Cornaglia, A. Merlotti, C. Roggero). 25-41. Roma: Campisano.

Roggero C. 2020. Filippo Juvarra e la visione urbanistica. In: *Filippo Juvarra. Regista di corti e capitali dalla Sicilia al Piemonte all'Europa* (a cura di F. Porticelli F., C. Roggero, C. Devoti, G. Mola di Nomaglio). 333-338. Torino: Centro Studi Piemontesi.

Roggero M. 1987. *Il sapere e la virtù. Stato-Università e Profesioni nel Piemomte tra Settecento e Ottocento*. Torino: Deputazione Subalpina di Storia Patria.

Sandri M.G. 1983. La scuola degli ingegneri: problemi di scienza e tecnica nel XVIII secolo. In: *Costruire in Lombardia. Aspetti e problemi di storia edilizia* (a cura di A. Castellano A., Selvafolta O.). 127-137. Milano: Electa.

Scotti A. 1969. *Ascanio Vitozzi. Ingegnere ducale a Torino*. Firenze: La Nuova Italia

Scotti A. 1983. Il collegio degli Architetti, Ingegneri e Agrimensori tra XVI e XVIII secolo. In: *Costruire in Lombardia. Aspetti e problemi di storia edilizia* (a cura di A. Castellano e O. Selvafolta). 92-108. Milano: Electa.

Sereno P. 1997. «Li Ingegneri Tippografi di Sua Maestà». La formazione del cartografo militare negli Stati sabaudi e l'istituzione dell'Ufficio di Tipografia reale. In: *Rappresentare uno Stato. Carte e cartografi degli Stati sabaudi dal XVI al XVIII secolo* (a cura di Comba R., Sereno P.). 61-102. Torino: Umberto Allemandi & C.

Viglino M. 2003. *Ascanio Vitozzi: ingegnere militare, urbanista, architetto (1539-1615)*. Ponte San Giovanni: Quattroemme.

Viglino Davico M., Chiodi E., Franchini C., Perin A. 2008. *Architetti e ingegneri militari in Piemonte tra '500 e '700. Un repertorio biografico*. Torino: Centro studi e ricerche storiche di architetttura militare del Piemonte.

Note

1. Archivio di Stato di Torino, d'ora in poi AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti controllo finanze (art. 689)*, m. 190, reg. XXXVI (1693 in 1694), f. 1641.
2. Roma. Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio, Fortificazioni, XXXVIII B, n. 2510.
3. AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti controllo finanze (art. 689)*, m. 64, f. 286.
4. *Ivi*, m. 72, f. 158.
5. *Ivi*, m. 73, f. 237.
6. *Ivi*, m. 101, f. 34.
7. *Ivi*, m. 105, f. 191.
8. *Ivi*, m. 106, f. 45.
9. *Ivi*, m. 109, f. 9
10. *Ivi*, m. 112, f. 78.
11. *Ivi*, m. 119, f. 41.
12. *Ivi*, m. 76, f. 277.
13. AST, *Provvedimenti sovrani, Ordini, Editti, Patenti e Manifesti (art. 693)*, vol. 26, reg. anno 1621, n. 82.
14. AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti regie*, m. 127, f. 377.
15. AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti controllo finanze (art. 689)*, m. 163, f. 91.
16. AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti controllo finanze (art. 689)*, m. 166, f. 45.
17. Archivio Storico della Città di Torino, d'ora in poi ASCT, *Ordinati, Ordinati 1679*, c. 226.
18. AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti controllo finanze (art. 689)*, m. 189, f. 102.
19. ASCT, *Ordinati, Ordinati 1679*, c. 6.
20. AST, *Camera dei Conti, Camera dei Conti di Piemonte, Patenti controllo finanze (art. 689)*, m. 184, ff. 83-84.
21. AST, *Finanze, prima archiviazione, Misuratori sensali e zavatini*, m. 1, fasc. 3.
22. *Ivi*.
23. *Ivi*.
24. *Ivi*.
25. *Ivi*.
26. *Ivi*.
27. *Ivi*.
28. *Ivi*.
29. *Ivi*.

Luigi Falco

La Società degli ingegneri e degli architetti in Torino

The Society of engineers and architects in Torino

Sommario
Nel 1866 Torino attraversa una grave crisi economica e sociale (con numerosi morti in moti di piazza). Perso il ruolo di capitale del Regno, con il suo contorno di industrie del lusso (carrozzerie, moda) e della guerra (meccanica, costruzione di armamenti, confezioni militari, alimentazione dell'esercito) la città è alla ricerca di un nuovo ruolo che l'amministrazione comunale cerca di favorire. La costituzione della Società ingegneri e industriali successivamente rinominata Società ingegneri e architetti, tuttora in attività, da parte di professionisti e politici di altissima qualità (l'architetto Ceppi, il sindaco Galvagno, il banchiere Malvano, il ministro Paleocapa, il generale Cavalli primo presidente) si colloca a mio parere in questo clima. La vita associativa prevede conferenze su temi a scelta dei relatori e dibattiti ed attività di commissioni costituite per l'organizzazione di pareri su argomenti di attualità per la città. La Società pubblica una rivista, Atti, ancora oggi pubblicata con il titolo Atti e Rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, sulla quale si dava conto di tutte queste attività. Nei primi 54 anni di vita vengono discussi argomenti di varia natura ma soprattutto di carattere territoriale e urbano (ferrovie, canali, fognature, distribuzione dell'acqua potabile, sistemazioni urbanistiche di parti di città, monumenti, stazioni) e nelle discussioni intervengono anche soci non specialisti del settore con le loro conoscenze, esperienze e sensibilità politiche. Anche attraverso questi processi si è formata la cultura politecnica che ha caratterizzato molto dell'ambiente tecnico locale. Nel 1920 la Società viene sciolta per favorire la formazione dell'Ordine degli Ingegneri e, poi, di quello degli Architetti, ma nel 1947 viene ricostituita nel clima della ricostruzione postbellica per favorire una nuova rinascita della città, come era già avvenuto all'inizio della sua storia.

Abstract
In 1866 Turin went through a serious economic and social crisis, with numerous deaths in street riots. Having lost its role as capital of the Kingdom, with its associa-

ted industries in the fields of luxury (carriages, fashion) and war (mechanics, weapon construction, military clothing, army food), the city is looking for a new role that the municipal administration is trying to favor. The establishment of the Società degli ingegneri e industriali, subsequently renamed Società degli ingegneri ed architetti, active to the present day, by professionals and politicians of the highest quality (the architect Ceppi, the mayor Galvagno, the banker Malvano, the minister Paleocapa, and general Cavalli the first president) fits fully in this climate, in my opinion. The associative life includes conferences on topics chosen by the speakers, debates and activities of commissions set up for the organization of opinion on topical issues for the city. The Società publishes a magazine, Atti, published to this day, under the title Atti e rassegna tecnica della Società degli ingegneri e degli architetti in Torino, which covers all of these actvities. In the first 54 years of its life, various topics are discussed, mainly of territorial and urban nature (railways, canals, sewers, drinking water distribution, urban arrangements of parts of cities, monuments, stations) and in its discussions engineers non-specialist members of the sector contribute with their knowledge, experience and political sensitivities. Thanks also to this process the polytechnic culture was formed: this has greatly characterized the local technical environment. In 1920 the Società was dissolved to favor the formation of the Order of Engineers and, later, of that of Architects, but in 1947 it was reconstituted in the climate of post-war reconstruction to favor a new rebirth of the city, as had already happened at the beginning of its history.

Il quadro in cui si colloca la fondazione della Società degli ingegneri e degli architetti in Torino

Il 21 e 22 settembre 1864 durante manifestazioni popolari sotto la sede del Ministero degli interni in piazza San Carlo a Torino cadono colpiti a morte dalle forze di polizia 62 cittadini e i feriti sono 138. La ragione delle proteste è l'annuncio da parte del Governo del trasferimento della capitale del Regno a Firenze, in attesa del definitivo trasferimento a Roma.

Per la città ciò significa la perdita della storica base economica tipica di una capitale: generi di lusso, artigianato dolciario e culinario, abbigliamento e carrozzerie, industrie degli alimenti, delle divise per l'esercito e la costruzione di armamenti.

La municipalità ha ben presente il problema della riconversione industriale ed assume iniziative nella costruzione di canali per una nuova distribuzione della forza motrice idraulica nella città. Molte altre iniziative vengono avviate e tra queste sono da annoverare la fondazione della Scuola di applicazione per ingegneri nel 1859 al Valentino e del Museo industriale italiano nel 1862 (che nel 1906 fondendosi daranno origine al Politecnico di Torino) e, nel 1866, della Società degli ingegneri e degli industriali, poi presto rinominata Società degli ingegneri e degli architetti.

La costituzione della Società

Il 18 luglio 1866 la Società viene riconosciuta come corpo morale con decreto regio, ma la sua effettiva costituzione risale al 1864. Dopo le analoghe iniziative di Firenze, Genova, Brescia e Milano quella di Torino è tra le prime istituite nel nostro paese. I 12 soci fondatori sono personaggi di peso nella città: soprattutto Pietro Paleocapa, senatore e ministro di Stato, Filippo Galvagno, sindaco di Torino, Alessandro Malvano, banchiere e figura chiave delle dinamiche edilizie della città nonché presidente dell'Università israelitica, il generale Giovanni Cavalli, comandante della Regia accademia militare e studioso di meccanica. E tra i 36 soci promotori ci sono Quintino Sella, Germano Sommeiller, Giovanni Battista Ferrante, Oreste Bollati e Giovanni Curioni, i più conosciuti.

Lo scopo della Società, come afferma lo Statuto, sarà realizzato quando i soci esporranno «i risultati dei loro studi e delle ricerche» provvedendo «a perfezionarli colla discussione ed a divulgare le cognizioni giudicate veramente utili al progresso delle scienze applicate, dell'industria e delle arti».

Alla conoscenza degli studi e delle ricerche provvede la pubblicazione di Atti, rivista della Società, mentre la discussione avviene durante le assemblee cui partecipano i soci che, come risulterebbe da ricerche sui verbali delle riunioni, appartengono a settori dell'ingegneria anche diversi da quelli che sembrerebbero coerenti con l'argomento in discussione. La Società, oltre ad utilizzare la propria rivista, ha una tale base associativa che la mette in grado di intervenire sul Consiglio comunale per i temi di interesse urbano (in un caso addirittura sul Parlamento) e sulle scuole per ingegneri.

La cultura politecnica

I dibattiti in Società e la pubblicazione di Atti contribuiscono certamente alla formazione e diffusione della cosiddetta cultura politecnica; e a mio parere sarebbe interessante che l'AISI stimolasse e favorisse la ricerca su questo tema, che finora ha avuto scarsa visibilità; infatti di analoghe società finora ne è sta presentata una sola, quella di Roma, peraltro quasi esclusivamente centrata sulla discussa figura di Gustavo Giovannoni, architetto ed urbanista.

Per quanto riguarda invece il contributo torinese si consideri che per lo più gli ingegneri saldavano la loro istruzione universitaria, molto conformata su modelli francesi, con una pratica professionale di avanguardia anche a livello internazionale.

Mi pare importante mettere in relazione i modi del funzionamento pratico della Società, e cioè i "riti" della vita sociale con i temi in discussione, dei quali resta traccia nelle pagine della rivista. Durante le adunanze, oltre alle incombenze statutarie (rinnovo delle cariche, approvazione del bilancio, commemorazioni di soci defunti, ammissione di nuovi soci) si verificava che soci o invitati svolgevano relazioni su diversi argomenti disciplinari; le relazioni venivano discusse dai presenti e potevano

costituire materia per approfondimenti che apposite commissioni esaminavano portando i risultati al successivo dibattito sociale.

I soci, tutti ingegneri, ma che praticavano settori diversi dell'ingegneria, portavano nel dibattito le proprie conoscenze ed esperienze che proveniventi da altri settori disciplinari; tutto ciò significò la formazione di una "cultura media" dell'ingegnere che superava la cultura troppo specialistica di ciascuna branca dell'ingegneria.

Gli interessi dei soci della Società

Nei primi 54 anni di vita, cioè fino al 1920, quando la Società è stata sciolta per favorire la costituzione dell'Ordine degli ingegneri, prima, e di quello degli architetti, poi, sono state iscritte alla Società circa 1000 persone (compresa Emma Strada, la prima italiana laureata in ingegneria nel 1908 dal Politecnico di Torino) per le quali si conosce solo il settore dell'ingegneria da loro indicato come prevalente nel momento dell'iscrizione; su 241 persone invece i necrologi consentono da avere molte più informazioni.

Ho analizzato le memorie e i dibattiti avvenuti nella società nei primi 54 anni ed ho rilevato che l'argomento, usando le categorie del tempo, di maggiore interesse è Architettura - Arti Belle - Igiene delle abitazioni - Piani regolatori con 32 memorie e 15 relazioni di commissioni, seguita da Idraulica - Idrografia - Canali - Condutture, 30 memorie e 4 relazioni, da Ferrovie - Costruzioni ferroviarie - Amministrazione ferroviaria, 28 memorie e 9 relazioni, Geodesia - Topografia - Rilevamenti - Catasto - Celerimensura - Cartografia, 21 memorie e 1 relazione, Costruzioni civili e industriali - Fognature di luoghi abitati, 17 memorie e 7 relazioni, Resistenza dei materiali - Scienza delle costruzioni, 19 memorie, Meccanica - Cinematica -Tecnologia, 6 memorie, Geologia 6 memorie, Macchine tecniche - macchine frigorifere, 3 memorie, Riscaldamento, 2 memorie e 1 relazione, Varie (telefono, elettricità, aviazione, matematica norme di disegno, geofisica, esproprio di terreni, istruzione e Politecnico, esposizioni di Torino, legislazione di settore, organizzazione professionale), 20 memorie e 16 relazioni.

Infrastrutture e sviluppo economico

A partire dai dibattiti sulle ferrovie e sui canali navigabili emerge come le grandi infrastrutture territoriali siano lette come un essenziale strumento per lo sviluppo economico del Piemonte.

Il dibattito sulle ferrovie è incentrato sull'importanza dei collegamenti di Torino con il resto dell'Europa e non dell'Italia sia perché questi ultimi già esistono (e quello, allora cruciale, con i porti di Savona e Portomaurizio-Oneglia, importanti scali marittimi di materie prime, viene invece chiesto con forza) sia soprattutto perché l'ambizione torinese è quella dell'integrazione economica a livello sovranazionale; del resto anche quando il problema è quello di una linea regionale, la Ceva-Portomaurizio ad esempio, il tema verso il quale il relatore tenta di far convergere

l'attenzione dei soci è quello del miglioramento dei traffici a lunga distanza (nella fattispecie con la Francia provenzale).

In questa prospettiva in moltissimi dibattiti emerge un deciso atteggiamento antimilanese, più sfumato all'inizio della storia della Società, che diventa sul finire quasi una "ossessione", che viene deprecata dai soci durante una assemblea, quando il nodo ferroviario milanese acquisisce sempre maggiore importanza.

Accanto alla radicata convinzione dei Soci che la ferrovia sia una imprescindibile condizione per lo sviluppo industriale di Torino va notata anche l'intuizione (anch'essa presente nel dibattito attuale sul futuro della città) che i collegamenti, allora la sola ferrovia, favoriscano il turismo nell'area piemontese. In particolare è interessante il dibattito attorno alla ferrovia della Valle d'Aosta, nel quale si scontrano ipotesi diverse sul suo uso, e quindi anche sulle caratteristiche tecniche: alcuni vorrebbero che la linea fosse alternativa alle linee a grande distanza passanti per Milano, mentre altri la vorrebbero di carattere più locale, e quindi con un maggiore effetto sul turismo.

Se nel caso delle infrastrutture territoriali la connessione con lo sviluppo economico ed urbano è evidente (ad esempio nel dibattito sui canali navigabili la preoccupazione è che il porto fluviale di Torino non costituisca un blocco allo sviluppo edilizio ed in quello sulle stazioni è fondamentale la necessità di ricucire il tessuto urbano allora separato dalla ferrovia) altrettanto non succede per le infrastrutture intese semplicemente come un fatto tecnico senza rapporto con la città; soltanto nel 1910 qualche socio chiarisce finalmente che lo studio delle fognature deve essere coordinato con il Piano regolatore della città.

Innovazione tecnica e audacia progettuale

Il dibattito che avviene in Società appare tecnicamente molto avanzato. Quello sulle stazioni di Torino porta alla ribalta, a pochi decenni dalla costruzione di opere importanti come la stazione di Porta Nuova, proposte molto innovative sulla riorganizzazione complessiva del servizio, sulla viabilità connessa alle stazioni e sulla loro edilizia (stazioni sotterranee e riuso di Porta Nuova) appaiono decisamente moderne.

Per quanto riguarda le opere all'esterno di Torino compaiono l'ipotesi di una galleria di lunghezza inusitata, dell'ordine di decine di chilometri, con la previsione dell'attacco dello scavo su quattro fronti, due terminali e due raggiungibili attraverso un camino centrale che, a lavori terminati, avrebbe assicurato l'areazione. O un ponte sul lago Maggiore che fa intuire un atteggiamento tecnico, di tecnica ferroviaria ma anche di ingegneria delle opere pubbliche, avanzata anche se non proprio rispettoso del paesaggio. Anche le ipotesi di canali navigabili attraverso i monti per collegare il mar Ligure con l'Adriatico e con il lago Maggiore, con Torino al centro, è un segnale di audacia progettuale.

Una interessante contraddizione tra innovazione tecnica e finalità sociale si pone nel dibattito del 1893/99 sull'acqua potabile nelle abitazioni.

Non vi è dubbio che dal punto di vista tecnico l'introduzione dei contatori negli appartamenti in luogo della vecchia "bocca tassata", nel cortile e al servizio di tutto il caseggiato, sia una innovazione positiva. Alcuni soci si chiedono però se questa, limitando l'uso dell'acqua per funzioni igieniche al minimo indispensabile, legato com'è al pagamento a fronte del consumo, dal punto di vista sociale non abbia un effetto regressivo sulle classi sociali a redditi più bassi. È lo scontro ideologico/politico tra ingegneri idraulici ed igienisti.

Progetto e attuazione e gestione.
Che il problema dell'attuazione e gestione del progetto sia almeno altrettanto importante del progetto stesso è ben presente agli ingegneri ottocenteschi; non esiste al riguardo una opinione univoca della Società ma il tema dei costi e dei soggetti interessati all'attuazione dei progetti è sovente tenuto alla base di valutazioni e di scelte, o almeno è elemento di discussione.

Nei dibattiti sulle linee ferroviarie i costi della loro costruzione comprese gallerie ed opere d'arte entrano in maniera diretta nella valutazione che la Società fa delle linee proposte. L'impresa del socio ing. Porcheddu, unico detentore per l'Italia del brevetto Hennebique per le costruzioni in cemento armato, costruisce ponti complessi e a doppio binario al costo di 3.000 lire al metro lineare.

Nei dibattiti sulle stazioni di Torino invece l'elemento sottolineato con enfasi è il rapporto tra il costo degli espropri e delle opere e i ricavi delle vendite sul mercato delle aree liberate dagli usi ferroviari.

Sempre in tema di attuazione dei progetti è interessante che gli stessi progettisti si preoccupino di indicare le condizioni operative necessarie: Eugenio Mollino nel caso del progetto sulla via Roma del 1904 segnala che è irrealizzabile a meno di una variazione del Regolamento edilizio; Giuseppe Pucci Baudana, autore di un altro progetto per la ristrutturazione della stessa via del 1911, dichiara che esso potrà essere realizzato da un solo operatore; Giovanni Angelo Reycend, nel progetto per l'uso della piazza d'armi, precisa che una parte delle aree deve essere ceduta a operatori privati per alleggerire l'onere del comune nell'operazione. Nei dibattiti quasi contemporanei sulle fognature e sull'acqua potabile, riportati nei verbali degli anni rispettivamente 1885/87 e 1893/99, si registra una contrapposizione, o forse evoluzione, sul riconosciuto ruolo dell'ente locale nell'implementazione del progetto: in tema di fognature il comune non è considerato "adatto", perché privo di atteggiamento manageriale, mentre, avvicinandosi l'epoca delle municipalizzazioni, nella discussione sull'acqua potabile si ritiene che il servizio debba essere gestito dal comune.

Dibattiti accademici o proposte concrete
Se le comunicazioni dei soci e i dibattiti sui problemi all'attenzione della Società siano contributi teorici od astratti (in un certo senso accademici anche se quasi nessuno

sembra essere stato prodotto all'interno dell'"accademia") o al contrario proposte concrete è questione abbastanza rilevante per comprendere il ruolo della Società.

È abbastanza naturale che le comunicazioni dei soci vengano fatte nella maggior parte da chi, per ragioni professionali, ha studiato un argomento. Modesto Panetti, uno dei padri dell'aeronautica italiana e professore del Politecnico, agli inizi del Novecento pubblica sulla rivista un articolo sull'aeronautica. Galileo Ferraris, che non ha competenza in tema di illuminazione pubblica, tiene nel 1879 cinque conferenze per favorirla.

Le specializzazioni nell'ingegneria attorno alla metà dell '800 non sono il prodotto di un curriculum universitario (dall'Università escono ingegneri idraulici e architetti) quanto piuttosto delle occasioni lavorative che si incontrano nella città. L'importante studio di Severino Grattoni e Sebastiano Grandis, e poi la loro Società dei lavori pubblici (coinvolti nel traforo del Frejus e in molto altri progetti in Italia e all'estero), formano molti degli ingegneri ferroviari; altre opportunità, meno consistenti, fanno si che i laureati si specializzino in altri settori (gestione dei lavori pubblici comunali, igienisti, meccanici, ecc.). Così quando attorno ad un tema si accende un dibattito che coinvolge i soci, le opinioni espresse tengono ovviamente conto della specializzazione, dell'esperienza e della sensibilità di ciascun socio anche se non specialista della disciplina. Tutto ciò avviene talvolta non senza confronti anche accesi tra diverse concezioni dell'ingegneria, come nel caso del dibattito sulle stazioni di Torino, in cui si scontrano le ragioni delle società ferroviarie, o, almeno, la logica dell'ingegneria ferroviaria e le ragioni dell'interesse più generale della città, del suo sviluppo e della ricucitura delle parti separate dalle linee, oppure come nel citato dibattito sulle fognature in cui si confrontano le ragioni degli ingegneri meccanici e degli igienisti.

Attraverso la proposizione delle ragioni dei diversi tipi di tecnici i risultati della proposta che la Società fa alla collettività diventa più matura e complessa perdendo l'eventuale astrattezza che avrebbe potuto avere inizialmente. Del resto se si fosse trattato di ipotesi astratte non avrebbero avuto alcun riflesso in termini di decisioni istituzionali e di opere realizzate: invece molte proposte sono state realizzate come s'era discusso in Società e, ad esempio, nel caso del collegamento ferroviario con Savona il Parlamento accolse un'idea avanzata da un socio, modificando una legge precedente.

Dibattiti accesi

Una caratteristica che mi ha stupito è che nella maggior parte dei casi il dibattito tra i soci non è affatto stemperato e solenne, a dispetto di una immagine stereotipata costruita attorno agli ingegneri ottocenteschi, ma sanguigno ed appassionato, come nel dibattito sulle stazioni di Torino quando le maggioranze vengono costruite facendo avanzare la seduta nelle ore tarde della sera e si ribalta così il giudizio di una commissione; o quando gli applausi sottolineano le opinioni espresse dai soci che

appartengono a uno dei due "partiti" che si confrontano sulle fognature; o quando si oppongono le opinioni degli idraulici e degli igienisti su questioni di una certa rilevanza sociale come sul problema dell'acqua potabile nelle abitazioni.

In occasione di molti dibattiti, soprattutto quando il tema dei costi può assumere importanza nella valutazione dei progetti, si confrontano le opinioni dei soci che ritengono cruciale il fatto che i progetti vengano valutati tenendo conto soltanto del loro valore architettonico e urbanistico e dei soci che invece intendono tenere conto anche di altre questioni, tra le quali sono predominanti i costi. In definitiva si confrontano due interpretazioni della Società: da un lato chi crede che essa possa essere in qualche modo organica all'amministrazione pubblica, dall'altro invece chi pensa che il ruolo tecnico debba essere indipendente da ogni considerazione e condizionamento materiale,

Società degli ingegneri e società civile.

Esiste una consolidata tradizione del rapporto tra governo municipale e Società che va ben aldilà della presenza in tutti e due i corpi di personaggi significativi: due dei diciannove fondatori sono infatti anche consiglieri comunali di Torino e uno, l'avvocato Galvagno (uno dei pochissimi non ingegneri), è anche il Sindaco della città.

La Società per il suo prestigio deve quindi essere considerata una società di "saggi", di "garanti" cui la società civile può rivolgersi quando un problema richiede una soluzione tecnicamente fondata ed espressa da un organismo indipendente. Cosa che è successa nel 1867 sul trasferimento al Valentino della torre idrica di Parella, sul destino della Mole Antonelliana richiesto dalla Comunità israelitica e dal Comune (ma qualche socio avrebbe voluto non prendere partito), sulla scelta dell'organizzazione del sistema fognario e sulle due alternative di sistemazione delle stazioni ferroviarie proposte dalla società ferroviaria appena nazionalizzata. La Camera di commercio di Torino ha chiesto un parere sul disservizio ferroviario generato dalla nazionalizzazione e anche un privato ha sollecitato un parere su una linea ferroviaria.

Questa è una modalità di interazione tra Società e società civile: l'altro è quello di affrontare, in piena autonomia, problemi le cui soluzioni vengono fatte conoscere alla cittadinanza attraverso la pubblicazione dei risultati delle commissioni su Atti o attraverso la stampa cittadina. Infine, terza modalità, la Società bandisce un concorso per la ricerca della migliore soluzione di un problema e ne diffonde i risultati; è avvenuto in due occasioni soltanto: il collegamento di piazza Castello con corso San Maurizio e l'urbanizzazione della vecchia piazza d'armi.

Sugli ingegneri della Società

A partire dalle notizie sugli ingegneri iscritti alla Società e dalle biografie lette in occasione dei loro decessi si possono evidenziare alcune caratteristiche ricorrenti tra gli ingegneri torinesi.

La mobilità professionale è tipica di una condizione in cui gli ingegneri idraulici e gli architetti che escono dall'università finiscono per occuparsi di problemi molto differenti grazie alla frequentazione degli studi professionali.

Molti ingegneri ferroviari si occupano anche di altri tipi di progettazioni: ad esempio Candido Borella che è anche progettista di canali (quello della Ceronda a Torino) oltre che presidente della Reale Mutua, o Ernesto Strada che si specializza nei trasporti a fune (Saint Vincent, Varese-Campo dei fiori, Napoli-Vomero, Catanzaro) ma si occupa anche del catasto per il quale fornisce un manuale, o Giuseppe Bolzon progettista edilizio che è anche assistente di tre corsi della Scuola per ingegneri con sede al Valentino, o Vincenzo Soldati progettista edilizio soprattutto nel settore industriale (stabilimenti a Torino, San Germano Canavese, Perosa Argentina, Pollone, Palafera e Susa). Alcuni progettisti ferroviari si occupano anche di edilizia ferroviaria come Callisto Candelero che a Torino progetta le officine Grandi motori delle ferrovie ma è anche il primo che mette a punto il sistema di areazione della galleria del Moncenisio.

Vi è anche un discreto numero di imprenditori industriali o commerciali laureati in ingegneria ma non attivi nella professione che partecipano ai dibattiti che avvengono in Società (tra i non attivi nella professione anche il banchiere Carlo Ceriana, l'unico socio non ingegnere). Si tratta perlopiù di ingegneri che hanno iniziato la loro attività come professionisti per diventare poi industriali (e questo è un caso di mobilità sociale). Un altro caso è quello di Adolfo Pellegrini che, di modesta origine, ha seguito scuole che non davano accesso all'università e vi è ammesso per decreto reale; laureatosi in ingegneria lavora nel settore ferroviario come professionista, costituendo poi una società ferroviaria e successivamente diviene presidente della Società calci e cementi di Casale Monferrato e della Società acque potabili di Torino.

Una discreta mobilità territoriale caratterizza anche gli ingegneri che al seguito di lavori importanti trasferiscono la loro residenza e da soci residenti passano quindi nella categoria dei non residenti. Paolo Amoretti lascia la Società dei Tramways a vapore di Torino per la direzione di un acquedotto a Palermo e poi per Roma dove è il Capo dell'Amministrazione della Duchessa d'Aosta. Leonida Spreafico, ufficiale dell'esercito laureatosi in ingegneria (come peraltro un certo numero di ufficiali), diventa progettista di ferrovie e si trasferisce in Liguria per la direzione di interventi ferroviari, da qui a Roma dove è membro del Consiglio superiore dei LL.PP., e poi torna a Torino a dirigere la Società del gas.

Accanto ad alcuni politici che si sono laureati in ingegneria, ma l'hanno praticata poco, molti sono quelli, che attivi nei suoi diversi settori, fanno "anche" politica. Sui 241 soci dei quali ci sono notizie i consiglieri comunali di Torino sono 38, dei quali 1 è Sindaco e 5 sono assessori; vi sono poi 1 ministro del Regno, 3 senatori, 1 deputato, 4 consiglieri provinciali, 2 sindaci di Comuni della regione. In totale 49 ingegneri sono impegnati nell'amministrazione della cosa pubblica, con qualche "esagerazio-

ne" e due figure di livello internazionale. Camillo Riccio, progettista edilizio molto attivo in città, è consigliere comunale di Torino e di altri tre comuni dell'astigiano. Giovanni Curioni e Galileo Ferraris, che hanno dato fondamentali contributi di idee e di innovazione nei rispettivi campi di studio, siedono l'uno a Roma nel parlamento e l'altro a Torino nel consiglio comunale (dove è anche assessore) portando nei due consessi contributi tecnici alla discussione politica.

Anche il rapporto tra Società e mondo dell'istruzione superiore è intenso e ricco. I docenti (professori o assistenti, alcuni attivi in più di una istituzione e più di un corso) della Scuola del Valentino sono 22, del Museo industriale 13 e del Politecnico (dopo il 1906) 6, dell'Accademia Albertina e dell'Accademia Militare rispettivamente 3, dell'Università 5, della Scuola di guerra e di una scuola tecnica 1. Tra i docenti della Scuola del Valentino ci sono 3 direttori e del Museo 2 (tra i quali quel Giovanni Codazza che, Rettore dell'Università di Pavia, l'unica della Lombardia, viene chiamato dal Ministero dell'agricoltura industria e commercio a dirigere il Museo di Torino alla sua costituzione). Nel 1880 Galileo Ferraris favorisce la costituzione della Scuola di ingegneria elettrotecnica all'interno della Scuola del Valentino

Sempre in rapporto con l'istruzione è l'attività di alcuni soci che redigono sulla base della loro esperienza lavorativa manuali, allora diffusi, di vari settori dell'ingegneria, come Vittorio Soldati, Candido Borrella, Giulio Fettarappa e Ernesto Strada).

Si nota dai cognomi dei soci che vi è un certo numero di componenti di gruppi parentali (sono cognomi che in alcuni casi si ripetono ancora adesso) e che diversi componenti della comunità ebraica, che ha ottenuto da pochi decenni l'affrancamento, sono laureati in ingegneria ed iscritti alla Società.

Da una biografia emerge infine la difficoltà dei giovani ingegneri non torinesi ad inserirsi nel mercato del lavoro. Ultima notazione: nell'Ottocento, secolo in cui l'attesa di vita era piuttosto bassa, molti ingegneri vivono fino a tarda età, segno che la categoria è privilegiata dal punto di vista economico.

Bibliografia di riferimento

Falco L., 2013, La città e le opere di pubblica utilità, Atti e rassegna tecnica della Società degli ingegneri e degli architetti in Torino, n. 1-3, aprile-giugno.

Questo intervento tiene anche conto del numero monografico di Atti e tecnica della Società degli ingegneri e degli architetti in Torino, n. 1-3, 2013, sulla Società curato da Luigi Falco e Mauro Volpiano, con articoli di Carla Barovetti presidente della Società, Annalisa Barbaro Pesando, Alessandra Cantagalli, Maria D'Amurri, Luigi Falco, Elena Gianasso, Vittorio Marchis, Alessandro Martini, Guido Montanari, Davide Rolfo, Arianna Senore e Mauro Volpiano.

Carmine Colella

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte terza: Discipline specifiche per l'Ingegneria chimica e dei materiali e discipline opzionali

Two hundred years of chemistry at the Naples School of Engineering: Part three. Specific courses for Chemical and Materials Engineering and optional courses

Sommario
Con la presente nota si completa la ricerca mirante a esaminare lo sviluppo storico delle discipline di natura chimica, proposte agli allievi ingegneri a partire dalla fondazione della Scuola di Applicazione de' Ponti e Strade di Napoli fino all'istituzione della Facoltà d'Ingegneria e della susseguente Scuola Politecnica. Vengono in particolare analizzate le materie riguardanti specifici indirizzi di studio quali l'Ingegneria chimica e l'Ingegneria dei materiali, per quel che riguarda sia le discipline obbligatorie che quelle opzionali. Sono anche tracciati brevi profili biografici di insigni docenti che hanno operato nella Scuola.

Abstract
This paper concludes a study aimed at examining the historical development of the chemical courses, proposed to students starting from the foundation of the Application School of Bridges and Roads in Naples to the establishment of the Engineering Faculty and the subsequent Polytechnic School. In particular, both fundamental and optional courses regarding the educational programs of Chemical Engineering and Materials Engineering are examined. Short biographical notes of distinguished teachers who have worked in the School are also included.

Introduzione
Questa nota costituisce la parte conclusiva di un lavoro, le cui prime due parti sono state presentate nei due precedenti Convegni della stessa serie (Colella, 2018; Colella, 2020). Si intende così completare il quadro delle discipline chimiche insegnate nella Scuola d'Ingegneria di Napoli, che, inserite nei piani di studio all'inizio dell'Ottocento per dare ai futuri ingegneri civili una conoscenza dei fondamenti del-

la neonata *nouvelle chimie* che datava all'epoca, dopo la sua rifondazione su basi razionali, non più di una trentina d'anni, si sono progressivamente evolute, moltiplicandosi e differenziandosi, ma soprattutto acquisendo connotazioni sempre più ingegneristiche, ovvero rispondendo sempre meglio alle esigenze dei corsi di laurea dei quali erano entrate a far parte.

Con il presente contributo si analizzano innanzitutto le discipline facenti parte del settore materialistico, che, a parte la chimica di base, sono le uniche che vengono ancora proposte, seppure con limitazioni, accorpamenti e differenziazioni, in diversi corsi di laurea d'Ingegneria.

Si passa poi alla disamina storica dei corsi di chimica cosiddetti "di indirizzo", quelli che, pur inseriti talvolta in passato nei piani di studio sia degli allievi ingegneri civili che di quelli industriali, costituiscono allo stato materia per i soli ingegneri chimici e dei materiali, se non sono stati addirittura eliminati dai piani di studio di tutti i corsi di laurea attualmente operativi. Sono inclusi fra questi anche alcuni corsi opzionali, ovvero a scelta degli studenti.

Si conclude con la chimica di base, che è presente in tutti i percorsi formativi dell'Ingegneria, ma che tende oggi a denotare qualche differenziazione in relazione alle specifiche esigenze dei singoli corsi di studio.

La nota, infine, come le due precedenti, include anche brevi profili biografici di alcuni dei principali studiosi di discipline chimiche che hanno insegnato e svolto attività scientifica nella Facoltà di Ingegneria di Napoli nel corso del Novecento.

Le discipline materialistiche ieri e oggi: un raffronto

Come già accennato in precedenza[1], l'insegnamento della "Chimica applicata", erede dell'originaria "Chimica docimastica" e inizialmente diretto sia a ingegneri civili che industriali, subì nel tempo delle modifiche nel numero dei corsi e nei rispettivi contenuti. Una volta duplicato e differenziato nei programmi, si stimò opportuno distinguerne perfino le denominazioni. Fu così che nel 1960-61, al corso diretto agli allievi ingegneri civili si attribuì il nome di "Tecnologia dei materiali e chimica applicata".

Nel 1975-76, con il progressivo incremento del numero degli studenti, i due corsi vennero ulteriormente multiplati con il raddoppio del corso per civili e la triplicazione di quello per industriali. I rispettivi programmi rimasero formalmente invariati, ma, per la "Chimica applicata", si decise di distribuire gli allievi nelle classi non per numero di matricola o per ordine alfabetico del cognome, ma in dipendenza dei singoli corsi di laurea di appartenenza, rispettivamente, chimici, meccanici e aeronautici e navali. Ci fu così la possibilità di introdurre delle parziali differenziazioni nei contenuti.

A partire dallo stesso anno accademico vennero introdotte nuove discipline con contenuti più specifici e quindi dirette a specifici corsi di laurea. Ne sono esempio, nei programmi formativi dei soli ingegneri chimici e dei materiali, il corso di "Materiali

ceramici speciali", che attualmente ha nome "Tecnologia dei materiali ceramici"[2], e quello di "Chimica e tecnologia del restauro e della conservazione dei materiali"[3], che anche attraverso successive parziali modifiche nei contenuti assunse denominazioni diverse e oggi si chiama "Materiali e tecniche per la tutela dei beni culturali".

Negli anni il numero di corsi di insegnamento di questo raggruppamento è cresciuto in maniera rilevante, raggiungendo, seppure con qualche multiplazione, il numero di trenta. Si tratta nella gran parte dei casi di discipline di indirizzo e/o opzionali, dirette soprattutto ad allievi ingegneri chimici e ingegneri dei materiali. I corsi di base di scienza e tecnologia dei materiali ceramici, metallici, polimerici e compositi sono ovviamente fondamentali per i detti due corsi di laurea e, seppure con marcate differenze nei contenuti, lo sono anche per le lauree in Ingegneria edile-architettura e Ingegneria edile. Discipline di base appartenenti allo stesso raggruppamento vengono altresì proposte in altri corsi di laurea, ovvero Ingegneria meccanica e Ingegneria civile, ma sono a scelta dello studente.

I corsi storici: la "Chimica analitica" e la "Chimica agraria"

Ci si riferisce qui a discipline che hanno solo rilievo storico, in quanto, inserite nei piani di studio nella prima metà del Novecento, sono stati poi espunte, perché non ritenute essenziali per la preparazione professionale degli ingegneri, nemmeno a livello di specifici corsi di laurea. Questo lascia supporre che tali corsi venivano proposti più per colmare dei vuoti nei piani di studio che per effettive esigenze di formazione degli allievi, quindi erano spesso legati alla disponibilità e competenza di docenti, che erano già operanti nella Scuola o in altre Facoltà dell'Ateneo.

La "Chimica analitica" è il tipico esempio di corso di insegnamento introdotto per colmare un deficit di discipline da impartire agli allievi. Lo dimostra il fatto che la sua istituzione coincide con l'introduzione, nel 1901, della sezione industriale della Scuola, che, insieme alla sezione navale, andava ad affiancare la storica sezione di Ingegneria civile. Questa riforma degli studi, che mirava a formare nuove figure professionali, prevedeva per l'Ingegneria industriale delle sottosezioni, quale quella di chimica e di elettromeccanica, ma curiosamente nel piano di studi di base che riguardava tutti gli industriali vi erano materie di interesse eminentemente chimico, come la "Chimica analitica" e la "Chimica organica", di cui si parlerà di qui a breve.

Le due materie, che, avendo programmi distinti, costituivano all'inizio due moduli di un unico corso, ebbero come primo docente, in qualità di incaricato, il già ricordato Orazio Rebuffat (Colella, 2020), che era titolare di "Chimica docimastica", ma che dal punto di vista delle competenze sperimentali era un riconosciuto esperto di analisi chimiche, oltre che un ricercatore che per anni si era occupato di chimica organica. Questo induce a ritenere che la Scuola, nel programmare l'istituzione delle due discipline, abbia tenuto conto di una risorsa interna nel novero dei docenti già impegnati nella istituzione. A conferma di quanto detto, è utile notare che dal punto di vista con-

tenutistico la "Chimica analitica" proposta a Ingegneria non differiva granché dalla omologa materia impartita a Scienze, prevedendo le classiche metodologie di analisi per via secca o per via umida, alle quali era aggiunta qualche nozione di gasometria.

Nel prosieguo le due discipline si divisero ed ebbero destini diversi, perché mentre la "Chimica organica" continuò a far parte dei piani di studio della Scuola e poi della Facoltà, seppure limitatamente al corso di laurea in Ingegneria chimica, l'insegnamento della "Chimica analitica" fu tenuto in vita solo apparentemente fino a quando fu disponibile un docente che la insegnasse. In particolare, Rebuffat ne fu incaricato dal 1903-04 al 1918-19, poi il corso passò a Pietro Falciola[4], che cedette a Rebuffat il corso da lui impartito di "Chimica tecnologica". Falciola insegnò la "Chimica analitica" fino al 1932-33 per poi trasferirsi nella sua città di origine, abbandonando l'insegnamento. Con la partenza del docente il corso uscì dai piani di studio di Ingegneria chimica, per rientrarvi temporaneamente, con l'incarico attribuito, non si sa con quale logica, dal 1955-56 al 1959-60, a Silvia Restaino[5].

La "Chimica agraria" costituisce il secondo esempio di un corso, istituito forse per fornire agli studenti che ne fossero interessati conoscenze più generali, non strettamente legate a esigenze di carattere professionale. Anche in questo caso vi è la sensazione che un ruolo determinante sia stato giocato dalla disponibilità di un docente di riconosciuta preparazione nello specifico settore. L'insegnamento fu inserito nei piani di studio dell'Ingegneria civile nel 1935-36 in coincidenza con la trasformazione della Scuola in Facoltà d'Ingegneria e fu probabilmente una materia "complementare", come si diceva allora, ovvero una materia a scelta dello studente, certamente non necessaria, ma indubbiamente utile. Il docente scelto per l'incarico fu Alberto De Dominicis[6], che, titolare della stessa materia alla Scuola agraria di Portici, tenne l'insegnamento fino all'anno accademico 1951-52. Morì subito dopo la conclusione del corso, che da quel momento non fu più attivato. Non abbiamo testimonianza del programma che il docente svolgeva, ma, conoscendo le sue competenze e i settori in cui concentrò principalmente il suo impegno scientifico, è facile immaginare che il suo corso in Facoltà di Ingegneria fosse focalizzato sulla pedologia, cioè sulla scienza che si occupa di studiare i suoli, argomento con qualche contiguità con la geologia applicata e quindi di sicuro interesse per un ingegnere civile.

Dalla "Chimica tecnologica" alla "Chimica industriale"

Una delle materie fondamentali nei piani di studio dell'Ingegneria chimica è la "Chimica industriale". L'attuale denominazione risale all'A. A. 1937-38, ma il corso d'insegnamento era già stato introdotto come "Chimica tecnologica" anni addietro con l'istituzione della sezione industriale della Scuola. Inizialmente il corso era proposto all'intera sezione, ma col tempo divenne materia fondamentale solo per l'Ingegneria chimica e la meccanica, per poi essere limitato infine solo alla prima delle due. L'intento del corso era quello di fornire agli allievi le conoscenze relative alla

produzione industriale di elementi (gas, metalli e non metalli) e composti quali acidi, basi, sali e sostanze organiche, di immediato interesse applicativo o intermedi di altre produzioni. Nel corso, in dipendenza del docente, venivano talvolta inclusi anche argomenti "materialistici", che di fatto avrebbero dovuto trovar posto, e talvolta trovavano posto, anche in un corso di chimica docimastica o applicata. Il programma del corso si sviluppava in genere in due anni, nei quali si affrontavano separatamente i prodotti della grande industria inorganica e di quella organica. Erano previste anche esercitazioni di laboratorio e visite guidate ad aziende produttrici di specifici composti o beni di consumo; a titolo di esempio, nel 1908-09 furono effettuate visite in otto stabilimenti: due distillerie, uno zuccherificio, un candelificio, una saponeria, due cartiere e un polverificio.

Il primo docente di "Chimica tecnologica" fu Felice Garelli, che, vincitore di concorso per professore straordinario della materia, prese servizio nella Scuola a metà del 1902 e vi insegnò fino all'A. A. 1910-11[7], quando si trasferì a Torino. Ne prese il posto, come incaricato, il suo allievo Pietro Falciola, che, come detto, nel 1918-19 scambiò il suo corso con quello che Orazio Rebuffat teneva per incarico. Rebuffat insegnò la materia da incaricato fino al 1922-23, poi decise di trasferirvi la sua titolarità di ordinario, tenendo il corso fino al 1935-36[8]. A Rebuffat successe Marussia Bakunin, di cui si dirà a breve, che tenne il corso fino al 1941-42, quando lasciò la Facoltà d'Ingegneria per insegnare "Chimica organica" in Facoltà di Scienze. Il suo posto fu preso da Giovanni Malquori, che, già ordinario di "Chimica farmaceutica" a Napoli, in Facoltà di Farmacia, si trasferì in Facoltà di Ingegneria sulla cattedra di quella che nel frattempo si denominava "Chimica industriale", tenendola fino al 1966-67. Nel frattempo, fu acceso un secondo corso della disciplina per allevi ingegneri meccanici, onde tener conto del diverso taglio da dare all'insegnamento per i due indirizzi e l'incarico fu tenuto da Riccardo Sersale (Colella, 2020: 118) in due *tranches*, dal 1955-56 al 1959-60 e dal 1968-69 al 1978-79. Il corso per i chimici passò nel 1967-68 a Gennaro Russo, che lo tenne inizialmente per incarico, poi come titolare di cattedra, fino al suo pensionamento.

A parte Rebuffat e Sersale, di cui si è già parlato, due figure storiche sulle quali è opportuno aggiungere qualche nota biografica più estesa sono quelle di Felice Garelli e Giovanni Malquori.

Felice Garelli nacque a Fossano, in provincia di Cuneo, il 16 luglio 1869. Frequentò a Torino i corsi di Chimica presso il Regio Museo Industriale Italiano, conseguendovi nel 1887 l'abilitazione all'insegnamento della "Chimica e Fisica applicate". Dopo una breve esperienza di lavoro nell'industria, si iscrisse al corso di laurea in Chimica presso l'Università di Bologna, dove si laureò nel 1891 con Giacomo Ciamician (1857-1922), allievo di Stanislao Cannizzaro (1826-1910). Di Ciamician diventò collaboratore e poi assistente nel 1895. Nel 1896 conseguì la libera docenza in Chimica generale, e questa materia fu chiamato a insegnare nella libera Università

Felice Garelli

di Ferrara. Qui restò fino al 1902, quando, vinta la cattedra di "Chimica tecnologica" presso la Scuola Politecnica di Napoli, vi si trasferì. Nel 1910 passò al Politecnico di Torino, sempre come titolare di "Chimica tecnologica", poi denominata "Chimica industriale". Dal 1925 al 1929 fu Direttore, oggi diremmo Rettore, del Politecnico, che gli deve l'istituzione della laurea in Chimica industriale e il perfezionamento degli studi d'Ingegneria chimica. Morì a Torino il 21 marzo 1936. Garelli si occupò di ricerche di chimica organica, di crioscopia, di concia delle pelli, e altre. Durante la Prima guerra mondiale si dedicò anche a ricerche per l'industria bellica: aggressivi chimici, esplosivi e gas asfissianti. Collaborò alla redazione della monumentale *Nuova enciclopedia di chimica scientifica, tecnologica e industriale*, diretta da Icilio Guareschi (1847-1918) e ne completò l'opera alla scomparsa dell'ideatore e promotore.

Giovanni Malquori, nato a Firenze il 15 luglio 1900, si laureò in Chimica a Pisa nel 1923, quindi si trasferì a Roma, dove, sotto la guida illuminata di Nicola Parravano (1883-1938), iniziò la carriera universitaria. Libero docente in Chimica generale nel 1926, tenne per incarico da quell'anno fino al 1932 il corso di "Chimica fisica" presso l'Università di Roma. Ternato nel concorso di "Chimica farmaceutica" del 1932, ricoprì quella cattedra a Catania per due anni, prima di trasferirsi a Napoli per insegnare la stessa materia. Come detto, nell'A. A. 1941-42 passò alla cattedra di "Chimica industriale". Assunta questa posizione e la responsabilità dell'Istituto omonimo, Malquori operò un'autentica rivoluzione nel campo degli studi dell'Ingegneria chimica. Dotato di grandi capacità scientifiche e organizzative e di inesauribile determinazione, oltre che di enormi risorse di energie fisiche e mentali, nonostante le obiettive difficoltà derivanti dall'ingrato periodo in cui cominciò a operare, considerato che si era negli anni immediatamente successivi alla guerra e nel pieno della difficile ricostruzione, riuscì a creare le premesse per la nascita di una scuola, che, partendo dalla Chimica industriale e dalla Chimica applicata, di cui era pure formidabile esponente, fu foriera di un grande ammodernamento degli studi di ingegneria chimica e di quella che sarebbe diventato l'omonimo corso di laurea (Marrucci, 2006). Furono infatti istituiti i fondamentali corsi di Impianti chimici e Principi di Ingegneria chimica, che furono affidati a giovani di sicuro talento quali, rispettivamente, Leopoldo Massimilla e Giovanni Astarita. Non va peraltro dimenticata di Malquori l'opera professionale svolta a supporto dell'industria chimica nazionale, nella quale lasciò

Giovanni Malquori

una traccia profonda. Fu a lungo presidente della Cementir, della quale favorì lo sviluppo, vicepresidente della Società Meridionale Gas, nella quale contribuì alla ricostruzione e all'aggiornamento degli impianti, consigliere di amministrazione della Terni, nella quale collaborò alla ristrutturazione di due stabilimenti elettrochimici. E, ancora, fu impegnato a vario titolo nella Società Anonima Nazionale Argille e Caolini, nella Società Cellulosa d'Italia, nella Società Italiana Potassa. Fu in definitiva un uomo di grande vaglia, che si spese non solo come educatore e scienziato, ma anche come abile tecnico industriale in un momento storico, in cui l'Italia aveva necessità di risorgere da anni di angosce, di privazioni, di distruzioni. Morì a Napoli l'8 settembre 1967.

Il settore disciplinare della Chimica industriale annovera anche un'altra materia, diretta ai soli ingegneri chimici, che è stata introdotta diversi decenni dopo la "Chimica tecnologica", ovvero quella che negli anni assunse il nome di "Chimica industriale organica". In realtà, questa disciplina, mutuata dalla Facoltà di Scienze e introdotta a Ingegneria con la riforma del 1960, apparteneva al raggruppamento di Chimica organica ed era originariamente denominata "Chimica organica industriale". La disciplina aveva l'intento di approfondire le conoscenze acquisite con la "Chimica organica", materia di base, e mettere l'accento su una serie di prodotti organici di interesse industriale. Pochi anni dopo la sua introduzione, però, nel 1966, si valutò che per rendere il corso più adatto a una Facoltà d'Ingegneria, bisognava puntare sui processi. In altre parole, occorreva spostare l'attenzione dallo studio delle reazioni di sintesi di composti organici di interesse industriale ai processi produttivi e al conseguente controllo di tutti i parametri che influivano sulla resa dei prodotti. Furono così modificati il programma e il nome del corso, che andò ad affiancare quello di "Chimica industriale", il quale, pur non mutando il suo nome, concentrò la sua attenzione prevalentemente sulla grande industria inorganica. Parte rilevante dei due corsi, pur nella differenza di taglio dovuto alla diversità dei tipi di reazione prese in esame, fu il grande rilievo dato alla catalisi. Il corso di "Chimica organica industriale" esordì nel 1960-61 con un incarico attribuito al già più volte ricordato Riccardo Sersale; fu poi tenuto per due anni, sempre per incarico, da Giovanni Astarita e quindi da Gennaro Volpicelli dal 1963-64 al 1968-69. Passò infine a Vincenzo Caprio, inizialmente incaricato, poi professore ordinario della materia, che lo tenne fino al collocamento in quiescenza.

La "Chimica organica"

Questa disciplina, come altre di natura chimica, fu introdotta nel percorso formativo dei futuri ingegneri con l'istituzione, all'inizio del Novecento, del corso di Ingegneria industriale. Così come la "Chimica analitica", l'organica era materia obbligatoria per tutti gli allievi industriali[9] ed ebbe il privilegio, pur essendo sostanzialmente una materia formativa più che professionale, di essere insegnata lungamente da un

professore di ruolo. Peraltro, essendo appunto materia di base, i suoi contenuti coincidevano, e in buona parte coincidono, con quelli dell'omonimo corso diretto agli studenti di Scienze. Allo stato, la disciplina rientra, seppure con qualche distinzione nei programmi, nelle attività formative degli studenti di Ingegneria chimica e di Ingegneria dei materiali.

Orazio Rebuffat fu il primo docente della materia, che tenne per incarico fino al 1905-06. Gli successe dal 1906-07 Marussia Bakunin, che lo tenne per trent'anni, fino al 1935-36, inizialmente come incaricata, poi dal 1912-13 come professoressa di ruolo, prima straordinaria e poi ordinaria, a seguito di favorevole esito del concorso a cattedra. Dal 1936-37, come già detto, Bakunin trasferì la sua titolarità sul corso di "Chimica industriale" e la "Chimica organica", in sintonia con questo trasferimento, fu di fatto espunta dai piani di studio[10]. Venne ripristinata, ma solo per l'Ingegneria Chimica con la riforma del 1960. Il corso fu così tenuto, quasi sempre per incarico, da docenti provenienti dalla Facoltà di Scienze: Vincenzo Dovinola dal 1961-62 al 1965-66, Margherita Belardini dal 1966-67 al 1984-85, Matteo Adinolfi dal 1985-86 al 1991-92 ed Emilio Tagliavini, che vi giunse, come professore associato a seguito di superamento di concorso e vi rimase per il solo A. A. 1992-93. Il corso passò quindi al già citato Vincenzo Caprio, docente della Facoltà d'Ingegneria, che lo tenne per incarico fino al pensionamento.

La figura che emerge con grande vigore fra i docenti di questa disciplina è quella di Marussia Bakunin[11]. Nata a Krasnojarsk, in Siberia, il 2 febbraio 1873 e giunta a Napoli alla morte del padre legale, Michail Bakunin, visse un'infanzia e una giovinezza serene nella casa dell'avvocato Carlo Gambuzzi, compagno e poi marito della madre. Dopo il liceo si iscrisse all'università, scegliendo il corso di laurea in Chimica, cosa del tutto singolare, specie per una donna, ed è ricordata per essere la prima donna laureata in Italia in questa disciplina, nel 1895. Sposò poco dopo il suo mentore, Agostino Oglialoro (1847-1923), professore di Chimica e direttore dell'Istituto chimico, da lui stesso rifondato, e fu docente e ricercatrice di vaglia, del tutto meritevole dei traguardi che riuscì a raggiungere. Sviluppò il suo percorso di docenza nella Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, poi Facoltà d'Ingegneria, in "Chimica organica", materia in cui conseguì la cattedra nel 1912, passò poi per qualche anno a "Chimica tecnologica", prima di trasferirsi in Facoltà di Scienze nel 1941, dove insegnò ancora "Chimica organica" fino al pensionamento, nel 1948, e la nomina a professoressa emerita. Continuò però a frequentare l'istituto con impegno e passione per tutta la vita, che si spense il 17 aprile 1960. Fu autrice di ricerche in vari settori della chimica organica, ma non disdegnò di occuparsi anche di ricerche di chimica applicata. Allevò e avviò alla carriera universi-

Marussia Bakunin

taria diversi giovani, fra i quali si affermò, come avremo modo di vedere, soprattutto Francesco Giordani. Al di là degli aspetti professionali, fu donna dai molteplici interessi, che dispensò cultura e fu molto apprezzata dalla *intellighenzia* napoletana e nazionale. Ebbe molti riconoscimenti: fra gli altri fu socia, prima donna in Italia, dell'Accademia dei Lincei dal 1947, oltre che delle Accademie napoletane, che con dedizione e abnegazione inesauribili contribuì a far risorgere dalle rovine in cui erano state ridotte per effetto degli eventi della Seconda guerra mondiale.

"Elettrochimica" e "Corrosioni"

L'elettrochimica ha costituito a lungo un punto di forza della Scuola d'Ingegneria, a onta del fatto che è, ed è sempre stata, una materia d'indirizzo o complementare. Per lungo tempo le è stato associato anche un Gabinetto, nel quale venivano condotte ricerche di avanguardia. Come spesso avviene in ambiente universitario, il rilievo di un contesto formativo non dipende solo da fatti obiettivi, ma dal concorrere di altre circostanze, quali la presenza di personalità brillanti e autorevoli. È quello che è avvenuto a Napoli con Francesco Giordani, come avremo modo di vedere nell'immediato prosieguo.

Settore d'indagine di grande significato da un punto di vista storico per i contributi teorici che ha offerto all'affermazione della chimica come scienza basata sulle quantità e sulla misura, l'elettrochimica è approdata in Facoltà di Ingegneria per il suo rilievo applicativo, connesso sia ad aspetti preparativi che alla valutazione di fenomeni di degrado dei materiali metallici in reazioni di ossido-riduzione.

Il corso di "Elettrochimica"[12] fu istituito nei primi anni del Novecento, ma all'inizio non era un insegnamento a sé stante, bensì connesso con il corso di "Chimica tecnologica", proposta agli studenti del terzo anno. Il primo docente fu Oscar Scarpa[13], che tenne il corso per circa un decennio dal 1906-07 al 1916-17. Dopo un affidamento di breve durata a Marussia Bakunin, la materia passò a Francesco Giordani, che la insegnò dal 1919-20, inizialmente come incaricato e poi, a partire dall'A.A. 1925-26, per sei anni come vincitore di concorso a cattedra. Quando nel 1932 fu chiamato a ricoprire la cattedra di "Chimica" a Scienze, vacante per la prematura scomparsa di Ferruccio Zambonini (1880-1932), Giordani continuò a tenere l'incarico di "Elettrochimica" fino al 1941-42. L'anno successivo l'insegnamento passò a Mario Maria Jacopetti[14], suo allievo, che, come titolare di cattedra, lo tenne per venti anni, fino al 1962-63. L'incarico passò quindi a Raffaele Caramazza, fino al 1968-69, e infine a Enrico Drioli, fino ai primi anni '80.

Il personaggio di gran lunga di maggior rilievo di questo gruppo di docenti è senz'altro Francesco Giordani. Compiuti gli studi a Napoli, sua città natale, dove era nato il 5 luglio 1896, Giordani si era laureato in Chimica nel 1918. Aveva spiccate attitudini per le scienze, tanto che già da studente divenne collaboratore prima del fisico Michele Cantone (1857-1932), poi di Oglialoro e di Bakunin. Il lavoro di ricerca

Francesco Giordani

fu inizialmente rivolto a studi di chimica organica nel solco tracciato da Bakunin e sotto la sua guida. Successivamente, il suo principale interesse, didattico e scientifico, divenne l'elettrochimica, settore nel quale diede rilevanti contributi sia di carattere teorico che tecnico. Mise a punto, tra l'altro, un nuovo tipo di elettrolizzatore a diaframma, con il quale si producevano idrossido di sodio e cloro per elettrolisi di soluzioni di cloruro di sodio, che trovò realizzazione industriale da parte di Umberto Pomilio (1890-1964). Fu dal 1925 ordinario della disciplina e direttore dell'Istituto omonimo nella Scuola Politecnica di Napoli, poi nel 1932 passò in Facoltà di Scienze a ricoprire, come già detto, la cattedra di "Chimica". Scrisse un corposo e apprezzato manuale di *Lezioni di Chimica Generale e Inorganica*, rimasto incompiuto. Ma Giordani fu soprattutto un manager, uno dei più importanti che il nostro Paese abbia avuto nella prima metà del secolo scorso. Ebbe rilevanti incarichi manageriali sia in Italia in IRI, Ilva, CNRN e SVIMEZ, che in Europa all' EURATOM. Si occupò a livello industriale di bitumi (ittiolo), cellulosa, cotonizzazione della canapa e gomma artificiale, fu un assertore della questione meridionale (una tra le sue tante iniziative fu la creazione della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno), fu presidente del CNR nei periodi 1940-43 e 1956-60 e promotore dello sviluppo di istituti di ricerca industriali, tra cui la Fondazione Donegani, di cui fu presidente. Fu socio di numerose accademie italiane e straniere, fra le quali l'Accademia dei Lincei, della quale fu presidente dal 1958 alla scomparsa. Fu, dal 1930, membro della Classe delle Scienze fisiche, matematiche e naturali dell'Accademia d'Italia. Morì a Napoli il 24 gennaio 1961[15].

Un breve codicillo è necessario per segnalare che, strettamente apparentata con l'"Elettrochimica" è stata ed è la disciplina nata nel 1960 con la denominazione di "Corrosioni", diretta essenzialmente all'Ingegneria chimica[16]. L'insegnamento fu tenuto dal 1960-61 al 1962-63 da Mario Maria Jacopetti, che aveva sollecitato il suo inserimento nel corso di studi; con la sua scomparsa, passò per alcuni anni ai docenti incaricati Falco Siniscalco, Paolo Giordano Orsini e Luigi Nicodemo e poi, a partire dal 1979-80 fino all'inizio degli anni '90, a Mario Arpaia, prima da incaricato, poi da associato.

Discipline inerenti alla "Chimica fisica"

Un'altra disciplina introdotta con la riforma del 1960 è stata la "Chimica fisica". Anch'essa mutuata dalla Facoltà di Scienze, aveva essenzialmente contenuti di termodinamica, che è il nome della materia corrispettiva, inserita oggigiorno nei piani di studio dell'Ingegneria chimica. La materia, tranne che nell'esordio, ha sempre avuto un taglio tipicamente ingegneristico nell'impostazione, cosa che l'ha sempre

distinta dalla consorella di Scienze. La prima docente della disciplina fu Liliana Jannelli, che la insegnò per incarico dal 1960-61 al 1962-63. L'insegnamento passò poi a Giovanni Astarita[17], che seppure con qualche interruzione, tenne il corso per incarico fino all'A.A. 1974-75. Ne furono poi incaricati successivamente Giulio Cesare Sarti dal 1975-76 al 1978-79 e Francesco Saverio Alfani dal 1979-80 al 1985-86.

Sempre a partire dal 1960, un'altra materia, denominata "Complementi di Chimica fisica", fu introdotta nei piani di studio per allievi ingegneri chimici. Il programma era essenzialmente rivolto allo studio della meccanica quantistica. La disciplina venne successivamente espunta dal corso di studio, perché le conoscenze fornite non furono considerate necessarie alla formazione di un ingegnere chimico. La materia fu insegnata, sempre per incarico, prima da Mario Maria Jacopetti nell'anno dell'esordio, quindi per un anno da Falco Siniscalco, poi da Paolo Giordano Orsini fino al 1967-68 e da Giuseppe Marrucci fino alla fine degli anni '60, infine da Roberto Greco fino a metà degli anni '80.

La "Chimica" di base e la "Chimica II"

Non si può concludere questa breve carrellata sulle più recenti proposizioni di discipline chimiche nella Scuola d'Ingegneria di Napoli senza accennare alla chimica di base e alla sua evoluzione nel tempo.

Prima che si addivenisse alla istituzione della Facoltà d'Ingegneria, gli studenti che si immatricolavano alla Scuola di Applicazione, o Politecnica, dovevano aver conseguito una licenza di un corso biennale fisico-matematico, che comprendeva anche la chimica. A partire dal 1935, la neonata Facoltà d'Ingegneria inglobò il biennio di base ed ebbe suoi corsi di "Chimica", che furono a lungo comuni con quelli di altre facoltà. La riforma del 1960 contemplò che l'Ingegneria avesse dei corsi di "Chimica" dedicati, inizialmente due, poi multiplati dato il notevole incremento del numero di studenti. Tali corsi erano dati per incarico a docenti provenienti dalla Facoltà di Scienze fino a quando, a partire dall'inizio degli anni '70, si ricorse a incarichi "interni" ovvero conferiti solo a docenti di Ingegneria. Il primo docente a ricoprire una cattedra nella disciplina fu nel 1971-72 il già più volte ricordato Paolo Giordano Orsini[18], seguito poi negli anni da una numerosa schiera di cattedratici.

In aggiunta, occorre ricordare che a fine anni '70 fu istituita per i soli allievi Ingegneri chimici anche la disciplina di "Chimica II", che ebbe programmi più volte diversificati e svariati docenti. La prima cattedra della materia fu ricoperta dalla già menzionata Liliana Jannelli[19] nel 1977-78.

Conclusioni

Nei duecento e più anni di vita della Scuola d'Ingegneria di Napoli, le discipline chimiche, nate per fornire conoscenze di base a tutti gli studenti, si sono via via differenziate anche a livello di singoli corsi di laurea per adeguarsi alle specifiche esi-

genze richieste dai piani di studio. Nel contesto di corsi di laurea miranti a formare ingegneri chimici o dei materiali si è avuta una notevole proliferazione di discipline chimico-materialistiche, soprattutto di indirizzo, che hanno notevolmente ampliato lo spettro dei saperi acquisibili onde far sì che lo studente potesse costruirsi un piano di studio sempre più prossimo alle sue aspettative professionali.

Bibliografia

Barone G. e Mazzarella L. 2014. Il ruolo di Francesco Giordani, scienziato e manager, tra la R. Scuola Superiore Politecnica e la Facoltà di Scienze MM.FF.NN. In: *Atti del 5° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino e G. Fabricatore). 2, 1249-1264. Napoli: Cuzzolin.

Barone G. e Mazzarella L. 2016. La scuola di Elettrochimica a Napoli da Oscar Scarpa a Mario Maria Jacopetti: sviluppo di un importante settore della Chimica tra Ingegneria e Scienze. In: *Atti del 6° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino). 1, 319-328. Napoli: Cuzzolin.

Colella C. 2015. Marussia Bakunin: una rilettura aggiornata della vita e della carriera. In: *Atti dell'Accademia Pontaniana*, n. s., 63, 119-162.

Colella C. 2018. Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte prima: Dal decennio francese alla riforma Casati. In: *Atti del 7° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). 1, 257-266. Napoli: Cuzzolin.

Colella C. 2019. La Bakunin e poi? La chimica al femminile a Napoli nel primo Novecento. In: *Atti dell'Accademia Pontaniana*, n. s., 67, 219-275.

Colella C. 2020. Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte seconda: Dalla chimica degli "assaggi" alla scienza e tecnologia dei materiali. In: *Atti dell'8° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). 1, 89-99. Napoli: Cuzzolin.

Marrucci G. 2006. Dalla "Ingegneria + Chimica" all'Ingegneria Chimica. In: *Atti del 1° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di A. Buccaro, G. Fabricatore, L. M. Papa). 1, 139-146. Napoli: Cuzzolin.

Note

1. Cfr. (Colella, 2020: nota 11).
2. Per la verità un corso denominato "Tecnologie ceramiche" era stato già proposto agli allievi ingegneri industriali dall'A.A. 1932-33 al 1934-35 ed era stato tenuto da Orazio Rebuffat (Colella, 2020: 115-117). Era all'epoca una disciplina che veniva impartita senza emolumento e aveva l'obiettivo di trasmettere agli allievi le profonde conoscenze del docente nel settore dei materiali ceramici, di cui era, relativamente a quelli artistici, anche un appassionato collezionista.
3. Questo corso copriva interessi più vasti di quelli tipici dell'Ingegneria ed ebbe una certa diffusione anche fra studenti di Architettura e di Lettere (con orientamento nei Beni culturali).
4. Pietro Falciola, nato a Voghera il 30 giugno 1878, si laureò a Torino in Chimica farmaceutica nel 1901. Nel 1904, al seguito del suo mentore Felice Garelli, fu a Napoli nella Scuola Superiore Politecnica, dove conseguì la libera docenza in Chimica tecnologica. Fu assistente presso la stessa cattedra e dal 1910 al 1918 insegnò l'omonima disciplina,

in luogo di Garelli che si era trasferito a Torino. Scambiò poi con Orazio Rebuffat il suo incarico con quello di Chimica analitica e tenne questo insegnamento, sempre come incaricato, dal 1919 al 1933, quando la materia fu soppressa. Si ritrasferì quindi a Voghera, dando un taglio netto alla chimica e alla scienza in genere, occupandosi da quel momento fino alla morte, sopravvenuta il 3 dicembre 1956, di ricerche storico-paleografiche di interesse locale. Nella sua vita scientifica fu molto attivo, dando alle stampe molte decine di memorie nei settori in cui aveva insegnato.

5. Silvia Restaino (1899-1984), di origine lucana, fu a lungo incaricata di "Chimica analitica" e poi di "Esercitazioni di analisi chimica qualitativa" presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Napoli. Un ampio profilo biografico della studiosa è incluso in (Colella, 2019).
6. Alberto De Dominicis, nacque a Teramo il 20 febbraio 1879. Affetto da tisi in giovane età, fu costretto a rallentare gli studi e riuscì solo a 31 anni a laurearsi in Chimica presso l'Università di Roma. Intraprese la carriera accademica sotto la guida di Celso Ulpiani (1867-1919), famoso agronomo, di cui fu allievo. Quando Ulpiani, vincitore di cattedra nel 1906 alla Scuola agraria di Portici, gli chiese di seguirlo, il giovane colse al volo l'occasione e seguì il maestro, del quale fu poi il successore sulla cattedra di Chimica agraria, a partire dal 1924. De Dominicis fu un grande ricercatore, soprattutto in campo pedologico e agronomico. Fu per due trienni, dal 1946 al 1952, preside della Facoltà di Agraria. Morì, mentre era in vacanza, a Francavilla al Mare il 20 febbraio 1952.
7. A eccezione dell'anno 1906-07, in cui fu in congedo per motivi di famiglia e fu supplito da Marussia Bakunin.
8. Si noti che Rebuffat nell'A. A. 1926-27 modificò il nome del corso, che assunse la denominazione di "Chimica tecnologica inorganica".
9. Nei primissimi anni, anche se negli annuari non è sufficientemente chiaro, sembra che le discipline di "Chimica organica" e "Chimica analitica" costituissero due moduli di un solo corso e che quindi prevedessero un solo esame.
   Come detto, anche il docente era lo stesso, Orazio Rebuffat.
10. È possibile che le nozioni fondamentali di "Chimica organica" venissero proposte nel corso di "Chimica industriale".
11. Il nome di battesimo era Maria, ma adottò quasi sempre il nomignolo di origine russa come suo appellativo, in allusione alla nazionalità del padre, l'anarchico Michail, che in realtà era incontestabilmente solo il padre legale, essendo lei nata dalla relazione della madre con l'avvocato napoletano Carlo Gambuzzi (Colella, 2015).
12. Negli anni iniziali della sua introduzione come materia d'insegnamento nella Scuola Politecnica è riportato che la sua denominazione completa sia stata: "Elettrochmica e Impianti di Industrie chimiche".
13. Oscar Scarpa nacque a Venezia l'11 gennaio 1876. Laureatosi in Fisica nel 1901 a Torino, conseguì nel 1906 la libera docenza in Fisica sperimentale, e si trasferì a Napoli, dove tenne l'incarico di "Elettrochimica" fino al 1916-17. Nel corso della permanenza a Napoli pubblicò oltre ottanta lavori su argomenti molto diversificati nel campo dell'elettrochimica e delle chimica-fisica. Nel 1917 Scarpa si ritrasferì al Politecnico di Torino in qualità di professore incaricato, poi ordinario, di insegnamenti diversi, prima di passare nel 1928 al Politecnico di Milano come titolare di cattedra di Elettrochimica, Chimica Fisica e Metallurgia, posizione che tenne fino al pensionamento. Morì a Bordighera il 16 marzo 1955 (Barone e Mazzarella, 2016).

14. Mario Maria Jacopetti, nato a Napoli il 26 giugno 1908, si laureò presso la locale Università in Ingegneria. Fu allievo di Giordani. Si occupò inizialmente di misure di resistenza di accumulatori e di elettrolizzatori e successivamente di fenomeni di corrosione. Conseguita nel 1942 la cattedra di Elettrochimica e la direzione dell'omonimo Istituto, svolse un ruolo attivo nello studio delle sovratensioni e dei fenomeni di corrosione per conto della Fondazione Politecnica. Con l'istituzione nel 1950 della Cassa per il Mezzogiorno, Jacopetti ne divenne uno dei referenti per lo studio e la protezione degli impianti dalla corrosione. Ebbe ruoli manageriali e ricoprì diverse cariche pubbliche e private. Morì in Sicilia, a seguito di un incidente stradale, l'11 aprile 1963.
15. Per approfondimenti si veda (Barone e Mazzarella, 2014).
16. Allo stato la materia si chiama "Corrosione e protezione dei materiali" e viene proposta alla sola Ingegneria dei Materiali.
17. Giovanni Astarita, nato a Napoli il 7 ottobre 1933, si laureò in Ingegnera chimica nel 1957. Fu, con Leopoldo Massimilla (1930-1993) uno dei due giovani laureati su cui Malquori puntò per rivoluzionare l'ingegneria chimica napoletana. Inviato negli Stati Uniti, prese ivi un master e vi ritornò costantemente negli anni per tenervi un corso presso l'Università del Delaware. A Napoli, vinse nel 1966 la cattedra di Principi di Ingegneria chimica, che insegnò fino alla prematura scomparsa. Fu studioso in numerosi campi dell'ingegneria chimica e dei materiali. Morì a Napoli il 28 aprile 1997.
18. Paolo Giordano Orsini nacque a Napoli il 24 aprile 1926. Laureato in Chimica industriale nel 1949, fu assistente di Chimica e libero docente di Chimica fisica. Fu docente incaricato di varie discipline in Facoltà di Scienze e di Ingegneria e studioso eclettico nel campo della chimica fisica e della scienza dei materiali. Vincitore del concorso a cattedra di Chimica presso l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli nel 1964, vinse successivamente la cattedra di Chimica presso la Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Napoli nel 1971, cattedra che tenne fino al 1985. Si trasferì quindi all'Università di Trento sulla cattedra di Tecnologia dei Materiali e Chimica applicata, che insegnò fino a poco prima del fuori ruolo. Morì a Trento il 24 luglio 1996.
19. Liliana Jannelli, nata a Napoli l'11 ottobre 1921, si laureò in Chimica nella università partenopea nel 1942. Assistente e libera docente in Chimica fisica, fu prevalentemente una studiosa di termodinamica delle soluzioni. Seconda donna laureata a Napoli a raggiungere la cattedra, ben cinquanta anni dopo Bakunin, fu titolare di Chimica fisica a Bari dal 1960 al 1975. Vinse poi un secondo concorso a cattedra di Chimica a Napoli, dove insegnò in Facoltà d'Ingegneria fino al fuori ruolo. Morì a Napoli il 20 agosto 1992.

Ruggiero Jappelli, Carlo Viggiani

L'Ingegneria Geotecnica a Napoli dalle macerie della Seconda Guerra Mondiale

The Foundation Engineering in Naples from the Ruins of the Second World War

Sommario
La memoria, che si ricollega a precedenti contributi AISI, trae spunto dal comune impulso di due anziani allievi della Facoltà di Ingegneria di Napoli di collocare fra le pagine di Storia dell'Ingegneria l'origine dell'Ingegneria Geotecnica. Gli Autori si riferiscono alle prime ricerche condotte dal Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno d'Italia, fondato a Napoli nel 1936 da un illuminato Maestro che indicò la via a un giovane napoletano in procinto di partire per la guerra. L'esposizione muove dal ricco archivio delle ricerche compiute nel critico quinquennio1946-50 nell'atmosfera di sgomento, temperato dall'ansia della ricostruzione, che quel valoroso ingegnere trovò a Napoli dopo la prigionia. Gli Autori si soffermano su un'indagine che ritengono rappresentativa della conoscenza nell'immediato dopoguerra concernente la fondazione di un importante ospedale, ricostruito su un terreno dell'area limitrofa al Porto, che nel 1942 subì uno dei più disastrosi bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. In quella ricerca, della quale riproducono stralci dalle memorie originali, fissano idealmente l'inizio del difficile cammino che fu necessario per trasformare un'arte, non scevra di pregiudizi, in una nuova branca che attraversa le basi di tradizionali discipline dell'Ingegneria Civile.

Abstract
With reference to old documents emerged from the archive of the Centro Geotecnico, founded in Naples in 1936, a story is told of the geotechnical design of a building rebuilt on a site of the marginal land of the harbour destroyed by bombing during the Second World War. Equipment used for site and laboratory investigations, as well as the technical solution adopted for the foundations, derive from obsolete knowledge and technology; nevertheless, from that and similar investigations carried out in the post war emergency climate, the Neapolitan scholars gained a strong educational heritage. The main learned lessons are the unified approach to the aspects of design and construction problems; the habit of a reasonable caution; the preference for robust

solutions as supported by an observational approach applied in the modern appropriate version recommended by far-sighted engineers.

Viresque acquisit eundo
(Eneide IV, 175)

Premessa

Qualcuno ha scritto che esiste una zona compresa fra storia e memoria, ossia fra il passato come archivio generale aperto a un'indagine relativamente spassionata e il passato come parte o sfondo dei propri ricordi personali. In questa seconda zona si collocano, per gli Autori di questa nota, i primi passi del Centro Geotecnico, che avrebbe dato origine alla Scuola di Geotecnica di Napoli, alla prima Cattedra e al primo ed unico Dipartimento di Ingegneria Geotecnica in Italia.

La storia ha inizio negli anni '30, allorché alcuni illustri docenti di differenti discipline della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli, ispirati da Girolamo Ippolito, affidarono a un giovane ingegnere napoletano il compito di sostituire a un'arte, fino ad allora fondata su ricette che si tramandavano di padre in figlio, una disciplina razionale, quale andava configurandosi in altri Paesi. Nel 1940 quel valoroso giovane, partito per la guerra, fu subito prigioniero in Africa; ma non si scoraggiò e proseguì negli studi propedeutici al difficile compito con il supporto di libri che quei lungimiranti docenti ebbero cura di fargli recapitare. Rientrato, dopo questa triste esperienza, l'ostinato Arrigo Croce si adoprò per coltivare la nuova disciplina nel *Centro Geotecnico*, presso la Scuola di Ingegneria di Napoli, e per fondare e diffondere un'*Associazione Geotecnica Italiana.*

L'Autore *senior* partecipò fin dal quinquennio 1947-51 all'attività del *Centro* da studente interno; l'Autore *junior* vi entrò nel 1960 ancora in tempo per respirare quell'atmosfera. Con la presente nota quei due allievi, oggi in pensione, si ritrovano per offrire una testimonianza di quel brano di storia napoletana narrata nelle prime ricerche affidate al *Centro*[1]. Per un riferimento al sottosuolo di Napoli, si soffermano sullo studio delle fondazioni dell'Ospedale Santa Maria di Loreto, ricostruito in quegli anni su un lembo dell'area limitrofa al Porto che il 14 dicembre 1942 subì uno dei più disastrosi bombardamenti (Wanderlingh, 1998). Come accade nei colloqui fra persone anziane, che volentieri rivangano cose della giovinezza, il ricordo sfocato di quella ricerca è tornato alla mente sullo sfondo di persone e vicende della Facoltà di Ingegneria a Via Mezzocannone, rimasta fra i "luoghi dell'anima" dei due Autori.

A quei tempi gli archivi erano tenuti con cura. Da quell'antico giacimento sono emerse alcune note interessanti (Croce, 1946; Ippolito, 1946; Croce, 1947; Croce, 1952b). La nota (Croce, 1952a) ci informa che «… si sono rivolti al Centro per lo studio dei loro problemi geotecnici organi dello Stato, come l'Ufficio del Genio Civile di Napoli, Enti finanziati dallo Stato, come gli Enti per l'Irrigazione e la Riforma

Fig. 1 – La zona orientale di Napoli con il Castello del Carmine, le mura aragonesi, il Ponte della Maddalena, la foce del Sebeto; ad ovest il Borgo Loreto (Didier Barra, 1647).

Agraria ed i Consorzi di Bonifica, grandi Società industriali, come la Meridionale di Elettricità, la Generale Elettrica della Sicilia, la Idroelettrica del Tevere, la Lepetit». Un'altra (Croce, 1952b) ha per scopo «… mostrare come attraverso l'indagine geotecnica sia effettivamente possibile giungere ad una conoscenza della costituzione del sottosuolo sufficientemente precisa per sviluppare lo studio razionale di un'opera di fondazione. A tal fine vengono illustrate le indagini e le prove di cantiere e di laboratorio condotte per lo studio dei terreni di fondazione di due edifici e di due dighe di derivazione». Uno degli edifici era l'Ospedale S. Maria di Loreto nell'antico Borgo omonimo, che si intravede in Figura 1.

Nella Storia dell'Ingegneria è importante riconoscere per ogni materia il momento in cui l'arte del costruire si trasforma in criteri razionali; così l'arte di vincolare stabilmente un manufatto al suolo, oggetto ormai di una consolidata disciplina, era rimasta affidata all'intuito, che alcuni precursori non di rado basavano su pregiudizi. L'avvento dell'Ingegneria Geotecnica in Italia gli Autori collocano nel quinquennio 1946-51, in cui furono prodotte le prime memorie del Centro; successivamente, la Rivista Geotecnica offrì la strada a quell'avventura descritta da Arrigo Croce con la prudenza di chi sa di addentrarsi in «un bosco che da nessun sentiero era segnato». L'incontro con catastrofi naturali e artificiali, che quel cammino marcano, rende certamente più difficile il lavoro; una delle svolte nella Storia, che l'AISI propone di trattare "nelle crisi e nelle emergenze", ebbe luogo in conseguenza del bombardamento mirato alla fascia costiera dell'area urbana di Napoli limitrofa al Porto; la situazione si aggravò il 28 marzo 1943 per lo scoppio della nave.

Il caso Loreto

L'Ospedale, che si riconosce in Figura 2, è descritto come segue (Croce, 1952b): «Una delle aree della città di Napoli più colpita dal bombardamento aereo durante la guerra è stata la fascia di caseggiati, che si estende a tergo del Porto fra il molo Beverello ed il molo Vigliena, vecchi edifici a quattro o cinque piani, addossati gli uni agli altri e costruiti generalmente con muratura di tufo. La distruzione fu totale per gran parte degli edifici, mentre si può dire che nessun edificio restò completamente indenne da danni. La nuova sistemazione urbanistica della zona si impernia sulla creazione di una importante arteria, la via Marittima, su cui oggi sorgono i primi, nuovi edifici, Fra questi, l'ospedale S. Maria di Loreto. Il vecchio Ospedale era stato gravemente colpito, per cui ben presto ne venne decisa la ricostruzione, spostandone però, sebbene di poco, l'ubicazione. Più che di una ricostruzione, quindi, deve parlarsi di una costruzione completamente ex-novo. Il nuovo edificio è in cemento armato; la sua fondazione è di un tipo fuori dell'usuale e riteniamo quindi che possa offrire un certo interesse illustrare le ragioni per cui una tale opera è stata prescelta, tanto più che i relativi terreni di fondazione si ripetono con caratteri molto simili in altri punti della via Marittima, fino alla Centrale Maurizio Capuano e probabilmente anche oltre».

Fig. 2 – Nella foto da satellite si riconosce la sagoma dell'Ospedale Loreto Mare lungo la Via Amerigo Vespucci (Google Earth).

Nella Figura 3 (Centro Geotecnico, 1949) «è disegnata la pianta schematica dell'Ospedale e vi sono indicate le posizioni dei cinque sondaggi, che vennero eseguiti per riconoscere la costituzione del sottosuolo. I sondaggi raggiunsero la profondità di circa venticinque m sotto il piano stradale, salvo che per il sondaggio VI, il quale a causa di un incidente venne arrestato alla profondità di nove metri. Data, però, come appresso vedremo, l'uniformità dei caratteri dei terreni nella zona esplorata, si ritenne superfluo ripetere il sondaggio citato. Nel corso dei sondaggi vennero prelevati dai materiali estratti con la sonda numerosi campioni; non fu invece possibile prelevare che quattro campioni intatti, poiché

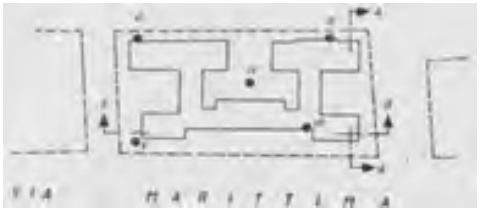


Fig. 3 – Planimetria con l'ubicazione dei sondaggi (Croce, 1952b).

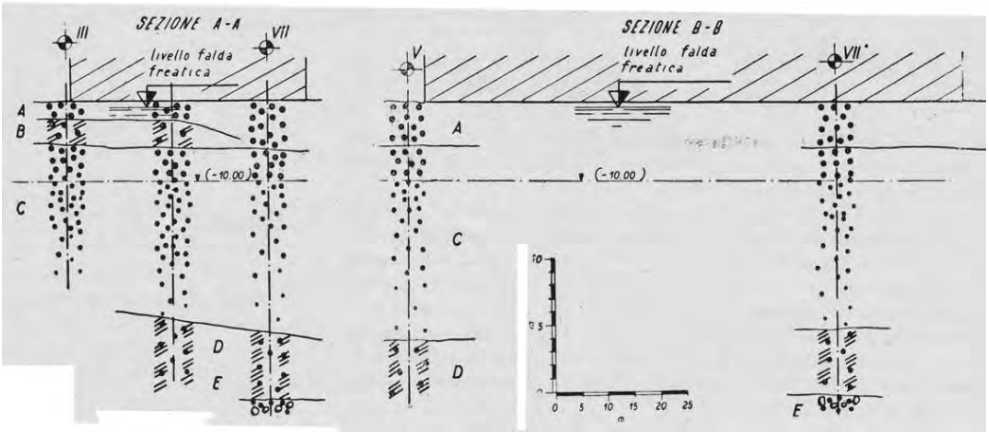


Fig. 4 – Sezioni stratigrafiche (Croce, 1952b).

i terreni costituenti il sottosuolo sono quasi sempre perfettamente incoerenti. Per questa ragione fu inevitabile affrontare lo studio del problema con una insufficiente conoscenza delle caratteristiche dei terreni in sito (porosità, compressibilità, etc.). In compenso, però, si notò subito nel corso stesso dei sondaggi – e se ne ebbe la conferma dal successivo studio della composizione granulometrica e mineralogica dei vari campioni più o meno rimaneggiati – che il sottosuolo in esame era costituito da pochi tipi di terreni». Nella Figura 4 «sono tracciate le due sezioni A-A e B-B, in cui per comodità i vari tipi di terreni sono indicati con lettere alfabetiche. Premettiamo che data la discreta permeabilità di tutti i terreni incontrati nel sottosuolo, fino alla profondità esplorata si osserva la falda freatica con pelo libero a quota (- 4,50) circa, avendo assunto come zero un caposaldo di riferimento locale. A partire dall'alto, dopo il materiale di riporto costituito principalmente dalle macerie dei fabbricati distrutti dai bombardamenti, si incontra una sabbia – indicata con la lettera A – a grana molto uniforme».

Segue una minuziosa descrizione di questo terreno di fondazione non coesivo, che passa da sabbia a sabbia più o meno limosa nelle sue varie gradazioni granulometriche, in Figura 5, in differente stato di addensamento, e delle corrispondenti difficoltà di campionamento. Sulle indagini si conclude (Croce, 1952b): «Volendo ri-

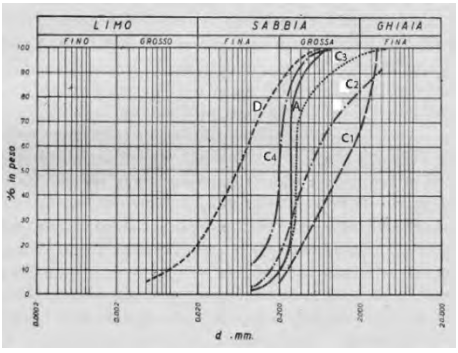


Fig. 5 – Granulometria dei terreni (Croce, 1952b).

assumere gli elementi emersi dall'esame dei vari terreni costituenti il sottosuolo su cui è fondato l'edificio, possiamo dire che ne è caratteristica la formazione di sabbia C in *facies litorale*, di potenza notevole ai fini tecnici - circa 14 metri – delimitata in alto da una superficie pressappoco piana posta intorno a quota (- 7,50) e perciò a tre metri sotto il pelo libero della falda freatica. Sia a tetto che a muro della formazione C si trovano terreni più o meno compressibili. In alto si notano i terreni A e B, dei quali quest'ultimo è nettamente più compressibile ed inoltre ha forma lenticolare, risultando presente alle spalle dell'edificio e mancando invece sul fronte. Inferiormente alla formazione C si incontra la sabbia limosa D, che in base ai risultati delle prove di compressione edometrica è da considerare alquanto compressibile e che soprattutto è da ritenere particolarmente sensibile a vibrazioni e scuotimenti.»

Ricostruito un modello di sottosuolo, si discute il progetto della fondazione. Si decide di trasmettere i carichi dell'edificio alla formazione C, che: «… si presentava con potenza considerevole ed uniformità di composizione nelle varie verticali esplorate con i sondaggi; benché non fosse stato possibile prelevare alcun campione intatto e quindi mancassero i risultati di prove di laboratorio era lecito ritenere che essa possedesse buone caratteristiche meccaniche. Il problema da risolvere era dunque quello di trasmettere i carichi dell'edificio direttamente alla formazione C, tenendo naturalmente conto della presenza della falda freatica.». Era previsto uno sbancamento generale fino a quota (- 4,00), per la creazione di un piano interrato; con la falda a (- 4,50) lo scavo rimaneva all'asciutto. Il tetto della C era a (- 7,50), oltre tre metri al di sotto del piano di sbancamento e circa tre metri sotto la falda.

Per la fondazione furono considerate diverse soluzioni. La prima su pali, prevista in progetto; una seconda era la fondazione diretta con uno scavo di tre metri sotto la falda, della quale avrebbe richiesto l'abbassamento temporaneo; una terza, i pozzi autoaffondanti. La fondazione diretta venne subito scartata per difficoltà e incertezze esecutive e per il rischio di danni alle strutture vicine. Le altre due soluzioni furono esplorate a fondo con prove in sito in vera grandezza.

Segue un'ampia disamina sulla tecnica costruttiva dei pali: «Il tipo di palo più adatto, tenuto conto che la formazione C_1 era costituita da una sabbia incoerente, era senza dubbio il palo battuto, per varie ragioni, ben note e che non è il caso di richiamare. Alla sua adozione si opponevano però considerazioni di carattere pratico, fra cui quella della presenza, nelle immediate adiacenze, di edifici in precarie condizioni di stabilità, i quali avrebbero potuto essere seriamente danneggiati dalle scosse che inevitabilmente si producono nella costruzione di pali di questo tipo. Esclusi dunque i pali battuti, restava da esaminare l'eventualità di fondare l'edificio su pali trivellati. Nelle grandi linee è ben nota quale sia la tecnica costruttiva di questo tipo di palo così diffuso: trivellazione del terreno con sonda a percussione e contemporaneo affondamento di una tubazione di rivestimento; seconda fase: getto del calcestruzzo e ritiro della tubazione di rivestimento. I dettagli esecutivi sono invece molto vari

e l'intelligenza ed abilità degli operai hanno considerevole influenza nella buona riuscita del lavoro.»

Si decise di costruire pali da sottoporre a prova (Centro Geotecnico, 1949): «I pali trivellati vengono in generale eseguiti secondo la tecnica seguente: trivellazione del terreno con tubazione di acciaio di rivestimento e sonda a percussione; getto di calcestruzzo al fondo del foro trivellato mediante benna - se si è in presenza della falda freatica, il cui pelo liquido sia a quota superiore a quella del fondo del foro, il getto avviene sott'acqua; pistonatura del calcestruzzo introdotto in colonna, non appena esso ha raggiunto un'altezza di 1 – 2 metri, allo scopo di formare un tappo sul fondo; aggottamento dell'acqua che si trova in colonna sopra il tappo; prosecuzione del getto all'asciutto e sollevamento graduale del tubo di rivestimento; contemporanea energica battitura del calcestruzzo via via versato. Il palo n. 1 è stato costruito secondo la tecnica descritta.» Il dettagliato resoconto si conclude come segue: «… la costruzione di questo palo è stata piuttosto delicata; essa ha richiesto molta abilità ed attenzione da parte del personale di manovra. Questa stessa osservazione abbiamo avuto occasione di fare già altre volte in condizioni analoghe. Considerando che in un lavoro di costruzione su larga scala è ben difficile poter garantire la stessa capacità in tutte le squadre di operai al lavoro, mentre nel tempo stesso non è praticamente possibile, dato il tipo di costruzione, esercitare un controllo completo e sicuro, abbiamo ritenuto preferibile passare ad una tecnica costruttiva più semplice […]. Invero, per i pali dal 2 all'8 la tecnica costruttiva è stata modificata: trivellazione del terreno come per il palo n. 1; getto mediante benna sott'acqua e fino ad una quota di poco inferiore a quella della falda freatica; aggottamento totale dell'acqua rimasta in colonna; pistonatura a fondo della rimanente parte del palo ed estrazione della colonna di rivestimento. Come si comprende, questa tecnica costruttiva è molto più semplice di quella adottata per il palo n. 1 e quindi molto più sicura in un lavoro di serie […]. Il getto per tutti i pali è stato eseguito con calcestruzzo in dosatura normale, adoperando cemento a lenta presa tipo 500. Gli impasti venivano preparati su un'area pavimentata in quantitativi di mezzo metro cubo per volta man mano che procedeva il getto e con aggiunta alquanto scarsa di acqua. Il calcestruzzo così preparato veniva trasportato con carriola nei pressi del palo in costruzione ove veniva nuovamente rimescolato aggiungendovi acqua, la cui proporzione andava man mano variando in relazione alle condizioni del getto in colonna».

Così operando furono costruiti otto pali di prova, le cui caratteristiche geometriche sono riportate nella Tabella 1 con i valori determinati per il carico limite. Le lunghezze ridotte dei pali erano determinate dalla stratigrafia; paragonato con il previsto, il valore realizzato è un evidente indicatore delle difficoltà esecutive.

I risultati delle prove di carico vengono così commentati: «Si può notare che non vi è nei pali provati una marcata differenza nei valori del carico limite al variare della lunghezza dei pali e del diametro della tubazione di rivestimento. Se consideriamo i

Tabella 1 – Pali di prova

Palo n.	*Diametro (m)*	*Lunghezza (m)*		Q_{lim} *(t)*
		Prevista	*Realizzata*	
1	0,37	8,00	7,90	82
2	0,37	8,00	5,22	72
3	0,37	8,00	7,82	78
4	0,37	11,00	11,50	87
5	0,37	14,00	13,75	75
6	0,42	8,00	7,63	77
7	0,42	14,00	14,45	84
8	0,42	11,00	10,25	93

pali 2, 3, 4 e 5, si osserva che il carico limite del palo 5, che è più lungo dei pali 3 e 4, è addirittura inferiore al carico limite di questi due pali. Se anche si paragonano i pali 3 e 4 si vede che ad un aumento della lunghezza del 47% corrisponde un aumento del carico limite dell'11% soltanto. Lo stesso vale per i pali 6, 7 e 8. Così pure passando dai pali costruiti con tubazione da 370 mm a quelli costruiti con tubazione da 420 mm non si risconta alcun sensibile aumento del carico limite. Queste modeste caratteristiche del palo sono da ascrivere a difetti fondamentali del metodo di costruzione del palo in relazione alla costituzione dei terreni di fondazione in esame».

Segue un paragrafo sui pozzi autoaffondanti e sulla relativa prova di carico. Il pozzo, concepito per l'occasione, era un tubo di cemento armato centrifugato, lungo 4 m, con diametro interno 0,8 m e spessore 7 cm. Il tubo veniva agganciato per la sua estremità superiore al cavo di un'attrezzatura per pali trivellati, come in Figura 6; iniziato l'affondamento per peso proprio, appena necessario, si introduceva nel tubo una sonda del diametro di 50 cm per estrarre il terreno. L'affondamento procedette con grande facilità fino a m 3,65 al di sotto del pelo libero della falda, e quindi a circa 70 cm entro la formazione C. A questo punto, mantenendo l'acqua all'interno del tubo al livello della falda, si eseguì un getto sott'acqua con una benna del volume di circa 0,4 m^3; si realizzò così al fondo del tubo un tappo dello spessore di circa 75 cm. Dopo quattro giorni, il tubo venne vuotato dell'acqua; verificata la tenuta del tappo, un operaio venne calato all'interno per pulire la superficie superiore del getto di fondo; infine, il tubo fu riempito di calcestruzzo magro. Le operazioni si rivelarono agevoli e sicure, tanto da essere ripetute per l'intera fondazione.

Per la prova di carico, furono costruiti due pozzi affiancati, collegati da un plinto di c.a., come in Figura 7. Si dedusse per la coppia un carico limite di 130 t.

Fig. 6 – La costruzione del pozzo (Croce, 1952b).

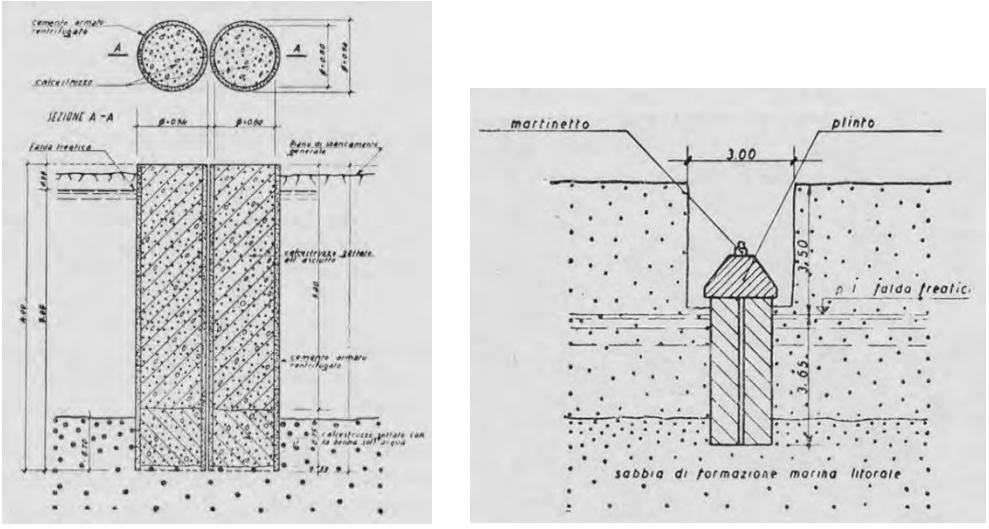


Fig. 7 – I due pozzi sottoposti a prova di carico (Croce, 1952b).

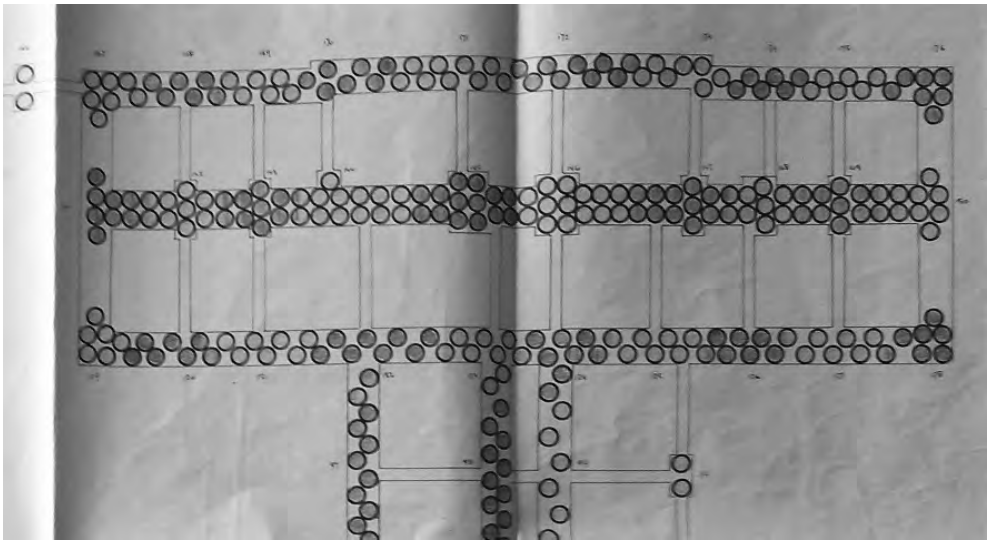


Fig. 8 – Un disegno inedito: lo stralcio planimetrico indica i pozzi minuziosamente previsti per la fondazione dell'Ospedale (Centro Geotecnico, R17b, 1949).

In definitiva, fu prescelta la soluzione su pozzi, la cui distribuzione, rappresentata in Figura 8 «… venne fissata in modo da realizzare una specie di fondazione su muri continui in cui però la struttura muraria era sostituita da una o due file di pozzi adiacenti. La ripartizione sui pozzi dei carichi trasmessi dai pilastri venne assicurata mediante travi continue di c.a.» Ne risultò un numero di pozzi pari a ben 1.215.

Commenti

Per darsi ragione della meticolosità con la quale si affrontarono quella ricerca e altri problemi, che oggi si risolverebbero quasi con disinvoltura, si consideri il fine che animava Croce e i suoi collaboratori, che dalle ricerche applicate traevano spunto per consolidare passo dopo passo la nuova disciplina, che oggi si distingue per tre caratteri (Flora et al., 2010).

Il terreno, cioè il mezzo sul quale, nel quale o con il quale sono realizzate le opere, è costituito da più fasi: uno scheletro solido poroso e il fluido (acqua nei terreni saturi, aria in quelli asciutti, miscela di aria, vapor d'acqua e acqua in quelli parzialmente saturi), che ne occupa i pori; ne segue la necessità di definirne il comportamento con la particolare meccanica del mezzo multifase. La variabilità, dovuta a terreni diversi, valori diversi dei parametri nello stesso terreno, comportamenti differenti da un problema all'altro; questa richiede specifiche indagini da condurre caso per caso, anche nel più modesto dei problemi. Le questioni costruttive e tecnologiche che prevalgono e talvolta costituiscono il fattore determinante.

Il primo di questi tre caratteri si risolve nel ricorso al cosiddetto "Principio delle tensioni efficaci". Nella fattispecie, il sottosuolo è costituito da terreni molto permeabili; tutti i processi avvengono in condizioni drenate e quel principio ha un rilievo marginale, anche se la trattazione ne tiene conto.

Quanto alla variabilità e alla possibilità di definire quantitativamente le caratteristiche meccaniche di quel terreno "non coesivo", esiste ormai una prassi consolidata e diffusa, basata sulle prove in sito: le prove penetrometriche statiche, CPT, e dinamiche, SPT; ma anche le prove pressiometriche, la misura *cross hole* e *down hole* della velocità delle onde di taglio con le quali si aggirano, a vari livelli di sofisticazione, i problemi del campionamento "indisturbato".

Le difficoltà incontrate nel campionamento dei terreni nel sito Loreto e nel riconoscerne lo stato di addensamento stimolarono fin da allora la ricerca di mezzi più idonei ai quali affidarsi (Rippa e Vinale, 1982) e la partecipazione all'International Group on Soil Sampling-IGOSS, nel quale Napoli ha rappresentato l'Associazione Geotecnica Italiana-AGI nel mondo tecnico internazionale per molti anni.

Dunque, l'indagine in un sottosuolo come quello del Loreto Mare sarebbe oggi di routine e condurrebbe a una pronta e sicura caratterizzazione meccanica di quei terreni superficiali che furono successivamente classificati "sabbie del litorale" e confinati nella zona 5 di Napoli (Croce e Pellegrino, 1968).

Per l'aspetto tecnologico, il progresso è ancora più evidente. L'uso di fanghi bentonitici nell'esecuzione di pali trivellati sotto falda e, soprattutto, l'avvento di pali non battuti a spostamento, come i trivellati a elica continua o tipo "Pressodrill" o "Omega" e simili hanno cambiato la scena. Anche per questo aspetto, oggi una soluzione su pali sarebbe possibile, efficiente e, soprattutto, di routine in alternativa alla fondazione diretta. Quanto ai pozzi autoaffondanti del diametro di 80 cm, si osservi che esistono oggi pali di diametro ben superiore, fino a tre metri e oltre.

Insegnamenti

In quelle antiche memorie si riconoscono: il "contesto", che propone all'ingegnere quesiti sempre diversi da luogo a luogo; il "sistema fondazione-sottosuolo", che ne esige la considerazione unitaria; l' "esperimento", che si compie proponendo al sistema un'interrogazione, della quale si rileva la risposta meccanica; la "cautela" di chi non sa il vero e procura di attenersi al certo con la continua osservazione; lo "sforzo" di ricondurre nell'alveo dell'ingegneria moderna quell'arte che gli antichi costruttori coltivavano con l'intuito; l' "addestramento" nella scrittura di dettagliati resoconti di indagini in sito e in laboratorio con appropriato linguaggio; la "capacità" di proporre soluzioni progettuali solo dopo accurata vagliatura di ogni possibile alternativa; l' "abitudine" a interagire per ogni aspetto di competenza con il progettista dell'opera in elevazione e, se necessario, a istituire un fruttuoso rapporto con il geologo ogni qual volta di quella competenza si avverta l'esigenza.

La ricerca esumata dalle “tombe di macerie” della Guerra fu compiuta 70 anni fa su un’area devastata da una catastrofe, alla quale seguì una difficile opera di ricostruzione con dolorosi accenti umani e sociali registrati dalla cronaca: «Mentre in Parlamento si discute sullo stanziamento di 250 miliardi per il riarmo, le donne napoletane, in un’assemblea a Barra indirizzano alla Giunta Comunale un ordine del giorno affinché si faccia interprete delle esigenze di Napoli presso il governo, chiedendo la costruzione di fognature e di case anziché di armi» (Wanderlingh, 1998).

Gli uomini, come gli ingegneri del Genio Civile, che in quell’antica area del Borgo[2] si adoprarono con cautela dopo il vasto intervento dei Vigili del Fuoco, agirono secondo quel processo osservazionale, che a Napoli si soleva perfezionare in corso d’opera avvalendosi della quotidiana collaborazione degli operai. Con l’avvento tecnologico quel fruttuoso colloquio è gradualmente scomparso; ma, gli ingegneri geotecnici di scuola napoletana ne conservano la propensione, nelle forme che permangono nel bagaglio culturale di tutti coloro che, pur apprezzando il fondamentale supporto della tecnologia, non ne restano affascinati e travolti e non rinunciano all’autopsia in luogo della contemplazione di un video e alla variante in corso d’opera ogniqualvolta la situazione la richiede.

Gli avanzamenti teorici, sperimentali e tecnologici nella Tecnica delle Fondazioni rendono oggi obsoleti i metodi di indagine e i criteri di progetto e di costruzione, ai quali si fece ostinato riferimento nei terreni non coesivi sede di quel manufatto, che dopo 70 anni rivela ancora un comportamento soddisfacente. Ma, dalle tracce dell’attività risalente a quegli anni pionieristici, gli Autori hanno tratto la ferma convinzione che la linfa proveniente da quelle radici, ormai lontane, ha trasmesso a generazioni di ingegneri durevoli insegnamenti. Virgulti, generati dalla costruzione culturale coltivata con perseveranza nel fertile terreno napoletano, furono trapiantati con successo in altre numerose sedi universitarie italiane e all’estero.

La ricognizione si conclude con un ricordo di Girolamo Ippolito, del quale gli Autori furono affezionati allievi, riproducendo la significativa prefazione (Ippolito, 1947) che il Maestro scrisse alla citata memoria scritta da Croce nel 1947:

«Gli avvenimenti succedutisi nel nostro Paese nell’ultimo quinquennio hanno avuto il loro inevitabile riflesso nello svolgimento della vita del Centro Geotecnico. L’attuazione del programma, al quale è fatto ripetutamente cenno nel volume II degli Atti della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno d’Italia, ha subito un notevole ritardo per le difficoltà di vario genere nelle quali sono venuti a trovarsi tutti gli Istituti di ricerca e per l’assenza dell’Ing. Arrigo Croce, al quale era stato affidato il compito di costituire il laboratorio e svolgere i primi studi. Nello stesso periodo il Centro ha perduto l’efficace collaborazione del Prof. Francesco Penta, trasferitosi a Roma, dove ricopre la cattedra di Giacimenti Minerari di quella Università. Con gli inizi del 1946 è stato possibile riprendere l’attività e la nota seguente illustra il lavoro compiuto. Benché non possa ancora dirsi che la fase iniziale di avviamento sia stata del

tutto superata, siamo riusciti a creare i mezzi e le condizioni necessarie per iniziare quel lavoro di ricerca scientifica e tecnica che è nei fini del Centro.

Nell'ultimo quarto di secolo le indagini teoriche e sperimentali nel campo della geotecnica sono andate moltiplicandosi per adeguare questo arretrato settore dell'ingegneria ai continui progressi che andavano realizzandosi nella scienza e nella tecnica delle costruzioni. I brillanti risultati conseguiti hanno incoraggiato a persistere nello sforzo e hanno dimostrato come anche le deformazioni che si producono in una formazione naturale o in un complesso artificiale di rocce sciolte possano molto spesso essere prevedute almeno come ordine di grandezza. D'altro canto molti dei criteri di proporzionamento adottati nel passato si sono dimostrati erronei alla luce delle nuove ricerche; alcuni dei problemi affrontati si sono dimostrati assai più complessi di quanto fosse lecito prevedere per l'intervento di cause difficilmente analizzabili; numerose questioni attendono ancora di venire chiarite. In ogni caso è emerso che in questo campo il ricercatore deve più che mai controllare passo per passo le proprie deduzioni teoriche con l'esperienza, e che non è lecito trasferire risultati ottenuti in determinate condizioni e per certi terreni a condizioni e terreni differenti. È questo un fatto della massima importanza per noi che, accanto a terreni simili alle rocce di natura argillosa di alcune regioni dell'Europa Settentrionale e degli Stati Uniti di America che hanno costituito il banco di prova dei nuovi metodi di calcolo, incontriamo terreni di natura del tutto diversa come le rocce sciolte incoerenti di origine vulcanica.

Di fronte all'ampiezza ed alla complessità del problema è indispensabile esercitare uno sforzo intenso e continuo. II Centro Geotecnico ha l'ausilio degli Istituti di Costruzioni Idrauliche, Scienza delle Costruzioni, Costruzioni Stradali e Ferroviarie, Geologia Applicata dell'Università ·di Napoli. Io esprimo qui la speranza che le pubbliche amministrazioni ed i costruttori vogliano portare il loro contributo di esperienza e di mezzi all'opera intrapresa.».

Girolamo Ippolito, Presidente del Comitato Direttivo del Centro Geotecnico

Riferimenti bibliografici

Centro Geotecnico. 1949. Ospedale Santa Maria di Loreto in Napoli, Ricerca 17a. Nota Tecnica sulle Fondazioni; Ricerca 17b, Studio dei Terreni e delle Opere di Fondazione.

Croce A. 1946. Organizzazione dello studio dei terreni di fondazione e del rilievo delle carte geotecniche. Ricerca Scientifica e Ricostruzione, XVI, 5-6.

Croce A. 1947. Il Centro Geotecnico nell'anno 1946. In: Atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno, III, Napoli.

Croce A. 1952a. Attività del Centro Geotecnico nel Quinquennio 1947-51. In: Atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno, IV, Napoli.

Croce A. 1952b. Studi Geotecnici. In: Atti della Fondazione Politecnica per il Mezzogiorno, IV, Napoli.

Croce A., Pellegrino A. 1968. Il sottosuolo della Città di Napoli, Caratterizzazione geotecnica del territorio urbano. Vol. 59, Istituto di Tecnica delle Fondazioni e Costruzioni in Terra dell'Università di Napoli. ESI, Napoli.

Flora A., Jappelli R., Viggiani C. 2010. Itinerari storici nell'Ingegneria Geotecnica Italiana. In: Atti del 3° Convegno nazionale di Storia dell'Ingegneria, aprile, I, 339-348. Cuzzolin Editore, Napoli.

Ippolito G. 1947. Prefazione alla Memoria Croce. 1947.

Rippa F., Vinale F. 1982. Experience with CPT in Eastern Naples Area. In: Proceedings of the 2nd European Symposium on Penetration Testing. ESOPT 2, Amsterdam, May, 1, 797-804.

Wanderlingh A. 1998. Storia fotografica di Napoli. Intra Moenia, Napoli.

Note

1. Alla gestione si fece fronte «con i proventi delle ricerche per terzi e per l'abnegazione di coloro che dedicano la propria opera al Centro: gli Ingegneri Giovanni Sapio, Ruggiero Jappelli, Mario Paparo Filomarino e Renato Sollazzo, il Perito Chimico Giuseppe Finizio, il Geometra Mario Ceglio, i Tecnici Luigi Cerbone e Giuseppe De Paola» (Croce, 1952a).
2. Una trasformazione il Borgo subì nel XIX secolo con il Risanamento. Durante la Seconda Guerra Mondiale il quartiere, con la chiesa di S. Maria di Loreto e l'omonimo Ospedale, fu distrutto; colpita anche la Chiesa S. Maria di Portosalvo. Del Borgo sono rimaste la Piazzetta Orticello a Loreto antistante l'Ospedale e la Strada Borgo Loreto, oggi Via A. Vespucci.

Salvatore Esposito

A strong interplay between physicists and engineers: Enrico Fermi and the construction of the first nuclear reactors

Fisici e ingegneri a stretto contatto: Enrico Fermi e la costruzione dei primi reattori nucleari

Abstract
The work on nuclear fission carried out during the Second World War years was no doubt the first brilliant example of a strong interplay between physicists and engineers in a "big science" project. Notwithstanding the ultimate goal was the exploitation of nuclear energy for military purposes, the realization of a nuclear chain reaction was *de facto* the first key achievement where people of different backgrounds had ventured into a relevant project. The novel phenomenon of nuclear fission was, indeed, the preserve of (few) physicists, but engineers were required to came into the project in order to produce an appropriate and feasible design of a chain-reacting system. In this respect, Enrico Fermi was instrumental to solve the practical problem to "translate" the known physical achievements into a form suitable to those who had little knowledge in a completely new field. In the present work, we analyze the available archival sources to reconstruct the development of the mentioned interplay that finally led to the later success of the well-known Manhattan Project. Such sources include recently recovered and studied documents, such as notes and reports dealing with the activity by Fermi and others on nuclear fission topics ranging from 1942 to 1944 (mainly, notes on meeting of different Councils), papers for patents filed up to 1952, and so on. What was "effectively" did for the success of the project is, thus, technically documented, and very clearly emerges from these papers.

Sommario
Il lavoro sulla fissione nucleare svolto durante gli anni della seconda guerra mondiale è stato senza dubbio il primo brillante esempio di una forte interazione tra fisici e ingegneri in un progetto di "big science". Nonostante l'obiettivo finale fosse lo sfruttamento dell'energia nucleare per scopi militari, la realizzazione di una reazione nucleare a catena è stata di fatto il primo risultato chiave in cui persone di diversa estrazione si avventurarono in un progetto di grande portata. Il nuovo fenomeno

della fissione nucleare era, infatti, appannaggio di (pochi) fisici, ma la partecipazione degli ingegneri era fondamentale per la effettiva realizzazione di un sistema con reazione a catena. In tale situazione, Enrico Fermi fu determinante per risolvere il problema pratico di "tradurre" i risultati fisici appena raggiunti in una forma adatta a coloro che avevano poche conoscenze in un campo completamente nuovo. Nel presente lavoro analizziamo le fonti archivistiche disponibili per ricostruire lo sviluppo di tale interazione, che portò al pieno successo del ben noto Progetto Manhattan. Tali fonti includono documenti recentemente recuperati e studiati, come note e rapporti relativi all'attività di Fermi (e altri collaboratori) sulla fissione nucleare dal 1942 al 1944 (principalmente relativi a riunioni di diversi Commissioni tecniche), brevetti depositati fino al 1952, e così via. Da tali documenti emerge in modo molto chiaro, e tecnicamente documentato, quanto efficacemente fatto per il successo del progetto.

Introduction

It is well known that one of the major scientific and technological achievement obtained by physicists during the Second World War was the successful development of the self-sustaining nuclear chain reaction. This culminated firstly in the operation of the first controlled nuclear pile in Chicago on December 2, 1942 and, later, in the realization of the first nuclear explosion in the Trinity test of the Los Alamos laboratory on July 16, 1945. The fundamental role played by Enrico Fermi in such achievements, along with that of a number of first-rank physicists, is universally acknowledged, as emerging from papers written by Fermi himself (Fermi, 1965), as well as from numerous and detailed accounts by the people who worked in the project (Sachs, 1984). Nevertheless, in order to achieve the set goal, it was as well fundamental the involvement of first-rank engineers in the project, which thus became a first brilliant example of that fruitful collaboration between physicists and engineers that from then on accompanied the future development of "big science" as well as "traditional" one.

Of course, notwithstanding a common scientific base, interests and methods traditionally belonging to the two types of scientists were different, and some sort of "translation" was mandatory. Engineers were required to produce an appropriate and feasible design of a nuclear chain-reacting system, so that the first practical problem was just to convey the known physical achievements into a form suitable to them, who certainly had little knowledge in the completely new field. Even in this respect, the role played by Fermi was crucial (Sachs, 1984), but this is not the whole story. Indeed, the expected cooperation extended well beyond its natural limits, with physicists working and thinking as engineers and vice versa. As a matter of fact, people with different backgrounds shared their specific competencies and abilities in order to work on a common project, and this "novel" way of scientific working apprecia-

bly influenced later developments of big and traditional science, with a number of remarkable results on both sides (physics and engineering) emerged until recent times.

It is then of some interest to dwell on such a case study. This will be done in the present contribution, just by means of illuminating examples extracted from archival sources. More specifically, we will reconstruct the development of the mentioned fruitful interplay between physicists and engineers, which finally led to the later success of the Manhattan Project, mainly due to the key role played by Enrico Fermi. We will use well known documents as well as recently retrieved one, by starting with a short review of the basic steps towards the first achievement of a nuclear chain reaction and the subsequent realization of a nuclear reactor. The fruitful collaboration between physicists and engineers will instead emerge from a close inspection of notes, reports, minutes of meetings and even formal patents, from which a very interesting overall picture will form very clearly.

Producing a nuclear chain reaction

The possibility[1] to effectively exploit the vast amount of energy stored in atomic nuclei was disclosed by the discovery of a strange phenomenon observed by Otto Hahn and Fritz Strassmann in the Fall of 1938 in Berlin, when bombarding the uranium nucleus with neutrons from a radium-beryllium source. Lise Meitner and Otto R. Frisch soon interpreted what observed in terms of the splitting of the uranium nucleus, from which two elements formed, each "approximately" half of its original mass; what "disappeared" was assumed to be converted into energy, according to the known mass-energy equivalence deduced in Einstein's theory of relativity. Just in the Spring of the subsequent year, it was then realized that a fission process produced by the collision of a single neutron with uranium was able to produce "more than one" new neutron (i.e., with a multiplication or reproduction factor greater than one), so that the possibility emerged of a nuclear chain reaction able to liberate energy on a large scale.

However, this intriguing idea had to be put on a quantitative basis, so that a number of experiments were performed to analyze in detail the problem. First, it was understood that fission induced by slow rather than fast neutrons was much more effective, due to a higher reaction probability. Secondly, the key isotope of uranium to be involved in the fission process was revealed to be the rare one of atomic weight 235 rather than the most abundant ^{238}U. Thus, the alternative emerged to either produce large quantities of the isotope needed through complicated separation of ^{235}U from natural uranium (which is a mixture of different isotopes), or directly use the more easily available natural uranium, with the evident drawback caused by the undesirable absorption of neutrons by the most abundant isotope, which would have significatively lowered the multiplication factor for the self-sustaining reaction to be achieved. An extensive experimental work convinced Enrico Fermi to use natural uranium, while focusing on the accurate slowing down of the incident neutrons, able to make more

effective the probability for fission with respect to undesired absorption. To this end, graphite revealed to be an excellent "moderator" for slowing down neutrons.

The very critical requirement for producing a self-sustaining nuclear chain reaction, nevertheless, was having a multiplication factor greater than one, in such a way that even a single incoming neutron could trigger an avalanche mechanism capable of releasing the desired amount of energy. Of course, when the intent is to have a "controlled" reaction, i.e., to build a nuclear reactor rather than a bomb, one must be able to adjust the value of the multiplication factor in order to switch off/on the chain reaction. This was obtained by letting the produced neutrons absorb or not – thus controlling the reactivity of the chain reaction –, just by employing cadmium strips (or other materials), since such element was known to be a strong neutron "absorber". These control rods could stop the bombardment process of uranium, thus preventing the reactor from burning to complete destruction.

When sufficient knowledge was reached about the main points summarized above, the practical problem at hand was to prevent accidental and/or systematic effects (known or not) to avoid the reactor to become subcritical (multiplication factor less than one). In this respect, undesired neutron absorption by a number of possible sources had to be kept as low as possible, and working with sufficiently pure materials was mandatory. These materials were obtained from different factories (with quite different degree of purity), and always were tested by Fermi and his collaborators. A chemical method, involving ether separation, was used to purify uranium while the absorption of neutrons by graphite was especially measured.

All such key ingredients entered the game, but the next step to design and realize a chain-reacting uranium-graphite pile that would work was not just a matter of physics experiments (and theories).

Engineering a successful nuclear pile

The fair understanding of the physical effects involved in a nuclear chain reaction was mainly achieved by Fermi and his collaborators (although several other groups were working on the subject) by late 1941 and early 1942, by testing several "experimental piles" built at the Columbia University in New York. The National Academy of Science Committee, whose chairman was Arthur H. Compton of the University of Chicago, was charged to review the uranium projects of the United States and to judge their military importance. At the end of 1941 the Committee decided that the work made by the Fermi group using natural uranium was important and, one day before the Pearl Harbor attack on December 7, 1941, the Metallurgical Laboratory was established with Compton as its scientific head in Chicago. Fermi and his group at Columbia definitively moved to Chicago in April 1942.

Several engineers who joined the project were asked to develop a feasible design of a workable self-sustainable pile and, of course, the starting point was just what

obtained by Fermi and collaborators. In order to "translate" such physics results into a proper engineering language, Fermi invented the notion of "danger coefficient" (Fermi, 1965: 147) for identifying the impurities that were dangerous for the realization of the chain reaction, due to their high neutron absorption probability. The effect of such impurities was considered directly on the evaluation of the multiplication factor through those danger coefficients. In such a manner, for example, it was determined that gases in the interstices of the graphite employed in the reactor substantially affected the multiplication factor, mainly due to the appreciable amount of nitrogen impurity in the porous graphite. In a similar way, the effect of the undesirable impurity of water in graphite or uranium was as well discovered (Sachs, 1984).

The first important result was obtained in August 1942, when very pure uranium oxide was delivered to the Metallurgical Laboratory, making the reproduction factor k greater than one for the first time (Fermi, 1965: 147). The 4% excess available (k=1.04) effectively opened the road to the building of the first self-sustaining pile, the Chicago Pile No. 1 (CP-1).

The major engineering problem with it was the choice of an adequate cooling system with sufficiently low neutron absorption, since the "official" motivation for the project was to produce plutonium, another fissile material (other than ^{235}U) to be used also for military purposes. Indeed, «a large effort was underway for planning the pilot and production reactors, on the assumption that CP-1 would succeed» (Sachs, 1984). Alternative choices (Fermi, 1965: 248) were proposed to cool the system by gas (preferably helium), water, or even liquid bismuth, this ingenious proposal by physicist Leo Szilard being later set aside because of the lack of engineering experience with that material. The Chicago group definitively worked on the design for a helium cooled plant submitted by the engineers T.V. Moore and M. Leverett.

Such decision was taken by a special Committee for the Examination of the Moore-Leverett Design of a He-Cooled Plant made up of S.K. Allison (physicist), C. Cooper (du Pont engineer), E.P. Wigner (physicist and mathematician) and chaired by Fermi, who, by the end of October 1942, prepared an appropriate report (Esposito and Pisanti, 2010). A pile of dimensions considerably larger than originally planned in the Moore-Leverett design was considered for reducing the amount of uranium metal required, and, to avoid corrosion of uranium, the employment of centrifugal turbo compressors for the coolant was suggested. Also, several other technical problems were as well discussed, such as that of an adequate radiation shielding, the production of radioactive materials in the reactor that can be collected by helium during operational shutdowns, or even the precautions to be used about helium released in the atmosphere. Also, possible measures to be taken in case of emergency problems due to serious helium losses, or when the cooling system with helium was switched off, were considered in order to prevent the activated uranium from melting.

Finally, as recalled by H.L. Anderson in (Sachs, 1984) «it happened that on 15th of November [1942] we started to build the pile in the West Stands [of the Stagg Field, in Chicago.] [...] Fermi wanted to build the pile with a shape as close to spherical as possible. This would minimize the surface/volume ratio and make the best use of the material which would become available. [...] A major change in design came when we had news that Spedding would be sending some of his high purity uranium metal. The best place for this was as close to the center as possible. As a result, the shape of the pile was changed as we went along. The spherical shape we started with got squashed somewhat as we went along because the purity of the material we were getting was better than we had anticipated».

The delivery of Spedding's metal avoided the use of another ingenious trick proposed by Anderson, i.e., to build the pile inside an envelope made of balloon cloth to remove the air (and replace it with carbon dioxide), thus minimizing the absorption of neutrons by the nitrogen in the air within the pile, with a gain of about 1% in the reproduction factor (Sachs, 1984).

With extra safety arrangements conceived and set up by Fermi, in addition to the cadmium control rods mentioned above, the construction of the nuclear pile was completed, and, in the afternoon of December 2, 1942, the Chicago Pile No. 1 finally got critical, and a (controlled) chain reaction successfully started for the first time.

At first, the pile was used as a suitable device for directly checking the purity of the uranium and for studying a number of features of the uranium-graphite lattice, inaccessible before (Fermi, 1965: 206). After about three months of operation, however, the original CP-1 pile was explored sufficiently to learn how to rebuild it with many improvements, and a second pile (CP-2) was effectively built at the Argonne site, near Chicago, in March of 1943. Several studies started to be done, mainly aimed at designing an efficient pilot plant for producing plutonium, or for isotope separation. Such plants were erected (at the end of 1943 and later) at Oak Ridge, Tennessee and at Hanford, Washington.

In addition to explicit "physics works" (Esposito and Pisanti, 2010), the pile was also used as a tool to measure neutron absorption probability by several elements. Samples of these elements were put in the pile, and the compensating changes in control rod position were determined (Fermi, 1965: 248). This method became a routine tool for checking neutron absorbing impurities in the materials used in reactors.

Physicists and engineers working together

The successful realization of the Chicago pile, as described in the previous section and extracted from known accounts, evidently testifies for an intense joint work of physicist and engineers that made possible the intended goal. Such a joint work on a common project, however, extended also beyond that achievement and, as revealed by recently retrieved documents (Esposito and Pisanti, 2010), it produced even the

effect of "transforming" specific operating methods and well-framed ways of reasoning, starting – of course – from the multifaceted personality of Fermi. Several previously unavailable documents have, indeed, further enlightened the specific activity, ranging from May to November 1942, that led to the achievement of the first chain reaction, and well illustrate that close interplay between physicists and engineers. Some particularly illuminating examples come from the reports of the meetings of the Engineering Council within the Metallurgical Laboratory. Interesting enough, some physicists such as Allison and J.A. Wheeler (among several others), in addition to Fermi and Compton, participated regularly to those meetings.

On May 28, 1942, (Fermi, 1965: 212) the main discussion was on the cooling of the uranium-graphite pile by water, helium, or both, including the pumping of the coolant. Inspired by what happens in wind tunnels, where the temperature is controlled by changing the cross section of the tubes, Fermi pointed out that the same trick could be used in piles for obtaining lower temperatures. Minor discussions on the design of pilot power and extraction plants also saw a remark by Fermi on the possibility of long-lived activity induced in iron, as well as a suggestion for avoiding non-uniform production of power in piles, just by blocking part of channels by graphite.

In a later meeting, on June 18, (Fermi, 1965: 308) in order to have an effective and easy monitoring of the chain reaction, Fermi proposed to control the multiplication factor by means of the pressure of nitrogen in a liquid cooled pile, with a net effect on the multiplication factor up to 4%. At that same meeting, several other engineering topics were addressed, including search for optimum lattice constants for the pile, discussions on neutrons losses due to ducts and channels, batch vs continuous operation of the pile, and so on. Fermi made some estimates on optimum lattice constants and gave relations among the multiplication factor, the critical size, and the neutron density. He explicitly favored the possibility to have more small rectangular ducts instead of less large squared ones.

Physics problems completely mixed with engineering ones also in later meetings. In the discussion of gas cooling, on June 25 (Sachs, 1984), it was pointed out that hydrogen reacts with uranium metal and with graphite (producing methane), and problems arise as well with helium about leakage. Fission products may diffuse out in the circulating helium, the walls of the pile, etc. and Fermi remarked about blowers and compressors, as well as to not use water spray. About the problem of heat transfer in an energy producing pile, discussed on July 9 (Fermi, 1965: 206), instead, the same Fermi proposed to study the behavior of the pile when its temperature was both large and small, noting that the Reynolds number depends on the temperature. Also, he suggested an alternative scheme to control the pile by putting in an absorbing gas, as well as to regulate the pile by raising or lowering the water level in it. To the physicists and engineers present there, he even reported on a test of chemical stability of uranium, its reaction with graphite, etc.

On the other hand, purely engineering problems were as well discussed with physicists, who actively contributed to their solving. By way of examples, the Engineering Council debated, in its meeting of July 2 (Fermi, 1965: 248), on the construction, installation and operation of pile I, pile II and pilot plant, and, during the discussion on the necessary facilities, Fermi recommended to avoid limitations on water and electric supply in order not to "cut the wings" to the project. Later on, in July 21 (Fermi, 1965: 212), the Council discussed on the power plant, extraction plant (by using fluorination and precipitation with a carrier), and pile problems related to radiation, recharging, breakdown, etc., with Fermi observing that it would be useful to make some of the discussed problems clear to a radiologist.

It is thus clear from the examples reported, how the boundary between the different specializations was continually crossed, with people urged to think and work actively on a variety of completely different topics not belonging to one's specialist background. And with Fermi playing the lion's share.

Patents

What envisaged above is thoroughly documented, from a strictly scientific and technical viewpoint, by several patents filed with the U.S. Patent Office up to 1952 (the vast majority ranging from 1944 to 1946), directly dealing with the technical and operative construction of nuclear reactors (Esposito and Pisanti, 2010). Particularly relevant for our purposes are those authored (or co-authored) by Fermi and concerning both physics and engineering of nuclear piles; they technically record what Fermi and coworkers "effectively" did for the success of the project. In the following we give a brief account of few of them, where what only mentioned previously can be even more appreciated in all its facets.

"Test exponential pile", for example, was authored only by Fermi (Patent No. 2,780,595) and contains a report of the very construction of a uranium-graphite pile and on the experimental test of it, discussing experimental data, their interpretation, and possible improvements. Particularly interesting is the "invention" of the so-called exponential experiment, aimed at ascertaining if the pile under construction would be divergent (i.e., with a multiplication factor greater than unity) just by making measurements on a smaller pile.

Even more intriguing is the Patent No. 2,708,656 on a "Neutronic reactor", authored by two physicists (Fermi and Szilard) but dealing with purely engineering problems. It gives procedures for the purification of uranium and describes several methods for testing purity against neutron absorption of different materials; also, it reports and compares different cooling systems, based on gas (typically, air) or liquid (light or heavy water, diphenyl, etc.) circulation. The principle and practice for the construction, functioning and control of several kinds of reactors are discussed in detail. For example, a low power uranium-graphite is considered without cooling

system, where the active part is formed by (small) cylinders of metallic uranium or pseudo-spheres of uranium oxide, while the control rods are made of steel with boron inserts (limitation and safety rods made of cadmium were added). A uranium-graphite pile cooled by air or even water or diphenyl is as well considered, where it is pointed out that diphenyl should be preferred with respect to water, due to its lower absorption of neutrons and to its higher boiling temperature, although a closed pumping system is required and some polymerization can take place, making the fluid viscous. Also, a reactor made of uranium (vertical) bars immersed in heavy water is described in detail, where the gaseous elements D_2 and O_2 from the dissociation of heavy water during the operation are carried by an inert gas (helium) into a recombination device. Interestingly enough, the two physicists dwelt somewhat on the description of the possible uses of nuclear reactors other than as power supply, including the production of collimated beams of fast neutrons, the production of plutonium (a fissionable material usable in other reactors) or several other radioactive isotopes, for possible utilization in medicine.

The close collaboration of the physicist Fermi with the engineer Leverett produced the Patent No. 2,837,477 on “Chain reacting system”, with a detailed description of an automatic system for the control rods in nuclear reactors (specifically, one made of natural uranium and graphite). The purpose of the control circuit ruling the position of boron or cadmium rods is, of course, to achieve a suitable neutron density to produce the desired temperature in the system; the choice of the possible coolant gas (preferably, helium) is made in terms of the danger coefficients introduced by Fermi.

Quite intriguingly, the same couple of physicist-engineer also produced another patent (No. 2,813,070) about “Method of sustaining a neutronic chain reacting system” where, among different technicalities, we find the peculiar suggestion that the presence of nitrogen (as an impurity) in the reactor, which may change due to changes in the atmospheric pressure, could be used to obtain a sensitive barometer. The cultural and technical exchange between physicists and engineers was, evidently, not one-sided.

How “Testing materials in a neutronic reactor” for determining their neutron absorption, when irradiated with neutrons coming from a nuclear pile, involved again two physicists (Fermi and Anderson) into a mainly technical problem of a physical nature but solved in an engineering-like way in Patent No. 2,768,134. The test proposed, indeed, compares the effects produced by the testing material with those by the standard active material in the reactor. If the equilibrium position of the control rod with the test material included is further out/into of the reactor than it was with the standard lump, then the material absorbs more/less neutrons than the standard metal does. However, the same authors also provided, in another patent (Patent No. 2,969,307), a different method for determining neutronic purity, i.e., the more physical “shotgun test”. Here, a comparison between the absorption in the testing material and in a standard boron absorber (measured by means of an indium foil used as a

neutron detector) directly gives the desired result for the sum of the danger coefficients of the impurities in terms of boron equivalent.

Physicists also dealt with several other technical problems related to the operation of nuclear reactors (for example, Fermi and Zinn considered the problem of radiation shielding devices for the protection of personnel in Patent No. 2,807,727), whose solution would be more within the purview of engineers. However, there is no need to go further on this point: hopefully, it is now quite clear how a profitable exchange took place in the Metallurgical Laboratory between physicists and engineers, and how it was effectively carried out.

Conclusions

In the present paper we have reported on the case study of the factual collaboration between physicists and engineers on a common working project, focusing on the specific case aimed at demonstrating a sustained nuclear chain reaction at the world's first nuclear reactor during the World War II. It emerged that the well acknowledged key role played by Fermi was effective not only in achieving the set goal of realizing a controlled nuclear chain reaction, but also in establishing a fruitful collaboration between physicists and engineers, which then made that goal possible. Being the first example in the history of a "big science project", it has been particularly interesting to retrace the phases of this collaboration, how it developed specifically and what results, direct and indirect, it led. Of course – as expected – the figure of Fermi imposed resolutely in the Metallurgical Laboratory, mainly with his practical example of dedicated work, experience, and desire to learn new things, which infected all his coworkers, both physicists and engineers. As a matter of fact, from the novel sources considered above, it is very clear how the traditional dividing line between the different skills of these characters was continually crossed: physicists were able to give fundamental contributions in engineering problems and vice versa. And this is even remarkably appreciable in formal documents such as patents, other than in vivid minutes of meetings of technical councils.

The successful experience gained during such distinguishing war activity set the subsequent development of big (and traditional) science, with the first notable example of CERN experiments in the post-war period, later followed by many other examples around the World. However, it affected not only the "physics side" of that collaboration, with engineers called to work on specific physics projects, but it involved also the engineering one, with a number of distributed examples of exquisitely technical projects where physicists are called to work *au pair*, nanotechnology or any quantum related technology being only two mere examples. The present study can, then, be inspiring for further work in these specific directions, where fruitful collaborations between physicists and engineers express all their potential. Several other interesting case studies are likely to emerge.

References

Esposito S., Pisanti O. (eds.). 2010. *Neutron physics for nuclear reactors*. Singapore: World Scientific.

Fermi E. 1965. *Collected papers*. Volume II. Chicago-Rome: The University of Chicago Press-Accademia Nazionale dei Lincei.

Sachs R.G. (ed.). 1984. *The nuclear chain reaction – Forty years later*. Chicago: The University of Chicago Press.

Notes

1. The exciting story summarized below has been told several times; apart from direct accounts, such as for example (Sachs, 1984), for several details we may refer the interested reader to the Introduction of the more recent (Esposito and Pisanti, 2010).

Luca Guzzardi, Danilo Capecchi

Science and technology. The physicist and the engineer

Scienza e tecnologia. Fisici e ingegneri

Abstract
The terms science and technology are commonly meant to designate different yet cognate activities. Their divide, however, can hardly be expressed. When dealing with the question whether a certain problem pertains to science rather than technology (or the other way round), people tend to identify the two realms more or less in the same ways or to respond with an admission of ignorance. If, instead, people are asked about the difference between science and technology in general, they tend to give more dispersed and uncertain answers. According to a widespread narrative, science has more to do with theorization, abstraction, generalization, simplification through modelling, whereas technology is committed to the actual reality, measurements in concrete scenarios, individual cases, entangled conditions. In our paper, we briefly illustrate the epistemological as well as sociological motivations of the common answer sketched above and suggest to pose the question of the distinction and the positive relation between science and technology assuming a historically-informed point of view. Historians of modern technology have identified the birth of a new actor in the European cultural milieu of the 18th century: the scientific engineer. The goal of this new intellectual figure, often well trained in mathematics, was the rationalization of design and implementation of processes. For this purpose, hypotheses and experimentations were employed, as in the (mathematical) physical sciences; on the other hand, data from technical ateliers, shipyards, etc., were requested and utilized. The need for such a new figure derived from the tumultuous developments of science of the 18th century, consequence and cause of the economic development, requiring a growing body of qualified engineers. On this background, the engineer – the actor who is entrusted with technological knowledge – appears as a sort of middle term in a twofold relation: the intermediate operator between the scientist and the final user.

Sommario
I termini scienza e tecnologia sono comunemente intesi per designare attività diverse ma affini. La loro distinzione, tuttavia, può difficilmente essere espressa in modo semplice. Quando si tratta di decidere se un certo problema riguardi la scienza piutto-

sto che la tecnologia (o viceversa), le persone tendono a identificare i due ambiti più o meno allo stesso modo o a rispondere con un'ammissione di ignoranza. Se, invece, le si interroga sulla differenza tra scienza e tecnologia in generale, le persone tendono a dare risposte più disperse e incerte. Secondo una narrativa diffusa, la scienza ha più a che fare con la teorizzazione, l'astrazione, la generalizzazione, la semplificazione attraverso la modellazione, mentre la tecnologia è impegnata nel mondo reale, nelle misurazioni in scenari concreti, in casi individuali, in condizioni intrigate. Nel nostro lavoro illustriamo brevemente le motivazioni epistemologiche e sociologiche della risposta comune e suggeriamo di porre la questione della distinzione e del rapporto tra scienza e tecnologia assumendo un punto di vista storico.Gli storici della tecnologia moderna hanno individuato la nascita di un nuovo attore nell'ambito culturale europeo del XVIII secolo: l'ingegnere scientifico. L'obiettivo di questa nuova figura intellettuale, spesso ben preparata in matematica, era la razionalizzazione della progettazione e dell'attuazione dei processi. A questo scopo si impiegavano ipotesi e sperimentazioni, come nelle scienze fisiche (matematiche); erano anche richieste e utilizzate informazioni provenienti da atelier tecnici, cantieri navali, ecc. La necessità di questa nuova figura derivava dai tumultuosi sviluppi della scienza del XVIII secolo, conseguenza e causa dello sviluppo economico, che richiedevano un corpo crescente di ingegneri qualificati. Su questo sfondo, l'ingegnere – l'attore a cui è affidata la conoscenza tecnologica – appariva come una sorta di termine medio in una duplice relazione: l'operatore intermedio tra lo scienziato e l'utente finale.

Introduction

On 10 April 2019 the Event Horizon Telescope Collaboration – a Very Long Baseline Interferometry-VLBI project with several connecting stations operating worldwide – released the first image of the shadow cast by the event horizon of a black hole, i.e. «the closest we can come to an image of the black hole itself»[1] This success was due to many complex and intertwined factors. They include, for example, the calculation of the photon orbit forming a bright ring around an event horizon and the expectation that «when surrounded by a transparent emission region, black holes ... reveal a dark shadow caused by gravitational light bending and photon capture at the event horizon» (EHT Collaboration et al., 2019a: 1); the observation and growing understanding of the active galactic nuclei and the general acceptance that they are powered by «supermassive black holes accreting matter at very high rates through a geometrically thin, optically thick accretion disk » (ibid.); observational evidence regarding supermassive black holes with the largest apparent event horizons.

Advances in the instrumentation were crucial as well to attain the desired goal. The Event Horizon *Telescope* can be described as «a global ad hoc VLBI array operating at 1.3 mm wavelength» (EHT Collaboration et al., 2019b: 1). It resulted from

the insight that worldwide VLBI was possible, which emerged since the 1970s, after a decade or so of observations in more limited VLBI arrays (Kellermann and Moran, 2001: 476-481), as well as from the application of the VLBI technique to very short wavelengths and the treatment of noise under such conditions. However, the EHT had also to face new challenges in data processing, calibration, and imaging that required the development of specialized techniques, and substantial improvements are expected from the "next-generation Event Horizon Telescope" program (ngEHT), launched in September 2019[2].

Was this enterprise "science"? Or was it a technological exercise? It was obviously both. But where is the divide? To what extent was it science, and where does science end, and technology begin? In fact, episodes like this, whether or not they end up with success, challenge our attempts to demarcate science from technology – beginning with the fact that "hyperteams" that characterize enterprises like the EHT Collaboration (and many projects in high-energy, particle physics, and astrophysics) are interdisciplinary groups where the engineer and the physicist frequently work side by side in order to solve common problems.

After all, and in very general terms, current usages of the term technology explicitly or implicitly involve the reference to a quadrille of concepts – design, production, maintenance, and use – and their relations to human artifacts. To put it as Mitcham (1994; 2009) and Radder (2009), technology may denote (i) a set of artifacts (or systems of artifacts) that are designed, produced, maintained, and used in certain activities; (ii) a form of knowledge regarding the design, production, maintenance, and use of technological artifacts and systems; (iii) a range of activities concerning the design, production, maintenance, and use of artifacts; (iv) an expression of the will or an act of volition by those who have designed, produced, maintain operating and use certain artifacts.

In this perspective, since the Event Horizon Telescope is an artifact which had to be designed, produced, maintained operating, and employed, it involves technology in one or more of the above-mentioned meanings. But it also involves science both in its final purpose (the knowledge of the cosmos) and in the precise knowledge of the abstract principles governing its feasibility and functioning (geometric optics, electromagnetism and theory of waves, general relativity, etc.).

Finally, as regards our four meanings of technology, none of them is correct or incorrect in itself. Rather, they reflect four ways in which technology is accounted for. In the present paper, we mostly refer to the second meaning, but to be sure a set of artifacts can be considered as a piece of technology, and this involves the activities in which artifacts are designed, produced, maintained and used, as well as the intentionality both of the makers and the users.

However, the second meaning of technology has two important advantages that we shall point to in the following sections. First, it highlights a direct relation of

technology to a form of knowledge, thus allowing to get rid of an outdated image of technology as "applied science". Second, it puts in the foreground the intellectual figure of the engineer as the holder (and the carrier) of that particular form of knowledge.

In the final section, we shall claim that the combination of these two features suggests the establishment of an epistemology of technology in its own right, based on Hacking's (2009) notion of "style of thinking". According to the view we develop, although technology does enter in relation with science in multiple ways, it is nevertheless endowed with relative independence from the scientific discourse.

Technology as applied science and its discontents

According to an outdated but influential definition, technology is not but an application of our (best) scientific theories. This point of view has been stressed and explored in detail by Mario Bunge (1966) within the complex of his theory of science (Staudenmaier, 1989: 96-99; Houkes, 2009). Let us take the following assertion: «The method and the theories of science can be applied either to increasing our knowledge of the external and the internal reality or to enhancing our welfare and power. If the goal is purely cognitive, pure science is obtained; if primarily practical, applied science. Thus, whereas cytology is a branch of pure science, cancer research is one of applied research» (Bunge, 1966: 329).

As noted by Radder (2009: 69-70), Bunge is claiming that the divide between science and technology can be expressed in terms of their aims. Cancer research may produce new particular knowledge about cancer, but since it is aimed at finding therapies against this group of serious diseases, thus relieving pains of certain living beings, it is applied science. In doing this, cancer research crucially utilizes the accomplishments of cytology, which studies cell structures in themselves, without considering the welfare of a certain person suffering from, say, an abnormal cellular growth in this or that tissue. Hence, cancer research is a kind of technology: it applies our best scientific knowledge from cytology to enhance welfare.

However, Bunge's approach is doubtful both on historical and theoretical account. As is well known, Ernst Mach's "historical-critical" reconstruction of the history of mechanics offers an idea that is diametrically opposed to Bunge's: «The branch of physics which is both the oldest and the simplest, and which is therefore treated as introductory to other departments of this science, is concerned with motions and equilibrium of masses. It bears the name of mechanics. It also affords a simple and instructive example of the processes by which natural science is generally developed … An instinctive, irreflective knowledge of the processes of nature will doubtless always precede the scientific conscious cognition – i.e., the investigation – of phenomena. The former is attained by putting into relation the natural processes with the satisfaction of our needs» (Mach, 1883: 1).

One could object that Mach's statement is as one-sided and a-prioristic as that of Bunge. However, it is hardly questionable that historically, practically directed knowledge ("technology" or "applied science" in Bunge's sense) at least "often" precedes epistemically directed knowledge ("pure science"). On the other hand, if taken at its face value, Bunge's conception brings to the paradoxical conclusion that technology as applied science would emerge when there is no science at all that can be applied.

Bunge's aim-centered demarcation between technology and science is also theoretically unsatisfying, since it is not clear how the aims of a research are to be determined. On the one hand, if they are determined through the actors' intentions, then the actors may disagree about their goals when involved in the same investigation or discipline. Suppose that, of two specialists on cancer research, one is interested into saving his patients' lives whereas the other is just interested into a better knowledge of the mechanisms of abnormal cellular growth. Suppose that we have good reasons to consider both doctors honest about their aims. In light of Bunge's definition, we are forced to think that only the former is doing applied research, whereas the latter does pure science, since her or his goal is authentically epistemic.

On the other hand, if the goals are thought as a somewhat intrinsic property of a research – as the orientation toward an end, that is what philosophers often label the "intentionality" of a course of action – other problems emerge. Let us come back to the image production in the EHT Collaboration. It is reasonable to assume that the image was the intrinsic aim of the project, since the VLBI network constituting the telescope was designed in order to get it. Now, what kind of a goal is the image, framing it in Bunge's conception? It certainly confirms our theories regarding how black holes and their surrounding space are structured but increases the stand of our knowledge about the processes powering most galaxies, and thus it certainly increases "our knowledge of the external … reality". So, one is tempted to list it under the column "pure science".

However, what is 'pure' in Bunge's terms here is not the "image-as-a-goal", but the "goal-of-the-image". Let us leave aside terrestrial aims such as prestige, enhancement of specific techniques, improvement of instrumentations, etc., which play an inescapable role in science, and consider the epistemic side of the question only. It is conceivable that scientists wanted to get the image in order to improve our knowledge about the cosmos. But this is not the aim of that investigation; this is the aim of astrophysics and cosmology as a whole. Astrophysics and cosmology are oriented to getting images because they are interested in the growth of knowledge about the cosmos. That is to say, this is the intrinsic goal of the images; they are oriented toward an epistemic end: the improvement of knowledge. However, the intrinsic goal of the EHT is a little bit different: it is getting the image, regardless of the goal of the image. To this end – i.e., for getting the image – the EHT instrumentally utilizes 'pure knowledge' coming from many different disciplines such as particle physics and

astrophysics, geometrical optics, mathematical theory of errors, etc., along with other technological advances. So, we are forced to the implausible conclusion that in itself the EHT is not pure science but a technological application of nth-order; however, as part of astrophysics and cosmology, it shares their cognitive and thus scientific aims.

Bunge's view exemplifies the kind of paradoxes one has to face starting with formal definitions of science and technology in terms of the identification of a set of characteristics, requirements, and criteria that a certain practice should satisfy in order to be described as one or the other; for other criticisms of such an *a priori* or "essentialist" strategy, see (Radder, 2009). A way to circumvent aporias of this kind is the so-called "finalization theory" of technology (Böhme et al., 1976; Krohn and Schäfer, 1983: 17-52). A conception that mainly emerged in Germany during the 1970s, it bears some similarities with Kuhn's (1962) image of the scientific development as an alternating interplay of a "normal" or "paradigmatic" phase and a "revolutionary" phase. According to the proponents of this view, scientific disciplines begin to form – as in Kuhn's image – in a pre-paradigmatic phase, characterized by a plurality of worldviews and methods.

The second step is the construction of a paradigm in Kuhnian terms, aimed at "the empirical and conceptual articulation and validation of the central theoretical ideas" (Radder, 2009: 75). In this second phase scientists tend to build up "closed theories". These are theories that (i) are sufficiently broad to capture the essential features of a certain fields; (ii) their validity has been tested over a number of instances, so they have enough empirical evidence to attract a vast audience and find supporters; (iii) is reasonable to think that they can be extended to novel phenomena in the same realm (and maybe beyond). Under such conditions, the belief is widespread that the fundamental work for a certain scientific picture has been accomplished and only the details should now be worked out.

In these two phases, researchers are mostly faced with the "internal" problems of the individual theories they are dealing with – their primary goal is the development of a picture as complete as possible, whereas practical applications remain in the background. Only in a third, "post-paradigmatic stage" scientists «become oriented towards external goals and interests through the development of "special theories" (sometimes also called "theoretical models") for the purpose of realizing certain technological applications. It is at this stage that science becomes finalized.» (Radder, 2009: 75).

Even if the finalization theory clarifies in what sense and through which processes scientific cognitions can emerge as "applied sciences", it is still doubtful whether this picture can be generally applicable even in the field of the physical disciplines, that their advocates take as a clear example of its validity. Many theoretical advances in high-energy and particle physics could not have been possible without the "finalization" of the existing atomic theories, well before they were satisfying (before

the creation of the Standard Model, for example), in order to build nuclear reactors, not to say bombs, to study and theorize chain reactions and how to control them. Much of the present theoretical research in physics could never have been possible without fundings for military applications (Forman, 1987). The creation of scientific networks, so instrumental in today scientific disciplines, could never have been developed, if it would not been driven by international diplomacy in view of possible applications – no matter if established theories or robust knowledge already existed or not (Rentetzi and Ito, 2021).

The birth of a new figure

A border line is not just a dividing line that makes clear the difference between two distinct areas – it's also a common border between regions, which may allow transitions, transfers, even trafficking within a divided and still common ground (Tagliagambe, 1997). Of course, in a certain sense, rules that allow or forbid passages from a region to another are given *a priori*, are partly shared by the regulators of the regions involved, and identify the borders, the agents and the wares whose exchange is allowed or not. However, rules may change as new wares or new agents appear on the market, and conditions are modified. In this sense, exchanges along any border form a dynamic system, whose mechanisms are better understood if not only possible abstract rules are taken into consideration, but also, e.g., exchanges wares and rates as well as the actors involved in the exchange.

Applying this metaphor to our case, we suggest that an understanding of the science/technology divide is better developed if one considers the actors involved on the two sides of the border, what they can exchange and how exchanges are accomplished, when they are performed, etc. Of course, this seems to be a research project for the future much more than the designed content of a single paper – what we can do here, is just try to give an idea of the lines along which this project can be put forth.

Beginning with the era of exploration (XV-XVII century), important changes such as the widespread use of gunpowder in the warfare, the navigation of oceanic routes allowing the circum-navigability of the globe, the implementation of a more efficient state administration as a consequence of the rise of the national states (particularly in England, France, and the Iberic Peninsula), start shaping in new ways the relationship between societal and economic demands and advances in the knowledge of nature and artifacts. A route needs to be calculated as exactly as possible before a trip and must be kept up to date during the navigation. This required special techniques involving, e.g., the use and construction of more and more effective compasses, the representations of geographic maps, a special knowledge of astronomy and optics for the purpose of navigation, the crafting of ships, etc. (Singer, 1954). On the other hand, the spread of modern artillery based on the propellant effect of gunpowder required experts in ballistics (for attacking warfare) as well as in fortification (for organizing the defenses).

Meanwhile, movable type-printing ensured that knowledge could circulate simply and quickly and the supports promoting the diffusion of knowledge – namely, books – could be reproduced practically in any part of an expanding world.

The increasing complexity of military and civil enterprises urged the rulers to employ, at many different levels, qualified people with skills in mathematics. Thus, the best equipped actors who could contribute to the satisfaction of the novel needs of the early modern age were neither artisans just committed to the manufacture of particular artifacts nor philosophers of nature engaged in the understanding of the terrestrial or celestial cosmos.

The new order of things required somebody who was prepared to get his hands dirty but sufficiently skilled in mathematics to do it rightly. Somebody who could draw maps and map possible routes, who was able to calculate how to cause severe damages into the enemies' defenses and how to build countermeasures as robust as possible, who knew how to find a way to measure the growth of a nation (whatever it may mean) so that the population welfare can be further improved. Many complex conditions of this kind led to the emergence, during the 15th century and until the 1650s, of a new class of scholars, mostly technicians with a significant scientific, mostly mathematical background (Gille, 1964; Grafton, 2002; VanDyck and Vermeir, 2014). Their name was engineer in the anglo-saxon world, *ingénieur* in the French-speaking area, *Ingenieur* in the German-speaking countries, *ingeniero* or *engenheiro* in Spain or Portugal and their corresponding domains, *ingegnere* in the states of the Italian peninsula. This figure is nuanced as always happens when one wants to search in the past profiles, quite well defined today but not in the past. Whereas terms as scientists and physicists were coined by academicians, engineer originated in everyday usage. (The English term engineer traces back to the 14th century, with a somewhat unclear etymology; it would derive from the late Latin *ingenium*, or devices. Note that in the classical Latin *ingenium* means, talent and genius. This is a different possible origin for the Italian *ingegnere*. For example, Leonardo da Vinci referred to himself as an *ingegnero*. In the Middle Ages, c. 1292, the term was used to indicate devices or machines, from this the English engine. In the classical Latin device is translated as *machina*).

For some time, the term engineer and its equivalents in the European languages frequently appeared associated with specifications like artist-engineer, scientist-engineer, architect-engineer, administrator-scientist-engineer, *et similia*. The chief idea, however, remained that of a scholar who not only deals with the understanding of an artifact but is committed to its design. So, the design phase by means of drawing became more and more distinct from that of the construction of an artifact and the execution of the task this was designed for.

The form of contribution requested to the engineers changed or extended through time. Over the 16th and 17th century – a period that is little explored by the historians

of engineering – "scientists" were summoned as consultants for supervising technicians working on particular facilities or buildings, e.g. canals, architectural works, fortifications, etc. Also, there was no clear divide between the natural scientist preoccupied with the theoretical comprehension of natural phenomena and the engineer dealing with the design and supervision of civil or military instrumentation and structures. Correspondence of leading scientists in the early modern age shows how often they were required to intervene as experts in the discussion of engineering problems.

Two particularly significant examples are worth mentioning. The Flemish Simon Stevin (1548-1620) was active in various fields of engineering in the Netherlands. He worked in the service of the prince Maurice of Orange-Nassau and was part of various commissions for the realization of engineering projects. Throughout his life Stevin took care of the construction of mills and other hydraulic works, obtaining numerous patents for the invention of mechanical devices. His attempts at theoretical analysis of complex engineering problems resulted in the compilation of short treatises dedicated to topics such as, for example, the prevention of wear in the design of gear wheels.

Galileo Galilei (1564-1642) is certainly one of the most important founders of the abstract, mathematics-based investigation of nature through *sensate esperienze* and *certe dimostrazioni* – two expressions that he employed to make clear his method in a famous letter to the Grand-duchesse of Tuscany, Cristina di Lorena (Galilei, 1890-1909: V, 309-348). But he also gave advice to the Arsenale of Venice, built lenses and military compasses, taught the art of fortifications, operated as a consultant for the water regulation of the river Bisenzio for the Grand Duke of Tuscany (Valleriani, 2010).

In the social and economic development that led to the industrial revolution on the one hand and the crisis of the *Ancien Régime* and the rise of bourgeoisie on the other hand, things changed rapidly. The understanding of the world increased as an effect of the extension of the Newtonian paradigm to new realms, causing a growth of novel and relatively independent fields; the economic and social demands to the raising number of engineers became more and more specific, causing a specialization of both the knowers and the knowledge. Throughout the 18th century the demand for qualified technicians became so high in France that, to satisfy the increasing requests of military and civil projects, new schools were founded: e.g., the École *royale des ponts et chaussées* (1747), the *École royale du génie de Mézières* (1748) the *École des mines* (1783). In the same decades or so, similar institutions were established in England and Germany as well Belhoste, 1989; Belhoste, 2003) [1].

To limit ourselves to the formation period of engineering, a comprehensive account of these developments should further mention two other important facts: 1) The role of the bourgeoisie in the different national states (including the USA and the South America) in encouraging the institutions for the promotion of scientific culture and the various 'associations for the advancement of science' that flourished since the end of the 18th century (Hall, 1961; Channell, 2009: 126); 2) the birth and rise of

the *École Polytechnique* (1794) in France and, through it, the role of the French Revolution in promoting the alliance between the scientists and the engineers through the contributions of leading figures as Lazare Carnot and Gaspard Monge.

Conclusion: the relative independence of the scientist and the engineer

The few examples given above nonetheless suffice to show that in many cases the scientist and the engineer were embodied in the same person. A process of specialization has been ongoing for much time and lasted approximately one hundred fifty years – say, from the beginning of the 18th century until mid-19th century. Of course, periodization may vary depending on the different disciplines considered, but a complete separation of the two figures has been reached only recently. However, in most occasions the single scientist-engineer did *not act* at the same time both as a scientist *and* as an engineer. They are like different roles that an individual actor could possibly play in the same drama. The role that is required during the action – or, the kind of agency coming into question – is largely determined by the setup of the scene and the mutual relationships among the other roles.

Of course, there were and remain significant overlaps between the 'scientist' and the 'engineer', so the distinction remains a fuzzy one, which gets larger and clearer in complex projects requiring a somewhat sophisticated division of scientific labor (Auyang, 2004: 16; Boon, 2011). For the distinction to be meaningful, it should take into account both the interchange and co-dependence of competences as well as the epistemic differences (Hookes, 2009; Boon, 2011). A possibly useful tool to do this is Hacking's notion of "styles of thinking" or "styles of reasoning".

According to Hacking (2009: 6), these are «distinct ways to find things out», practiced in various cognitive activities that for historical reasons we consider "scientific" in a broad sense. Styles of thinking are grounded in cognitive capacities that have emerged in the course of human evolution, thus with reference to the needs and problems posed by a certain environment as well as in connection with other skills that had already been developed or whose development was ongoing in a certain time and space. On the one hand, each style «has been developed in its own way, in its own time frame», while on the other hand contributing «to the larger fabric of scientific imagination and action.»

Let us take an example. Following Hacking (2009), Galilei was able to discover a novel way for investigating nature – more precisely, a novel way of «what it is to tell the truth about nature» – through the mathematical modelling of natural facts and the experimental control of consequences resulting from an application of the hypothetical-deductive logic to the physical reality. The realization of this style of thinking was the effect of a certain mode of understanding mathematics and its relation to the world, the development of experimental methods, the acquaintance of Galilei with craftsmen and their workshops, etc.

Analogously, an engineering style of thinking may consist in a novel way of understanding the relation of the natural facts to human needs and intervening in the process. The primordial emergence of such a cognitive capacity – let us call it a technological cognitive capacity – traces back to the early stages of the human evolution, and for this reason we find a sense of technology long before most scientific disciplines have made their appearance. Since then, the technological capacity has grown richer and richer while the continuous change of conditions stimulated other cognitive skills as well. At a certain point of this story, styles of thinking connected with what in the course of time was being called "scientific disciplines" (particularly mathematics and physics) joined with the technological capacity. This relatively new connection was possible because the carriers of some mathematical knowledge was suited in order to respond the economic and social needs of the time. Gradually, more and more specialization was desired, or revealed as necessary, and a new figure summing up these two features – the capability of technological intervention into the world joined with scientific knowledge about the world – finally emerged. This was the engineer, the representative of a style of thinking which is deep-rooted in human cognitive skills, has a profound relationship with other (scientific) styles of thinking, but is essentially independent from them.

References

Auyang S.Y. 2004. *Engineering-An endless frontier*. Cambridge: Harvard University Press.

Belhoste B. 1989. Les origines de l'École polytechnique. Des anciennes écoles d'ingénieurs à l'École centrale des travaux publics. Histoire de l'Éducation, 42, 13-53.

Belhoste B. 2003. *La formation d'une technocratie. L'École polytechnique et ses élèves de la révolution au second empire*. Paris: Belin.

Böhme G., van de Daele W., Krohn W. 1976. Finalization in science. Social Science Information, 15, 307-330.

Boon M. 2011. In defense of engineering sciences: On the epistemological relations between science and technology. Techné: Research in Philosophy and Technology, 15(1), 49-71.

Bunge M. 1966. Technology as applied science. Technology and Culture, 7(3), 329-347.

Channell D.F. 2009. The emergence of the engineering sciences: An historical analysis. In: *Philosophy of technology and engineering sciences* (A. Meijers Ed.). 9, 117-154. Amsterdam: Elsevier.

Forman P. 1987. Behind quantum electronics: National security as basis for physical research in the United States, 1940-1960. Historical Studies in the Physical and Biological Sciences, 18(1), 149-229.

EHT Collaboration, et al. 2019a. First M87 Event Horizon Telescope results. I: The shadow of the supermassive black hole. The Astrophysical Journal Letters, 875(1), L1.

EHT Collaboration, et al. (2019b) First M87 Event Horizon Telescope results. IV: Imaging the central supermassive black hole. The Astrophysical Journal Letters, 875(1), L4.

Galilei G. 1890-1909. *Le opere di Galileo Galilei* (A. Favaro Ed.). 20 vols. Florence: Barbera. (In Italian).

Gille B. 1964. *Les ingénieur de la Renaissance*. Paris: Hermann.

Grafton A. 2002. *Magic and technology in early modern Europe*. Washington: Smithsonian Institution Libraries.
Hacking. I. 2009. *Scientific Reason* (Y. Der-Lan and Y. Jeu-Jenq Eds.). Taipei: National Taiwan University Press.
Hall A.R. 1961. Engineering and the scientific revolution. Technology and Culture, 2(4), 333-341.
Houkes W. 2009. The nature of technological knowledge. In: *Philosophy of technology and engineering sciences* (A. Meijers ed.). 9, 309-350. Amsterdam: Elsevier.
Kellermann K.I., Moran J.M. 2001. The development of high-resolution imaging inradio astronomy. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 39(1), 457-509.
Krohn W., Schäfer W. 1983. Agricultural chemistry. The origin and structure of a finalized science. In: *Finalization in science. The social orientation of scientific progress* (W. Schäfer Ed.). Dordrecht: Springer.
Kuhn T. 1962. *The structure of scientific revolution*. Chicago: The University of Chicago Press.
Mach E. 1883. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*. Leipzig: Brockhaus.
Mitcham C. 1994. *Thinking through technology. The path between engineering and philosophy.* Chicago: The University of Chicago.
Mitcham C., Schatzberg E. 2009. Defining technology and the engineering sciences. In: *Philosophy of technology and engineering sciences* (A. Meijers ed.). 9, 27-63. Amsterdam: Elsevier.
Radder H. 2009. Science, technology and the science-technology relationship. In: *Philosophy of technology and engineering sciences* (A. Meijers ed.). 9, 65-92 Amsterdam:Elsevier. Amsterdam: Elsevier.
Rentetzi M., Ito K. (Eds.). 2021. The Material Culture and Politics of Artifacts in Nuclear Diplomacy. Centaurus, 63(2), 233-243.
Schäfer W. (Ed.). 1983 *Finalization in science. The social orientation of scientific progress*. Dordrecht: Springer.
Staudenmaier J.M. 1989. *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric*. Cambridge: The MIT Press.
Tagliagambe S. 1997. *Epistemologia del confine*. Milano: Il Saggiatore.
Valleriani M. 2010. *Galileo Engineer*. Berlin: Springer.

Webgraphy

[1] Khattab A. 2021. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/History_of_the_Institution_of_Civil_Engineers

Notes

1. See the EHT Press Release: https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole, last accessed November 2021.
2. More on the ngEHT at https://eventhorizontelescope.org/blog/nextgeneration-event-horizon-telescope-design-program.

Lia M. Papa, Saverio D'Auria

Reale versus digitale: una teca di plastici per l'e-learning e la valorizzazione

Real versus digital: a case with models for e-learning and enhancement

Sommario

Fin dall'antichità i plastici, o modelli materici in scala, sono stati realizzati per meglio evidenziare le caratteristiche spaziali di un progetto e per sperimentare soluzioni proposte o adottate. Numerosi sono gli esempi elaborati da grandi progettisti che ci sono stati tramandati e sono oggi conservati in musei, raccolte private o enti, a testimoniare una finalità ben evidenziata da Leon Battista Alberti nel suo *De Re Aedificatoria:* «Si facciano altresì dei modelli in scala dell'opera, sulla base dei quali è consigliabile riesaminare ogni parte dell'edificio». Ma i plastici hanno avuto anche una valenza comunicativa e didattica in ambito tecnico, testimoniata dal fatto che molte scuole di Ingegneria conservano un patrimonio di artefatti in scala; questi aiutavano sia il docente nella esposizione delle caratteristiche configurative, geometriche e strutturali delle partizioni rappresentate, sia gli allievi, messi in grado di meglio comprendere lo spazio costruito. La recente pandemia ha evidenziato non poche difficoltà nell'erogazione di una didattica che deve fondarsi sullo stretto coniugio tra la teoria e la pratica. Il contributo vuole documentare la prima fase di un progetto promosso dall'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria-AISI, che mira alla creazione di un archivio digitale di prototipi di partizioni costruttive conservati in vari Atenei, al fine di consentire agli allievi, ma non solo, di fruirli digitalmente, interrogandoli. Vengono quindi presentati i modelli digitali di alcuni dei plastici conservati presso il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali (CIBeC) dell'ateneo federiciano. Essi in origine venivano utilizzati nell'ambito delle lezioni di Costruzioni, di Architettura e di Disegno, e facevano parte di una più ampia collezione presente nel Gabinetto di Costruzioni della Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Napoli. L'intento è di valorizzare un prezioso patrimonio di prototipi materici per una rinnovata funzione didattica grazie alle strategie, anche immersive, che le tecnologie digitali consentono oggi di utilizzare.

Abstract
Since ancient times, plastic models, or material models in scale, have been created to better highlight the spatial characteristics of project and to experiment various solutions.
There are numerous examples created by great designers that have been handed down, and are now preserved in museums, private or institutions collections, to testify a purpose highlighted by Leon Battista Alberti in his *De Re Aedificatoria: «Si facciano altresì dei modelli in scala dell'opera, sulla base dei quali è consigliabile riesaminare ogni parte dell'edificio*».
Models also had a communicative and didactic value in the technical field. In fact, many engineering schools preserve a wealth of scale artifacts; these helped both the teacher in exposing the configurative, geometric and structural characteristics of the building elements, and both the students enabled to better understand the built space.
The recent pandemic has highlighted many difficulties in providing teaching that must be based on the union between theory and practice.
The recent pandemic has highlighted many difficulties in teaching which must be based on the close union between theory and practice.
This paper documents the first phase of a project promoted by the Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria (AISI) that aims to create a digital archive of prototypes of construction elements preserved in various universities, in order to allow students, but not only, to use them digitally.
The digital models of some of the models kept at the Interdepartmental Center of Engineering for Cultural Heritage (CIBeC) of the Federico II University are then presented. They were originally used as part of the Construction, Architecture and Drawing lessons, and were part of a larger collection in the Application School of Engineers in Naples. The goal is to enhance a precious heritage of material prototypes for a renewed didactic function thanks to the strategies, including immersive ones, that digital technologies allow today to be used.

Disegno-Modelli
In ambito professionale, di ricerca e formativo il termine Disegno sembra talvolta non essere adeguato ad evocare la sua precipua finalità, ossia quella di rappresentare un modello della realtà e del suo diversificato grado di complessità, con un livello di astrazione funzionale alle caratteristiche del rappresentato e alle finalità della rappresentazione.

Il concetto di modello[1] è oggi sempre più ricorrente nel suggerire una percezione dinamica del rappresentato, nel sottendere una strategia creativa ma anche conoscitiva, laddove il rapporto tra creatività e conoscenza, come scriveva Tomas Maldonado, è un tema tutt'altro che risolto (Maldonado, 1987).

La caratterizzazione materica, o plastica, del modello consente una rappresentazione tridimensionale in scala ridotta di un manufatto o di una sua parte, ma anche di un ambito urbano o territoriale [1], realizzato con materiali diversi; per cui il termine plastico connota l'azione del modellare e viene utilizzato diffusamente come sinonimo di modello materico, in scala; realizzato per meglio visualizzare le caratteristiche spaziali di un progetto in essere e per sperimentare soluzioni tecniche, proposte o adottate, che testimoniano una finalità di verifica dell'idea progettuale ben evidenziata da Leon Battista Alberti nel suo *De Re Aedificatoria:* «Si facciano altresì dei modelli in scala dell'opera, sulla base dei quali è consigliabile riesaminare ogni parte dell'edificio» (Orlandi, 1966).

Ovviamente tale realizzazione reca in sé la padronanza del linguaggio geometrico-descrittivo sotteso alla configurazione morfologica, nonché le spesso dimenticate competenze di maestranze dedicate.

Benché si abbiano notizie, ancorché episodiche, di plastici utilizzati nell'antichità, le testimonianze documentate relative alla loro realizzazione risalgono alla seconda metà del Trecento. Tra il XIV e il XV secolo essi diventano ricorrenti nel processo progettuale, anche per confrontare visivamente diverse soluzioni.

Numerose sono le raffigurazioni di tali modelli in affreschi, quadri, disegni che raccontano attraverso le immagini la realizzazione di grandi opere, ma anche progetti non realizzati[2]; in Figura 1 sono riportati due noti esempi. Tutte queste pregevoli ope-

Fig. 1 - Domenico da Pessignano: Michelangelo presenta a papa Paolo IV il modello di S. Pietro, 1619 c. Firenze, casa Buonarroti (a sinistra) [2]*; Peter Rittig: Papa Paolo III Farnese visita Michelangelo nel suo studio, 1834 (a destra)* [3].

re sono oggi conservate in musei, raccolte private o enti e arricchiscono la storia delle costruzioni, testimoniando un modus operandi che si è evoluto nel tempo (Sebastianelli e Muscariello, 2021). È grazie a queste competenze che fiorisce anche una sorta di commercio per cui i plastici vengono acquistati, soprattutto da amatori tedeschi.

A partire dal Settecento si consolidano le esigenze descrittive legate all'evoluzione delle opere infrastrutturali e al fermento delle ricerche effettuate in ambito archeologico. Si diffonde così la moda dei modelli di ruderi e monumenti famosi, realizzati con grande padronanza esecutiva in legno o sughero.

Un sempre più nutrito numero di artigiani-artisti lega il proprio nome ad opere di grande pregio. Tra questi, ad esempio, Carlo Lucangeli, autore del più famoso modello ligneo dell'Anfiteatro Flavio al quale l'ebanista lavorò per ventidue anni, a partire dal 1790. Il plastico, suddiviso in settanta distinte sezioni, fornisce un'interpretazione estremamente dettagliata della forma ideale del monumento, la cui espressività si arricchisce grazie all'utilizzo di diverse essenze di legno e materiali accessori, come metallo e stucco (Valenti et al., 2019).

Augusto Rosa è, invece, ritenuto il padre della felloplastica, ossia della tecnica di lavorazione del sughero, o "sovero" (AA.VV., 1839) che si diffonde beneficiando delle competenze acquisite dalle maestranze che operano nell'arte presepiale napoletana.

Un esempio emblematico di felloplatica è il grande plastico degli scavi di Pompei, in Figura 2, realizzato tra il 1861 e gli inizi del Novecento[3], nel quale tutte le costruzioni sono realizzate in sughero mentre gli affreschi sono riprodotti in ogni minimo dettaglio e realizzati o con colori a tempera su base di stucco e stagno o con colori ad acquerello su fondo di carta (Giulierini et al., 2020).

Come scrive Paolo Giulierini, direttore del Museo Archeologico Nazionale di Napoli, «Quest'opera rappresenta anche un esempio mirabile di quella che nel Regno Unito è definita Archeologia pubblica: una disciplina che ritiene non una opzione ma un obbligo etico quello di diffondere i risultati della ricerca ben oltre la ristretta comunità scientifica» (Malfitana et al., 2000).

Ciò a sottolineare un fondamentale ruolo conoscitivo e comunicativo del modello materico, la cui realizzazione nell'arco dei secoli ha seguito di pari passo le mutazioni stilistiche del periodo, con una conseguente ricaduta sui materiali e le tecniche d'esecuzione.

I plastici per la didattica

Rispetto alle finalità precipue del modello materico, ossia quelle di accompagnare un iter progettuale, ovvero di cristallizzare un'opera nel tempo, esiste un campo di impiego sicuramente meno esplorato e organicamente documentato che è quello dei plastici utilizzati in ambito didattico, laddove essi si configurano come un supporto efficace per garantire sia il controllo spaziale del corrispondente tridimensionale, sia la visualizzazione del processo generativo.

Fig. 2 - Plastico di Pompei 1861-1929 [4].

Con una strategia formativa diffusa soprattutto nelle scuole di preparazione tecnica tra la seconda metà dell'Ottocento e la prima metà del Novecento, essi aiutavano sia il docente nella esposizione delle caratteristiche configurative, geometriche e strutturali delle partizioni rappresentate, sia gli allievi, messi in grado di comprendere meglio lo spazio costruito, analizzato da vari punti di vista, e per poter poi disegnare, come dal vero ma a scala ridotta, particolari costruttivi che al reale avrebbero comportato visite in cantiere, non sempre facilmente attuabili.

Ancora oggi in molte Scuole di Ingegneria, non solo italiane, è conservato un patrimonio di collezioni di modelli in scala ai quali veniva esplicitamente fatto riferimento nei Regolamenti Istitutivi delle Scuole, come nel caso della Regia Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri di Torino, laddove con il Regio Decreto n. 4052 del 1867 era stato approvato il Regolamento con l'intento di "consociare" l'azione del Regio Museo industriale e della Regia Scuola d'Applicazioni per gl'Ingegneri[4] che è «provveduta […] di una collezione di modelli e disegni di fabbricazione e di architettura» (Procacci,1998).

Nel Decreto Ministeriale del 16 novembre 1869 si fa esplicito riferimento alle «norme speciali con le quali dovranno farsi in cataloghi e illustrarsi le collezioni»[5].

Anche presso la Regia Scuola d'Applicazioni per gl'Ingegneri di Napoli, evoluzione della Scuola di Applicazione per Ingegneri di Ponti e Strade, creata da Gioacchino Murat sul modello dell'École polytechnique francese nel marzo del 1811, l'attività didattica era supportata da «una collezione di modelli e disegni di fabbricazione e di architettura» (AA.VV., 1884).

Fig. 3 – Napoli: Regio Istituto Superiore di Ingegneria di Napoli, Gabinetti e Laboratori Scientifici. Album fotografico. 1934. Sala dei modelli e calchi, scheda 36, p. 313 (Buccaro, 2003).

Tale ampia collezione, visibile in Figura 3, era originariamente conservata presso il Gabinetto di costruzioni nella antica sede della Scuola ubicata nel monastero di Donnaromita. Dei circa cento modelli della collezione la gran parte era in legno, relativa a tipi di fognature, fondazioni, volte semplici o composte, centine, solai, scale, tetti, infissi, nicchie (Viola, 2003). La collezione, della quale un esempio in Figura 4, era stata acquisita prevalentemente dalla Scuola di Torino, e più precisamente dal Laboratorio per la costruzione dei modelli, una parte dei quali in Figura 5, voluto da Giovanni Curioni fondamentalmente per finalità didattiche e specializzato nell'esecuzione di plastici in legno[6], che configurano un repertorio di grande ricchezza culturale (Novello e Bocconcino, 2018), in quanto «i modelli lignei consentivano di far risaltare gli elementi essenziali della costruzione, senza perdere di vista la concretezza dell'opera studiata» (Benvenuto, 1989).

I modelli conservati presso il Centro interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali-CIBeC)[7] dell'Università di Napoli Federico II, fondato da Salvatore D'Agostino e attualmente diretto da Luciano Rosati, fanno parte di tale antica collezione e rappresentano un paradigma documentario delle modalità didattiche delle Scuole di Ingegneria ottocentesche, nelle quali l'intento era quello di coniugare teoria e buone prassi. In Figura 6 sono presentati i 16 modelli attualmente restaurati o in buone condizioni che sono conservati presso il CIBeC e che rappresentano una concreta esemplificazione di buone pratiche costruttive. Tali modelli definiscono l'avvio di

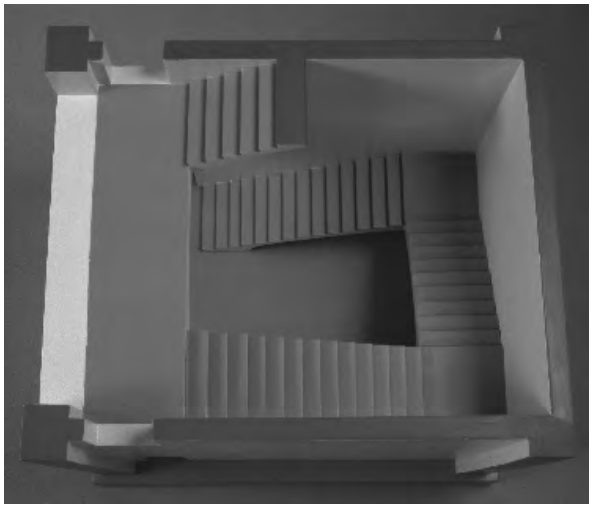


Fig. 4 – Napoli: Scala a tre rampe. Gabinetto di costruzioni n. 278. Provenienza Regia Scuola d'Applicazioni per gl'Ingegneri di Torino. Data di acquisto: 09.06.1893 (Viola, 2003).

Fig. 5 – Collezione G. Curioni: armadio contenente diversi modelli in legno di incavallature e arcate di ponti e di armature di gallerie (a sinistra); modello di spalla di ponte con fondazione a pozzi, 1880 circa (a destra) (Bodrato e Bongiovanni, 2017).

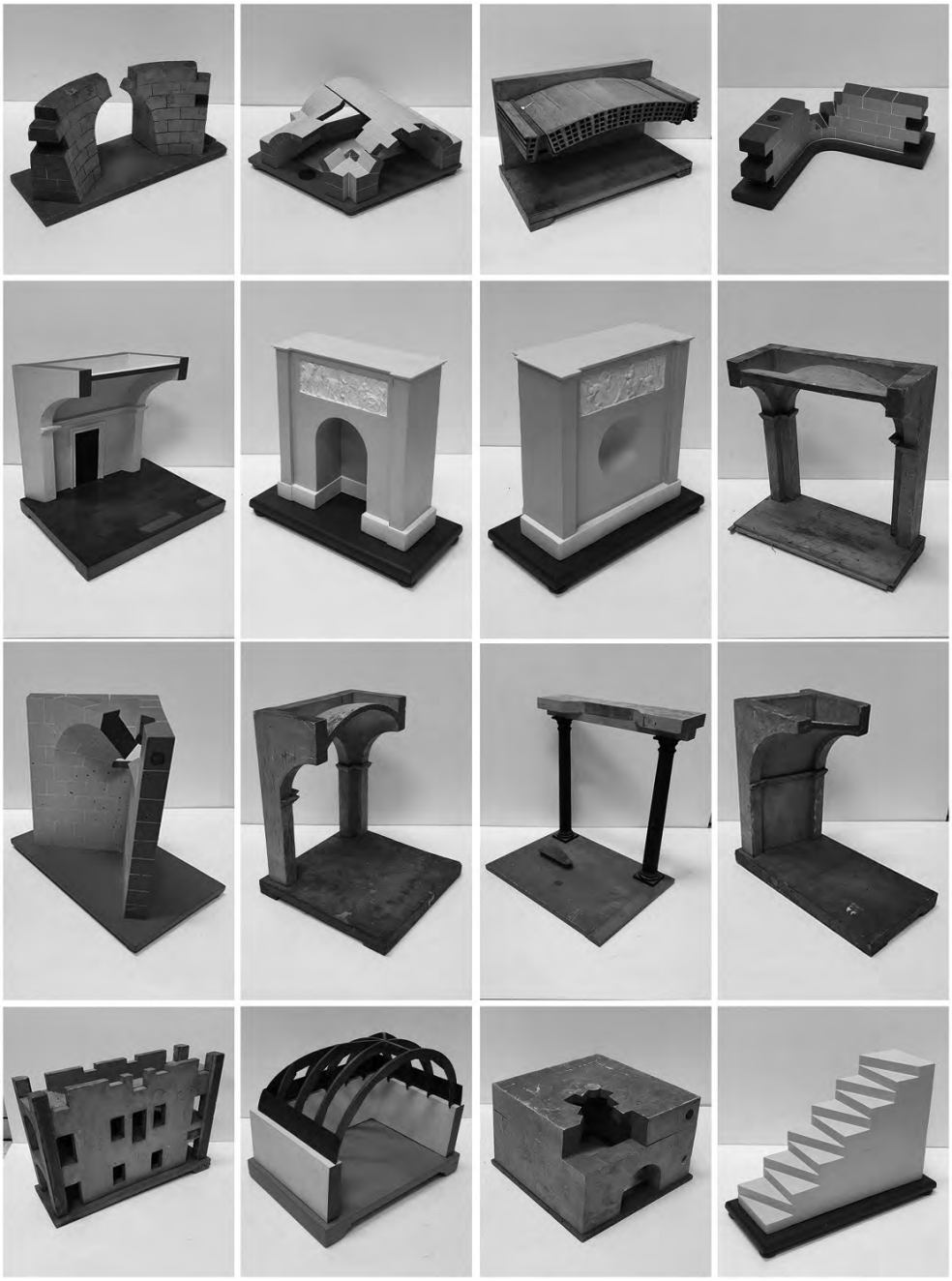


Fig. 6 – Napoli, CIBeC-Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II: selezione di modelli ivi conservati.

un Progetto che mira alla creazione di un archivio digitale di prototipi di partizioni costruttive conservati in vari Atenei, al fine di consentire agli allievi, ma non solo, di fruirli digitalmente, interrogandoli.

L'intento è di valorizzare un prezioso patrimonio di prototipi materici per una rinnovata funzione didattica grazie alle strategie, anche immersive, che le tecnologie digitali consentono oggi di utilizzare.

Strategie digitali e di reverse engineering per la fruizione dei plastici antichi

La pandemia che stiamo vivendo ormai da due anni ha messo in evidenza diverse criticità nell'erogazione della didattica a distanza, indistintamente per le scuole di ogni ordine e grado e per l'università.

In quest'ultimo ambito, le discipline maggiormente legate al contatto con la materia hanno sofferto la difficoltà di trasferire efficacemente concetti teorici, metodologici e tecnologici legati all'oggetto di studio. Tra queste, il Disegno, il Rilievo, la Scienza e la Tecnica delle Costruzioni, la Tecnologia dell'Architettura, solo per citarne alcune, hanno la necessità di elaborare e migliorare di continuo nuovi metodi didattici che sfruttino, ad esempio, le notevoli potenzialità comunicative – forse dimenticate – offerte dai plastici.

Nell'era della tecnologia spinta a tutti i livelli, appare necessario fare qualche passo indietro riscoprendo, sotto altri punti di vista, i modelli fisici/materici di oltre un secolo fa, rappresentativi di elementi strutturali, tecnologici e architettonici con i quali sono state formate intere generazioni di eccellenti ingegneri e architetti.

La digitalizzazione di questi plastici, e soprattutto la loro gestione/interrogazione smart attraverso tablet, pc e device, migliorano senza dubbio, ad esempio, la comprensione morfometrica e spaziale dell'oggetto e del suo comportamento statico, la sua discretizzazione figurativa e compositiva per la rappresentazione grafica e il progetto.

Nel caso specifico, per alcuni dei plastici conservati presso il CIBeC, in particolare per gli spaccati di volte a crociera, a botte e a vela e di un solaio a voltine in ferro e laterizio, sono state condotte operazioni di rilevamento fotografico e metrico mostrate in Figura 7, anche attraverso l'elaborazione di eidotipi in pianta, sezione e prospetto, finalizzate alla modellazione tridimensionale per superfici, in questo caso in ambiente SketchUp.

I modelli infografici così ottenuti sono stati arricchiti della componente cromatica con l'applicazione, sulle superfici, di texture realistiche ricavate dalle fotografie dei medesimi plastici, come evidenziato in Figura 8. In questo modo sono stati prodotti modelli digitali fedeli, per forme, proporzioni e aspetto, a quelli reali. Per consentirne l'impiego didattico e la visualizzazione open, i relativi file sono stati caricati su una piattaforma web di visualizzazione (in questo caso su Sketchfab) e sono stati associati a QRcode, come esemplificato in Figura 9.

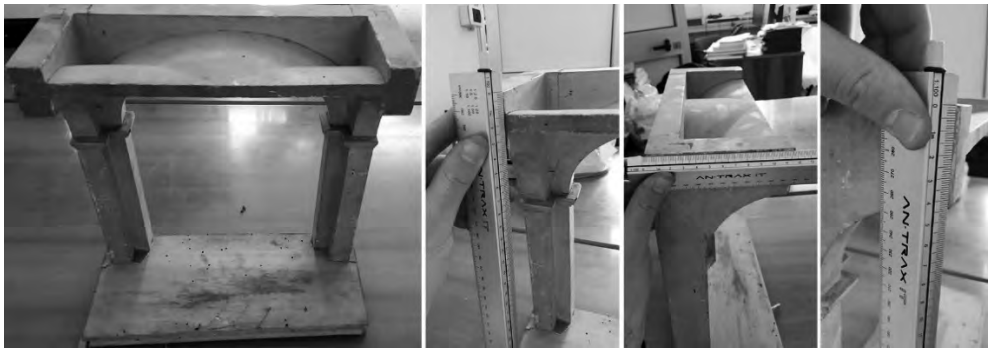


Fig. 7 – Alcune delle fasi di rilevamento di un plastico conservato presso il CIBeC-Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

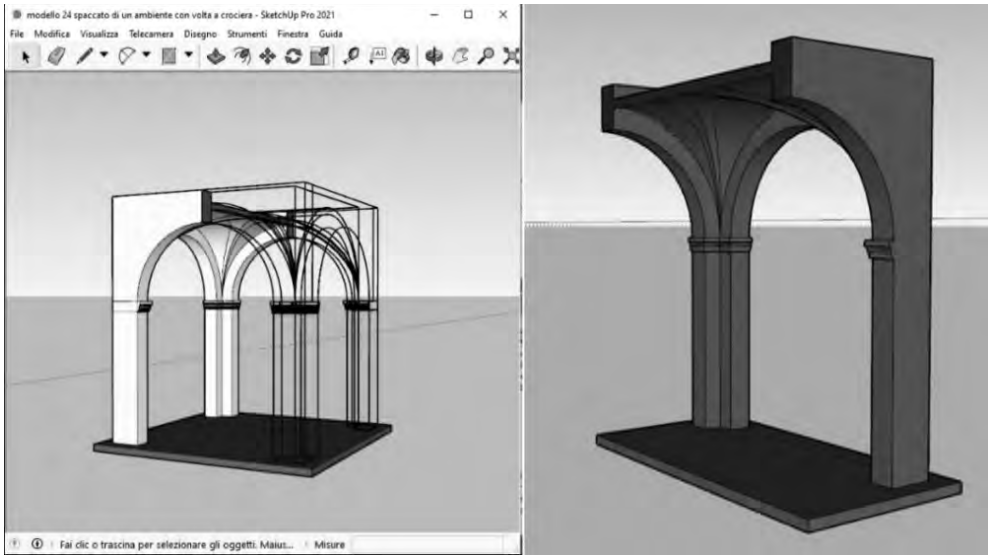


Fig. 8 – Processo di modellazione 3D e texturizzazione finale.

Pensando ad un rinnovato utilizzo dei plastici nella didattica frontale, gli stessi modelli digitali sono stati prototipati in scala mediante una stampante 3D a FDM, nello specifico una Eryone Thinker SE, come proposto in Figura 10.

I modelli così ottenuti – impiegati con successo anche in altri ambiti disciplinari, come nella chirurgia protesica (Parchi et al., 2016) – possono essere maneggiati senza correre il rischio di danneggiare i plastici originari e, inoltre, risultano più leggeri e trasportabili.

Fig. 9 – Interazione fisica e digitale con il modello prodotto.

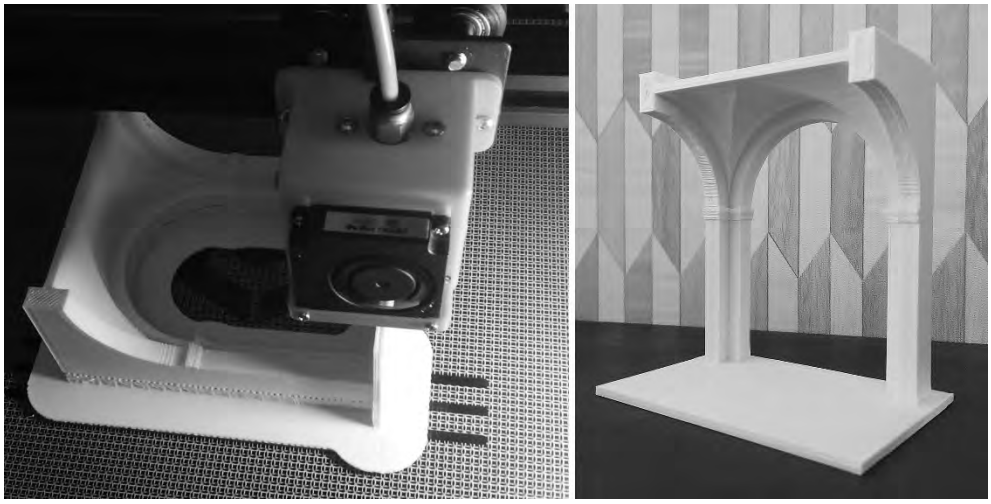


Fig. 10 – Il modello in fase di stampa 3D (a sinistra); esito della prototipazione (a destra).

Conclusioni e sviluppi futuri

Del progetto avviato nell'ambito delle attività dell'AISI sono state esposte, seppure sinteticamente, le finalità, la metodologia e una esemplificazione; esso si è focalizzato al momento sui modelli custoditi presso il CIBeC. Ha coinvolto ad oggi, alcuni ricercatori di Disegno del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Ateneo federiciano, studenti di primo e secondo anno, con l'obiettivo di verificare l'efficacia conoscitiva e comunicativa del clone digitale e fisico dei plastici individuati, nonché laureandi impegnati ad approfondire le strategie digitali più consone alla visualizzazione delle connotazioni geometrico-costruttive di prototipi materici, in relazione ad un loro riferimento a casi reali.

Si auspica che il processo messo a punto in relazione ai plastici ottocenteschi conservati presso il CIBeC possa estendersi per dare luogo ad un archivio digitale a testimonianza di buone pratiche costruttive, ma anche di competenze artistiche, producendo inoltre un corrispondente repertorio di modelli frutto di stampa 3D da fornire agli studenti e ai docenti come nuovi sussidi didattici.

Bibliografia

AA.VV. 1839. *Nuovo Dizionario Universale Tecnologico di Arti e Mestieri.* Tomo XXII. Venezia: Giuseppe Antonelli.

AA.VV. 1884. *Annuario della Regia Scuola di Applicazione per gl'ingegneri in Napoli. Anno scolastico 1883-1884*. Napoli: Stamperia del Fibreno.

Benvenuto E. 1989. L'Arte del fabbricare. Opera sospesa tra la vecchia trattatistica architettonica e la nuova impostazione didattica di fine secolo. In: *Capolavori di minuseria al servizio della scienza delle costruzioni : la collezione ottocentesca di modelli di costruzioni della R. scuola di applicazione per ingegneri in Torino. Politecnico di Torino, 22 novembre-16 dicembre 1989*. Comune di Torino. Politecnico Torino: C.E.L.I.D.

Bodrato E., Bongiovanni M. 2017. Il Gabinetto di Architettura antica e Tecnica degli stili. In: *Strumenti per la didattica nelle collezioni storiche della Biblioteca Centrale d'ingegneria. II Mostra Fotografica*. Torino: Politecnico di Torino.

Buccaro A. 2003. Da «architetto vulgo ingeniero » a scienziato artista: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Settecento e Ottocento. In: *Scienziati-artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli* (a cura di A. Buccaro, F. De Mattia). Napoli: Electa.

Giulierini P., Coralini A., Calandra E. (a cura di). 2020. *Miniere della memoria. Scavi in archivi, depositi e biblioteche*. Sesto Fiorentino: All'Insegna del Giglio.

Maldonado T. 1987. Questioni di similarità. Maquette. Rassegna, 34, 57.

Malfitana D., Amara G., Mazzaglia A. 2000. *La grandiosa imitazione. Il plastico di Pompei*. Roma-Bristol: L'Erma di Bretschneider.

Novello G., Bocconcino M.M. 2018. Archivi viventi: nuove alleanze tra beni conservati, forme di rappresentazione e metodi di diffusione del patrimonio tecnico. In: *Reuso 2018. L'intreccio dei saperi per rispettareil passato, interpretare il presenta e salvaguardare il futuro* (a cura di F. Minuto), Tomo II, 2603-2614. Roma: Gangemi.

Orlandi G. (traduzione a cura di). 1966. Leon Battista Alberti. *De Re aedificatoria. L'Architettura*. IX, 8. Milano: il Polifilo.

Parchi P.D., Andreani L., Piolanti N., Ferrari V., Carbone M., Condino S. Lisanti M. (2016) Utilizzo di modelli tridimensionali virturali e reali, ottenuti mediante prototipazione rapida, per il training chirurgico in chirurgia protesica dell'anca. Giornale italiano di ortopedia e traumatologia, 333.

Procacci P. (a cura di). 1998. Regolamento per la Regia Scuola d'applicazione degl'ingegneri in Torino (R. Decreto numero 4052, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia n. 339 del l867). In: *La Scuola d'applicazione per gl'ingegneri e il Reale Museo Industriale Italiano. Raccolta di Leggi e Reali Decreti dal 1859 al 1906. Memorie politecniche*. Torino: Politecnico di Torino, Centro Museo e Documentazione Storica.

Sardo N. 2004. *La figurazione plastica dell'architettura. Modelli e rappresentazione*. Roma: Kappa.

Sebastianelli M., Muscariello C. 2021. Modelli architettonici: sviluppi e tecniche di costruzione. OADI Rivista dell'Osservatorio per le Arti Decorative in Italia, 23, 113-134.

Valenti G.M., Conti C., Romor J. 2019. Representing with Wood: Carlo Lucangeli and the Model of the Flavian Amphitheatre. Digital Wood Design. Innovative Techniques of Representation. Architectural Design. 24, 343-374.

Viola F. 2003. Modelli e strumenti d'insegnamento nella Scuola di applicazione: Il sussidio dei modelli nella progettazione architettonica. In: *Scienziati-artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli* (a cura di A. Buccaro, F. De Mattia). Napoli: Electa.

Sitografia

[1] Definizione di plastico
https://www.treccani.it/vocabolario/plastico2 (consultato il 29.10.2021)

[2] Immagini
https://artsandculture.google.com (consultato il 3.11.2021)

[3] Immagini
https://www.carlovirgilio.it (consultato il 3.11.2021)

[4] Plastico di Pompei
https://www.altair4.com/it/lavori/pompei-il-plastico-e-la-citta (consultato il 22.10.2021)

[5] Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali
http://www.cibec.unina.it (consultato il 25.10.2021)

Note

1. Il termine deriva dal latino modulus o modus ed evoca nozioni di misura, di norma.
2. In epoca moderna si è ricorso al termine latino exempler, il quale si riferiva al modello che precedeva l'opera o alla copia che seguiva (Sardo, 2004).
3. Felice Padiglione, era figlio di Domenico Padiglione, autore di altre opere del genere, tra cui i modelli dei templi di Paestum e del macellum di Pozzuoli.
4. Il Regio Museo Industriale e la Scuola di Applicazione collaborano per alcuni anni; la loro fattiva sinergia confluisce nel 1906 nella fusione che dà vita al Regio Politecnico di Torino.
5. Tale patrimonio di modelli fa parte oggi del Centro Museo e Documentazione Storica (CEMED) del Politecnico di Torino, attivato nel 1997 per gestire la memoria storica dell'Ateneo, coordinando le attività inerenti gli archivi, le collezioni e i materiali di interesse storico, già della Scuola di applicazione per gli Ingegneri (1859-1906) e del Regio Museo Industriale italiano (1862-1906) e, in seguito, del Politecnico di Torino (dal 1906).

6. Il Laboratorio era diretto da Giovanni Blotto e Vittorio Canepa abili artigiani ed eredi di una antica tradizione torinese nella lavorazione del legno e nella formazione grazie all'Università dei Minusieri, nata nel 1636 per volontà della casa reale dei Savoia che ha avuto un ruolo fondamentale nel proteggere ed incentivare le arti del legno. L'elevata professionalità del Blotto viene premiata con una medaglia d'argento nella sezione "Istituti, libri e biblioteche" dell'Esposizione Generale Italiana del 1884.
7. Il CIBeC «ha il fine di contribuire allo sviluppo delle ricerche nel campo della conservazione e del recupero dei beni di interesse storico, artistico e culturale» [5].

WORKS AND PROTAGONISTS BETWEEN ANCIENT AND MODERN

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Eugenio D'Anna, Pier Gabriele Molari

A new solution for the Colosseum velarium

Una nuova soluzione per il velarium del Colosseo

Abstract

Many scholars have studied how the *velarium* could have been conceived and built, with the technological knowledge of the time to cover with a big awning the elliptical base surface of the Colosseum having diameters of 188 and 156 meters. Unluckily no part of the *velarium* survives, but the anchor devices of the masts are still in place. There is therefore an extensive bibliography on this topic (Graefe, 1979). However, doubts arise about the solutions thought up to now and therefore, after reviewing sources and studies and building some scale models, the essential properties to be attributed to the awning are defined, arguing the full coverage of the Colosseum and proposing a new solution. The construction technology of the *velarium* must surely refer to the naval sector, seeing that the unfolding of this very large awning, of about 23,000 m^2, was ensured by one hundred sailors of the fleet from *Capo Miseno* barracked right near the Colosseum (Pliny the Elder), and given the proven naval technology used in the construction of the amphitheater (Molari, 2018). The new construction solution, here proposed and verified from a static point of view, takes into account carpentry, chains, ropes, sheets and winches strictly of naval derivation. Of this research, which has continued over time, an extensive report can be found in [1] and here it will often be referred to.

Sommario

Molti studiosi hanno cercato di rispondere come fu concepito e costruito con le conoscenze tecnologiche dell'epoca, il *velarium*, una grande tenda che copriva il Colosseo, la cui superficie di base, ellittica, ha diametri di 188 e 156 metri. Sfortunatamente nessuna parte del velario sopravvive, ma i dispositivi di ancoraggio degli alberi di sostegno sono ancora al loro posto. Su questo argomento esiste un'ampia bibliografia (Graefe, 1979), ma ci sono ancora dubbi sulle soluzioni sinora individuate; in questo contributo, a valle di un esame delle fonti esistenti e delle ricerche fin qui effettuate, sono definite le proprietà essenziali di un *velarium* che potesse fungere da

copertura integrale del Colosseo e viene presentata una proposta originale per spiegare come questa fu costruita. In particolare, si ritiene che la tecnologia costruttiva del *velarium* debba sicuramente riferirsi al settore navale, visto che lo spiegamento di questo grandissimo tendone, di circa 23.000 m^2 di superficie veniva assicurato da cento marinai della flotta di Capo Miseno baraccati proprio nei pressi del Colosseo (Plinio il Vecchio), e vista la collaudata tecnologia navale utilizzata nella costruzione dell'anfiteatro (Molari, 2018). La nuova soluzione costruttiva, qui proposta e verificata dal punto di vista statico, tiene conto di carpenteria, catene, funi, teli e argani rigorosamente di derivazione navale. Di questa ricerca, proseguita nel tempo, si trova un ampio resoconto nell'articolo degli autori di questo contributo, dal titolo "Il velarium del Colosseo: una nuova interpretazione" [1] al quale qui si farà spesso riferimento.

Introduction and reference images

The Colosseum *velarium* was an engineering work that aroused wonder for the difficulty of covering such a large elliptical base surface. This work was certainly the result of high design, at the same level of the building it covered. The wonder of the Romans is documented in various writings and many images that we can see in bas-reliefs and on commemorative coins and medals. The wonder has remained unchanged over the centuries, together with that for the main work, and even lately an Italian coin displays the image of the Flavian amphitheater, which remains the largest theater in the world and the most visited monument.

The construction of the Colosseum began after the death of Emperor Nero, under Vespasianus, in A.D. 69-70. In this initial step the great work consisted of three levels and it is likely it has been built by the Haterii family which left an image carved on the family tomb (Fig. 1). It is not certain if at this stage it had protection for the sun. Indeed, the top of the bas-relief shows structures of doubtful meaning. However, there is a contemporary relief (Graefe, 1979; Ciotti, 1950) (Fig. 1), which has many elements that can be referred to the Flavian amphitheater: theater, stands, *quadriga*. This relief, found by chance in the Church of S. Elia di Nepi in 1948, shows a *velarium* collected at the top and housed in separate boxes.

Under Emperor Titus this huge theater was enlarged, adding the fourth level, to contain a greater number of spectators: up to 87,000. The inauguration took place in the 80s. The addition of the so-called portico covered by a terrace and not equipped with seats, must be thought of to improve the acoustics (Alberti, 1475), as a shelter from sudden rains and as an entertainment area for shows that lasted the whole day and, sometimes, several days. The levels were increased to five and a mobile covering was added as a shelter from the sun, which sweeps a large area of seats at the latitude of Rome. The upper part of the portico must therefore be considered commit-

Fig. 1 – The Colosseum: in the Haterii bas-relief (on the left) (Molari 2019)*; in a bas-relief with an image of an amphitheater with a velarium that is collected in distinct sectors found in the Church of S. Elia in Nepi (at right)* (Ciotti, 1950) *during the "Neronian" phase.*

ted to the *velarium*, to the implementation of the support structures and to the operations of spreading out, withdrawing and storing the awning in a dry place, as shown in a *sestertium* coined during the Tito period (Fig. 2).

It seems suitable to recall the essential geometric characteristics of the Colosseum: elliptical outer wall with axes of 188 m and 156 m, a perimeter of 530 m and a height of 48 m; arena: elliptical shape with axes of 86 m and 54 m. The external wall of the amphitheater sees, in height, 3 orders of arches, followed by a plain wall. In plan, the arches are 80 in number.

The protruding cornice carries 240 rectangular holes (three per bay), with matching corbels on the wall of the fourth order, Fig. 3 (Desgodetz,1682).

Fig. 2 – The Colosseum: in a sestertius of Tito, 34.7 mm, the masts, the support belts, the collected velarium are shown [Münzkabinett Winterthur R 657].

Fig. 3 – The Colosseum: The holes on the crown and the mast supporting corbels in a drawing (on the left) (Desgodetz,1682) *and in a photo of our days (on the right).*

Holes and corbels make up the anchor for wooden antennas (ship masts) supporting the *velarium* rigging. The mast spacing is roughly 530/240 = 2.21 m.

Historical solutions review

The *velarium* rigging historically aroused a big amount of analyses and proposed solutions, as listed in Graefe (Graefe, 1979), which is referred to for the extensive bibliography. No one, with the sole exception, to our knowledge, of R. Chambon [2] has bothered to perform static checks on the proposed schemes. Despite the contrary opinion of Colagrossi (Colagrossi, 1913), who considered statics of no use, it seems that the execution of even approximate verifications would have prevented statically inadequate proposals. Anyway, the majority of the proposed solutions (Nibby, 1819; Borgnis, 1823: 492; Canina, 1840; Lucangeli e Dalbono, 1845; Tocco, 1857; Stankovich, 1922;) focuses on some basic properties: a load-bearing structure consisting of radially projecting ropes on two levels. The ropes of the highest level are hooked on top of the 240 masts and support a central ring, circular or elliptical in shape, often of the same size of the arena. A second, lower level of ropes, hooked to the ring and fixed on the lower part of the masts, or in any case on the roof terrace of the portico, has the function of supporting the sails, also allowing the opening and closing operations. The set of basic properties highlights some problems that arise from general static evaluations.

First of all, with the spans deriving from the choice of a central ring, even if of rather small size, the tension force of the latter would have easily reached some tens of tons. This would have resulted in the need of building the ring with sandwich-connected metal elements (Borgnis, 1823: 492), or with a single melting bar. The ring, therefore, would have been heavy, cumbersome and impossible to maneuver, transport, store at the time of assembling or disassembling the *velarium*.

Secondly, for large areas the perpendicularity between the radial path of the ropes and the local tangent to the external wall would disappear, Fig. 4, with ensuing static problems, such as skew flexure in the masts, and difficulties in the construction and handling of the canvas panels.

Finally, in the hypothesis of a small central ring, the external elliptical shape implies a remarkable difference between the maximum and minimum real spans of the ropes. The result is a strong differences between the maximum and minimum values of the related stresses. As a first consequence, simplified calculations such as the adoption of medium circular patterns can lead to misleading results. Secondly, this difference also leads to difficulties of geometric adjustment when first assembling the rope network.

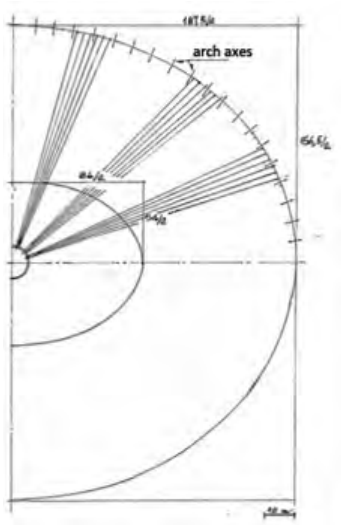


Fig. 4 – Some proposed solutions – plan [1].

Other solutions include a covering with diametral ropes between the upper and lower parts of corresponding masts, or a covering with ropes parallel to the minor diameter of the ellipse. The first one does not take into account the difficulty of the construction with the intertwining of many ropes and the subsequent huge difficulty of covering the lower rope surface with sails of different shapes. As for the second one, the uniform mast spacing on the outer edge would imply a continuosly uneven width of canvas stripes. Moreover, it would also be hindered by the great variation of stresses on the load-bearing cables.

The examination of the bibliography and of the geometric characteristics of the Colosseum suggests the main functions and properties of the *velarium*.

Lightness

The awning surely had its maximum height in the center, since a downward sloping roofing would have produced a very bad effect (Desgodetz, 1682). A correct sense of lightness could have been achieved only by setting the velarium at a clearly higher level than the top of the external wall. Hence the need for supporting masts of appropriate height and suitably braced with connecting rings as seen in the image of Sestertius of Titus (the hypothesis of bracing with ropes anchored to the ground 15 m from the external perimeter (Manzione, 1982) from an analysis of the pillar foundations proved not to be feasible).

Protection from rain and winds

The *velarium*, with its scarcely sliding surface in canvas (linen) fabric was not apt to drain the rain waters, since its huge extension in plan made it possible to obtain

Fig. 5 – Puy du Fou. Les Epesses, France: Contemporary amphiteater for historical shows.

slopes of only a few per cent units. Moreover, the deformability of the canvas would have caused accumulation pockets, quickly leading to general collapse. It must be considered that canvas weighs about 0.3 daN/m^2, while only 3-4 mm of rain imply a load of 3-4 daN/m^2, already unbearable for the rope structure. Finally, the splitting of the velarium into single sheets (necessary for operations) implied an unavoidable lack of waterproofing.

The awning was not even apt to sustain strong winds. In this case it is believed the cover had to be wholly retracted into the shelters.

Protection from the sun

The main (if not the only) function the *velarium* had to fulfill was the protection from the sun on hot summer days, clearly covering nearly the whole amphiteater. Indeed, the first rows of seats next the arena were assigned to the Emperor, the senators and the wealthier classes: therefore, a big opening would have exposed them to the sun. Fig. 5 shows the lack of protection even on the upper places in a contemporary realization, where the awning carries a central opening of the same shape and dimensions of the arena.

Shelter

Ropes and fabrics are sensitive to weather decay. The basic structure (ropes) almost certainly remained assembled during the whole summer season, while the

cloth was stretched only at the moment of shows. In the intervals between these latter the *velarium* had therefore to find a suitable shelter. Furthermore, in the case of sudden rains, the sheets had to find a quick shelter in the immediate vicinity of the moving winches, and then, yet dry, be stretched out again at the return of sunny weather.

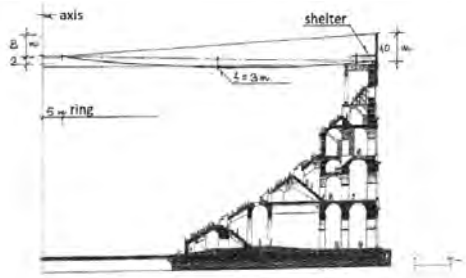


Fig. 6 – Colosseum: the basic section [1].

A new proposal

All the drawbacks stated so far lead to the proposal of a new model, obtained by first assuming the circular shape for the central ring, with an approximate diameter of 10 m (Fig. 6).

The central ring is split into two halves, which are spaced, along the largest diameter, by about 32 m. The central opening is completed by connecting the half-rings with two straight sections parallel to the maximum diameter (Fig. 7).

As already noted, the central structure could be subject to even considerable stresses; we therefore believe it could have been made with a steel chain, whose technology, substantially of naval origin, was certainly known to the Romans. The chain was quite easy to build and handle, and lent itself well to transport and storage when the *velarium* was dismantled.

At old times, chains were used also for port defense. From late antiquity we have remnants from Istanbul and Pisa ports. So, shape and size of chain rings and characteristics of their pure iron are perfectly known (Fig. 8).

The ropes which settle on the chain straight sections are parallel to each other; the ones that hook onto the half-rings are almost perpendicular to the edge, and with an appreciably constant span of about 73 m.

The two straight chain sections are also connected by perpendicular elements, necessary for balancing the tensions of the parallel ropes of the central area.

The Roman ropes for naval use were often built with esparto, whose characteristics were very similar or better than those of modern hemp ropes (Ucelli, 1940; Berti, 1980).

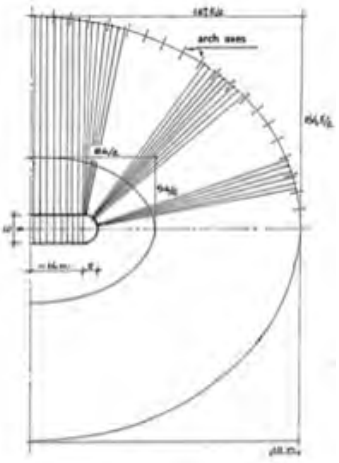


Fig. 7 – Colosseum, the velarium: the proposed solution – plan [1].

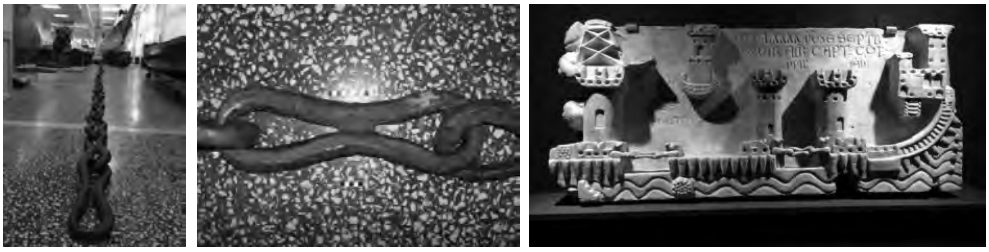


Fig. 8 – The Istanbul chain (Genç, 2009)*: this example of link is 57 cm long, 16.5 cm wide, has a circular section with the diameter of 4.5 cm and a weight of 15.4 kg (on the left and in center), a high-relief in Genoa with the chain closing the old port of Pisa (1490): both chains have the same shape (on the right).*

It is also possible that this extended ring could carry an ornamental roof, in a raised position in order to ensure a suitable ventilation of the amphitheater (Fig. 9).

In this way a central structure with a simple and clear static behaviour is obtained. In the central areas, the cables balance symmetrically around the larger diameter, leaving the two horizontal chain branches unstressed. In the two fan-shaped areas, under the roughly uniform horizontal load coming from the rope arrays, the two half-rings undergo a nearly constant axial stress N. The efforts emerging at their ends are balanced by the two horizontal branches. This solution recalls the structure of a ship hull with circular bow and stern, the central part almost rectilinear, and with the part of force defined by the ribs joined by the keel.

As for the global section, the general directions of Fig. 6 remain valid. In more detail, we remember the need to assign a suitable length to the masts to avoid the unpleasant effect of a downward sloping cover. On the other hand, a too small difference in height between central ring and antenna top would enhance the stress level in the upper ropes. In this case, difficulties would arise for their hand-operation, even with the aid of winches.

The image of Tito's sestertium (Fig. 2), shows how the antennas were connected by horizontal wooden ring bands, thus realizing a very firm complex with a double benefit: reduction of transverse stresses on the supporting corbels, and reduction of the bending span of the masts. The temporary shelter for the sails could be obtained by creating a wooden box structure, which could easily find a place on the terrace whose depth is about 10 m. The structure should allow easy access and maneuvers for the operating crew, therefore it had to be between 2 m and 3 m high.

In connection with all this, it can be supposed that the antennas had, above the cornice, a total length of 10 m to 11 m, with a free length, above the sail shelter, of about 8 m to 9 m. These dimensions are perfectly compatible with the naval technology of the time.

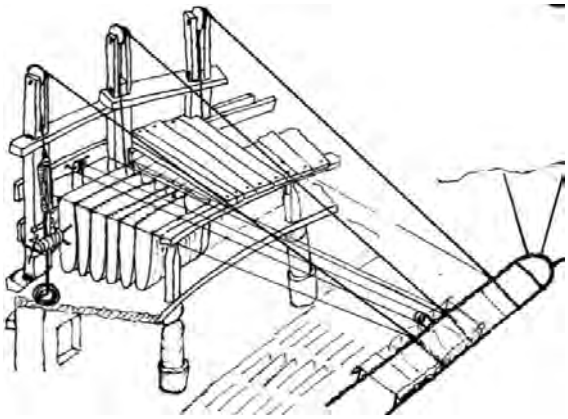


Fig. 9 – Colosseum, velarium: the supporting structure: central chain and ropes, the recovered sails [1].

Finally, some observations on the velarium itself.

The veil was certainly divided into adjacent sheets, having the probable width of an interval between consecutive ropes, with ribs to keep it stretched and rings for sliding on the supporting ropes. The fabric was usually linen (carbasina canvas). The initial raising of the rigging, before stretching the sails, could be ensured by tackles with multi sheave blocks and windlasses such as those described by Vitruvius and found from excavations of marine archeology (Whitewright, 2008) or as those carved on the machine of the Haterii (Molari, 2019), engaged with a "runner" on the support ropes (Fig. 9).

The maneuvers, as also known from literature, had to be quick, making use of the already quoted naval technology.

Static verifications

At the proposal of the new model it is deemed essential to confirm its static feasibility. The static verifications will be carried out with elementary methods, seeing that Romans derived their static solutions directly from building experience. Particular attention is focused on fan-like zones.

The substantially symmetrical behaviour allows to consider a pair of ropes of the two orders. The chain half-ring then provides for the mutual exchange of the necessary actions for balance, as evident from the sketch in Fig. 9.

It is assumed that each sector of the *velarium* was supported by two ropes of the lower order. As shown in Fig. 10, statics of one of the two ropes are considered, then doubling the values of the reactions in B which, through the central ring, act as loading forces for the upper rope.

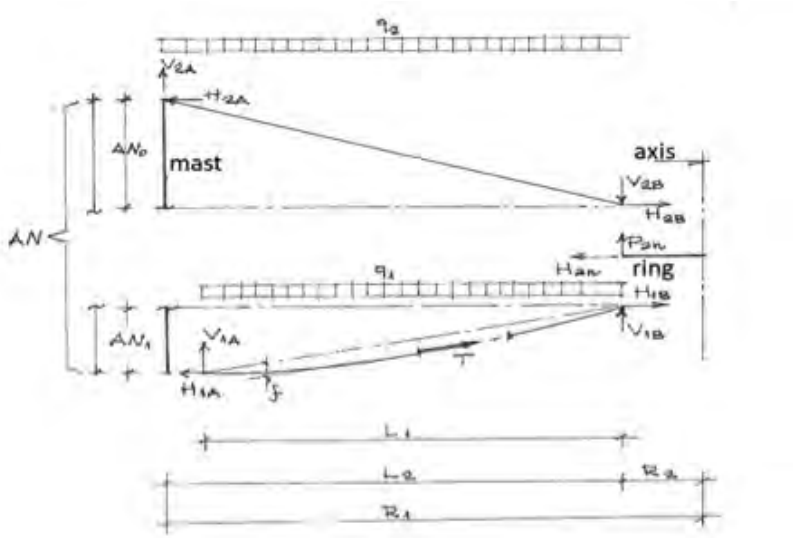


Fig. 10 – Colosseum: static parameters of the ropes.

Owing to the predominance of the horizontal dimensions, the real average slope of any rope is of the order of a few percent units. Therefore no substantial error is committed if the distance between supports of every rope is confused with its horizontal span. Likely, the loads too can be considered as distributed along the horizontal span.

The geometric parameters are also defined in Fig. 10. The difference between L_1 and L_2 depends on the position of the operating winches on the terrace.

Lower rope

Plane problem. In addition to the three general equilibrium equations, a complete cut is performed in the central section. The emerging tension force T may be derived through moment equilibrium in A. It is easily obtained:

$$T = q_1 \cdot \frac{L_1^2}{8 \cdot f} \qquad H_{1A} = H_{1B} = T$$

$$V_{1A} = q_1 \cdot \frac{L_1}{2} - H_{1B} \cdot \frac{AN_1}{L_1} \qquad V_{1B} = q_1 \cdot \frac{L_1}{2} + H_{1B} \cdot \frac{AN_1}{L_1}$$

For the vertical displacement f the value of 3 m can be assumed, which is of the order of 4% of the span.

Upper rope

Its load, at the extreme B, is the sum of the effects of the lower rope V_{1B} and of the relevant weight of the ring.

Calling P_{an} this weight, the load at the end of the rope is:

$$V_{2B} = P_{an} + 2 \cdot V_{1B}$$

and, if q_2 is its distributed load, the general equilibrium yields:

$$H_{2A} = H_{2B} = q_2 \cdot \frac{L_2^2}{2 \cdot AN_0} + V_{2B} \cdot \frac{L_2}{AN_0}$$

Lastly, the tension force in the rope:

$$Z = \left(H_{2B}^2 + V_{2B}^2 \right)^{1/2}$$

only slightly different from H_{2B}.

Half rings

Each half-ring is loaded by the horizontal reactions H_{1B} and H_{2B} applied by the two rope layers. If i_p is the mutual distance, along the ring, of the upper ropes, the H set realizes a uniform radial load:

$$q_a = \frac{2 \cdot H_{2A} + H_{2B}}{i_p}$$

Therefore, the half-ring undergoes the uniform axial tension:

$$N = q_a \cdot R_2$$

Chain horizontal sections

As already pointed out, they provide for the equilibrium of the two half-rings, and are subject only to the normal stress *N*.

Load cases and combinations

Three loading phases are considered:

1. only weight of the structures, i.e. ropes and “ring”,
2. only weight of the sails, whose load reach the maximum value with fully extended coverage,
3. final situation, total load.

With the disposition of Fig. 9 (winches on the outer wall): $L_1 = L_2 = R_1 - R_2$. The numerical results obtained by adopting the following dimensions are reported: R_1= 78 m; R_2= 5 m; AN = 10 m; AN_0= 8 m

Load case 1

For hemp ropes, the specific weight is about 1 daN/dm^3, therefore:

unit weight of the lower cable, Φ = 12 mm, q_1 = 0.12 daN/m

unit weight of the upper cable, Φ = 25 mm, q_2 = 0.55 daN/m

For the steel chain structure, with specific weight about 7.85 daN/dm^3:

ring unit weight, steel bar Φ = 45 mm, q_a = 35.00 daN/m.

Load case 2

For linen sails, the unit weight is estimated at about 300÷400 g/m^2. However, to take into account the possible presence of stiffening reinforcements and connections to the ropes, the average weight of 600 g/m^2 is evaluated for the finished sail. By considering, for each sheet, the influence width of 2 m, for each rope of the pair: unit weight transmitted by the sails, q_3 = 0.60 daN/m.

Load case 3

For a given value of *f*, the results can be obtained by summing up cases 1 and 2.

The most significant results for tension forces are reported in Table 1.

For the verification, the classic "allowable stress" method is used, adopting for hemp: 200÷250 daN/cm^2, and for steel: 1,200÷1,300 daN/cm^2.

The final values, as displayed in Table 2, are consistent with the properties of the materials.

The sections of ropes and chain are very close to the ones recovered in Nemi (ropes) and Istanbul (chain).

These stresses, except for small variations, also apply to the two central sections, which have the same spans as the fan-shaped lateral areas.

Table 1 – Tension forces in daN.

	Tension forces (daN)		
	Phase 1	*Phase 2*	*Final*
Cloth-holding rope T	27	133	160
Ring-holding rope Z	324	469	793
Chain N	12,660	24,683	37,343

Table 2 – Design sections and stresses

	Section diameter (mm)	*Area (cm^2)*	*Stress (daN/cm^2)*
Cloth-holding rope T	12	1.1	145
Ring-holding rope Z	25	4.9	162
Chain N	2·45	2·15.9	1,174

Of course, the numerical results depend on the choice of the elementary scheme adopted for static evaluations. However, they seem accurate enough to justify the proposed solution.

Conclusions

With the proposed solution (Fig. 9), the whole surface is covered including the arena, except for a small central area also useful for ventilation. This choice also shades the front seat rows where most respected people sat.

The awning is divided into four parts: two fan-shaped, towards the ends of the major axis of the ellipse, and two at its sides. A steel chain is used, with two straight sections, parallel to the major axis, linked to two half-rings. Fixed slides can be inserted on the chain links to wind the ropes on fixed pulleys without knotting them. A drawback, but also a confirmation, of this iron chain solution is its ability to attract lightning. A feature that may have been responsible for the three major fires, really caused by lightning, as reported by Roman historians.

The realization of a shelter for the canvas when it is withdrawn on the portico terrace is envisaged. To this end, a plank deck is built close to the external wall. It can act as a cover for the canvas and as a working floor for the *velarium* operators.

A belt connecting all 240 masts is considered. This belt divides every mast in two parts: the first one supporting the upper rope layer, the second one where the lower rope layer is connected.

The assembly of rope rigging is rather simple. Only radial cables require a partially simultaneous stretching. The remaining, parallel ones can be arranged later.

Only two sheet shapes are needed: one for the central parts, the other for fan-like zones.

Substantially, the proposed solution displays outstanding ease and the use of known naval technology.

References

Alberti L.B. 1485. *De re aedificatoria*, Lib VIII, f.152 r. in 1966. *L'architettura* (a cura di Orlandi). Milano: Il Polifilo.

Berti F. (a cura di). 1980. *Fortuna Maris - La nave romana di Comacchio*. Bologna: Nuova Alfa ed.

Borgnis G.A. 1823. *Traité Elementaire de Construction.* Paris: Bachelier.
Canina L. 1830-40. *L'architettura antica descritta ed illustrata. coi monumenti* Parte Il. Roma: Canina.
Ciotti U. 1950. Rilievo romano e plutei medioevali ritrovati a Castel S. Elia. Bollettino d'Arte, Serie IV, 35, 1-8. Roma: Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo,
Colagrossi M. 1913. *L'Anfiteatro Flavio nei suoi venti secoli di storia*. Firenze: Libreria Editrice Fiorentina; Roma: Libreria Propaganda.
Desgodetz A. 1682. *Les Edifices Antiques de Rome*. Paris: Coignard.
Genç U. 2009. *Haliç Zinciri Problemi*. Tesi di Master. Istanbul: T.C. Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştirmalari Enstitüsü Türk Sanati.
Graefe R. 1979. *Vela erunt : die Zeltdächer der römischen Theater und ähnlicher Anlagen*. Mainz am Rhein: Philipp von Zaben.
Lucangeli C.R., Dalbono P. 1845. *Il Colosseo di Roma della grandezza di palmi 2440 di circonferenza, ridotto alla circonferenza di palmi 40 49/60 misura lineare dall'uno a sessanta opera mirabile*. Seconda edizione. Roma; Salviucci.
Manzione E. 1982. *Il Colosseo (Amphitheatrum Flavium): storia della sua edificazione*. *Le meraviglie del Lazio.* Roma: Wage.
Molari P.G. 2018. Elementi per ricostruire la macchina di sollevamento degli Haterii e le macchine per alberare navi. In: *Proceedings of History of Engineering,* I 115-129. Napoli, 23-24 aprile. Napoli: Cuzzolin Editore.
Molari P.G. 2019. Analisi della macchina rappresentata nel bassorilievo degli Haterii - per una ricostruzione funzionale. Città del Vaticano: Bollettino dei Monumenti Musei e Gallerie Pontificie XXXVII.
Nibby A.. 1819. *Del foro romano, della via sacra, dell'Anfiteatro Flavio.* Roma: Poggioli.
Pietrangeli C., 1988. Sculture dei Musei Vaticani, Il Bollettino dei Monumenti Musei e Gallerie Pontificie, Città del Vaticano, VIII, 145
Pliny the Elder. *Naturalis Historia*. XIX, 6, 23.
Stankovich P. 1922. *Dell'anfiteatro di Pola dei gradi marmorei del medesimo nuovi scavi e scoperte e di alcuni epigrafi e figuline inedite dell'Istria*. Venezia: Giuseppe Picotti Edit.
Tocco E.L. 1857. *Del Velario e delle vele negli anfiteatri particolarmente nell'Anfiteatro Flavio*. Roma: Tipografia Menicanti.
Ucelli Guido 1940. *Le navi di Nemi*. Roma: La libreria dello Stato.
Whitewright J.R. 2008. *Maritime Technological Change in the Ancient Mediterranean: The invention of the lateen sail.* Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Southampton: University of Southampton.

Webgraphy

[1] D'Anna E., Molari P.G. 2020.
http://amsacta.unibo.it/id/eprint/6307/
[2] Chambon R. 2011.
http://www.velario-colosseo-velarium-colosseum.com/it/

Maria Martone

Per la valorizzazione di un luogo di cultura ingegneristica. Resti di pavimentazione stradale in pietra nei Campi Flegrei

For the enhancement of a place of engineering culture. Remains of stone road pavements in the Campi Flegrei

Sommario
Durante i lavori per la realizzazione nel 1940 del complesso fieristico ed espositivo della "Mostra Triennale delle Terre italiane d'Oltremare" e del vicino parco faunistico, situati nell'area dei Campi Flegrei a Napoli, furono ritrovati numerosi reperti archeologici, tra cui resti di pavimentazione in pietra della strada *Puteolis Neapolim per colles* che collegava Pozzuoli con Napoli, passando per le colline del Vomero, a testimonianza di una intensa vita svoltasi nel periodo romano nella zona flegrea. Il contributo, che contiene gli esiti di uno studio in itinere, si propone di documentare criticamente, sulla base del reperimento di fonti bibliografiche e archivistiche e attraverso gli strumenti della rappresentazione e del rilievo digitale, i tratti superstiti della strada puteolana, affinché la strada stessa possa essere letta in modo unitario sul territorio, con lo scopo di ampliare la conoscenza per favorire la tutela e la valorizzazione di un luogo di cultura ingegneristica, espressione del patrimonio identitario di una comunità.

Abstract
In 1940, during the execution works of the exhibition centre *Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare* and the nearby wildlife park, located in the area *Campi Flegrei* in Naples, a number of archaeological items were unearthed, including remains of stone pavement of the road *Puteolis Neapolim per colles* that connected Pozzuoli with Naples and passed through the hills of *Vomero*, demonstrating an intense life during the Roman period in the area. This paper shows the results of an ongoing study and aims to critically document the remaining sections of the above-mentioned road, thanks to the support of bibliographic and archivistic sources and the tools of representation and digital relief, in order to promote the protection and the enhancement of a place expression of engineering culture, and community identity.

Introduzione
Nel tessuto urbano dell'area dei Campi Flegrei di Napoli sono ancora visibili alcuni frammenti di pavimentazione in pietra della strada *Puteolis Neapolim per colles* di

epoca romana che collegava la città di Pozzuoli con Napoli, attraversando la collina del Vomero (Martone, 2020). Si tratta di frammenti sopravvissuti alle spoliazioni e alle vicissitudini della area flegrea, che risultano attualmente estranei al contesto in cui sono conservati, e nulla fa ricordare il disegno territoriale che un tempo quel tracciato stradale nella sua unità rappresentava. La continuità dei tratti stradali che si sono conservati, purtroppo, non è più facilmente identificabile a causa delle continue trasformazioni che l'area dei Campi Flegrei ha subito in seguito a fenomeni di espansione edilizia con la realizzazione di nuovi quartieri alla periferia occidentale di Napoli, come Fuorigrotta, e di nuove infrastrutture, tra cui la Mostra Triennale delle Terre Italiane d'Oltremare (Buccaro, 2021).

I frammenti della strada, che conservano ancora parte del *summum dorsum* originale, sono, infatti, sparsi nell'area dei Campi Flegrei. Il tratto iniziale della strada è visibile lungo via Vigna a Pozzuoli, all'interno dell'attuale pavimentazione viaria (Johannowsky, 1952), mentre altri segni dell'antica via si conservano nel quartiere di Fuorigrotta, a ovest del territorio comunale di Napoli, nel giardino faunistico e nella Mostra d'Oltremare (Mallardo,1938-1939). Un tracciato con basolati si affianca per un centinaio di metri con soluzione di continuità all'asfalto di una strada interna di attraversamento dello zoo, interrompendosi bruscamente per poi riprendere il suo percorso all'interno della Mostra d'Oltremare, poco distante, dove, in prossimità della fontana dell'Esedra, il tracciato si sviluppa ancora per un centinaio di metri. Si tratta di un'area verde abbandonata e nascosta, un tempo costituente un'area archeologica oggi non più presente, se non nella toponomastica della Mostra d'Oltremare. La presenza di alberi ad alto fusto e di fitti arbusti in più tratti ha danneggiato i basoli, sollevandoli anche dalla loro posizione originaria. Il basolato si perde, poi, nell'estremità est in un verde spontaneo che ricopre l'area e solo più avanti, in prossimità delle terme romane di via Terracina, si trova un altro tracciato, probabilmente un *vicus*, disposto ortogonalmente alla strada principale *per colles*.

La peculiarità di questi tracciati consiste nel trovarsi a cielo aperto, a differenza di altri resti di strade romane presenti nella città di Napoli che sono conservati nel sottosuolo del centro antico come, ad esempio, nel sito archeologico sottostante la basilica di S. Lorenzo. In questa memoria si propone il rilevamento digitale dei tre tracciati attualmente visibili in situ, per leggerli unitariamente, in quanto componenti di un'unica via di attraversamento e per evidenziarne il carattere identitario che esprimono. A questo scopo sono stati elaborati modelli digitali a scala territoriale e urbana con dettagli morfologici, approfondendo uno studio già iniziato per parti nell'ambito del Progetto PRIN 2017 (Martone, 2021).

Il contesto territoriale ed urbano

La strada *per colles*, così come si evince anche dal rilievo di seguito descritto, percorreva tratti urbani circoscritti alle aree di Pozzuoli e di Napoli e un lungo tratto ex-

traurbano di attraversamento dei Campi Flegrei, della piana di Soccavo e della collina del Vomero. Nell'area flegrea, che costituisce l'unica zona in cui sono stati ritrovati elementi superstiti dell'antico tracciato romano, la strada si sviluppava in un percorso caratterizzato, per la sua natura vulcanica, dalla presenza di crateri-lago, lagune costiere e piccole alture anch'esse di natura vulcanica, come il monte Olibano e il monte Dolce. Denominata fin dai coloni greci φλεγραῖος, ossia ardente, la zona è ancora oggi esposta a fenomeni secondari di vulcanismo, quali fumarole e sorgenti termali, come la Solfatara di Pozzuoli e le terme di Agnano che, insieme a ricordi mitici legati alla cultura greca e latina cantati da Omero e Virgilio, hanno reso questa terra mirabile per le sue bellezze naturali e per la storia degli insediamenti umani che racchiude[1]. Si tratta di un territorio che si estende ad ovest di Napoli, denso e stratificato, ricco di siti archeologici di età romana, alcuni dei quali ancora da valorizzare, risalenti a numerosi antichi insediamenti urbani, tra cui Baia, Cuma e Pozzuoli, sparsi sul territorio con tracce di infrastrutture ancora visibili e di notevole entità (Cardone e Papa, 1993).

La *via per colles*, denominata anche *Antiniana* o *Puteolana*, faceva parte, già dal I secolo a. C., della rete dei collegamenti tra Roma e Napoli (Tocco Sciarelli, 2020). In prossimità di *Suessa*, l'odierna Sessa Aurunca, dalla via Appia si apriva la via Domitiana che proseguiva fino a Pozzuoli. Da questa località, si sviluppava la *via per colles*, raggiungendo il centro di Napoli (Buccaro e Capano, 2021).

È noto che, in seguito alla seconda guerra punica, dopo il 217-200 a.C., aumentò notevolmente l'influenza romana sui territori campani e Pozzuoli divenne il principale porto commerciale del Mediterraneo occidentale (Dubojs, 1907). In questo periodo il collegamento viario con Napoli, già esistente con un percorso interno che attraversava Pianura e Soccavo, fu rafforzato con la costruzione della nuova strada *Puteolis Neapolim per colles*, percorrendo il seguente itinerario: via Vigna a Pozzuoli - Solfatara - Preventorio - Monte Dolce - Agnano (Napoli) - via Terracina - via Santo Stefano - via Belvedere - via Conte della Cerra - via Salvator Rosa - salita Tarsia - Spirito Santo - piazza S. Domenico Maggiore.

Sempre durante il I secolo a. C. fu aperto, probabilmente per motivi militari, un collegamento veloce tra Pozzuoli e Napoli attraverso una galleria, la *crypta neapolitana*[2], scavata nella collina di Posillipo che collegava direttamente il porto di Pozzuoli con quello di Napoli[3]. I tratti superstiti della *via Puteolis Neapolim* presenti nei Campi Flegrei, pur rappresentando un importante esempio dell'ingegneria e dell'urbanistica romana sul territorio napoletano, esprimono oggi una forte fragilità trovandosi in uno stato di grave abbandono confermato dal rilievo di seguito illustrato. Si tratta di beni nascosti in luoghi non opportunamente segnalati. Il tratto presente nel giardino zoologico si trova, infatti, tra i recinti degli animali della savana e delle tigri, mentre quello conservato all'interno della Mostra si trova in una zona verde degradata. Inoltre, nessun tipo di comunicazione visiva invita a percorrere questi luoghi ricchi di storia e testimonianza di una antica civiltà.

Si è ritenuto utile partire da un inserimento dei manufatti stradali nel contesto territoriale ed urbano per leggere la continuità della antica strada sul territorio e il suo antico attraversamento urbano ed extraurbano e per evidenziare soprattutto la valenza territoriale del bene archeologico, oggetto del presente contributo.

Per riproporre virtualmente quel *continuum* spaziale ormai non più esistente tra la strada *per colles* e il territorio circostante, è stata georeferenziata, in ambiente Gis[4], la mappa archeologica dell'area flegrea pubblicata nel 1952 da Werner Johannowsky in scala 1: 25.000, in cui è stato evidenziato il percorso della strada romana da Pozzuoli a Napoli, localizzando i tratti di basolato ancora visibili in via Vigna a Pozzuoli, nel giardino zoologico e nella Mostra d'Oltremare di Napoli[5]. Per rappresentare tridimensionalmente l'area flegrea è stato utilizzato, sempre in ambiente Gis, il *Digital Terrain Model*, generato sulla base di un Modello Digitale di Elevazione (Tarquini et al., 2007), cui è stato applicato l'algoritmo delle ombreggiature, come mostrato in Figura 1.

In ambiente Gis è stato possibile creare delle mappe per una rappresentazione multiscalare dei tratti di strada superstiti sul territorio dei Campi Flegrei, in Figura 2. Oltre alla carta archeologica di Johannowsky sono stati utilizzati i fogli della Carta Tecnica Regionale della Campania[6] di Pozzuoli-Astroni e di Napoli-Agnano, che, georeferenziati, hanno costituito il riferimento per l'inserimento delle ortofoto dei tre tracciati stradali, anch'esse georeferenziate.

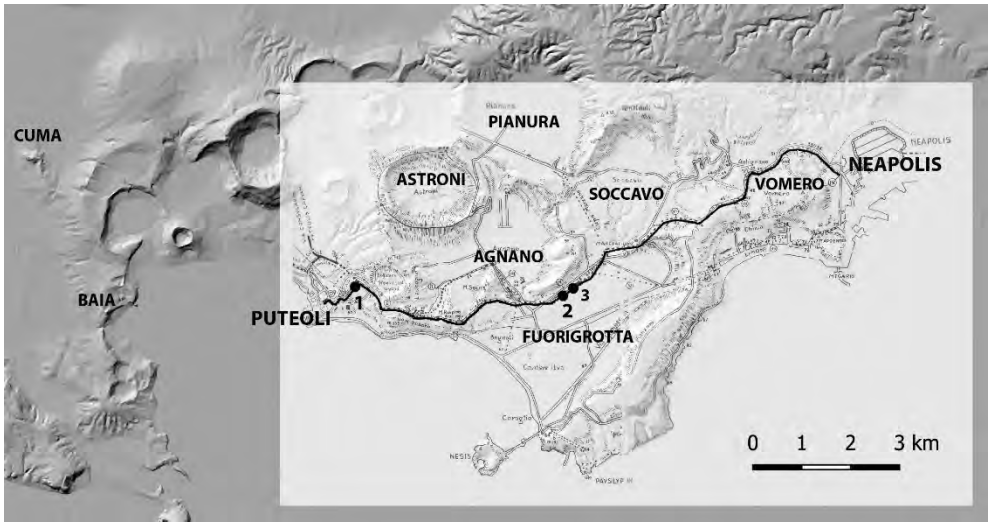


Fig. 1 – I Campi Flegrei e la strada Puteolis Neapolim per colles: elaborazione eseguita in ambiente Gis con la georeferenziazione della mappa di Werner Johannowsky (1952) su DTM della zona Flegrea. In evidenza le principali località e il percorso della strada. I numeri indicano i tratti superstiti della strada romana. Scala grafica originaria della elaborazione 1:100.000.

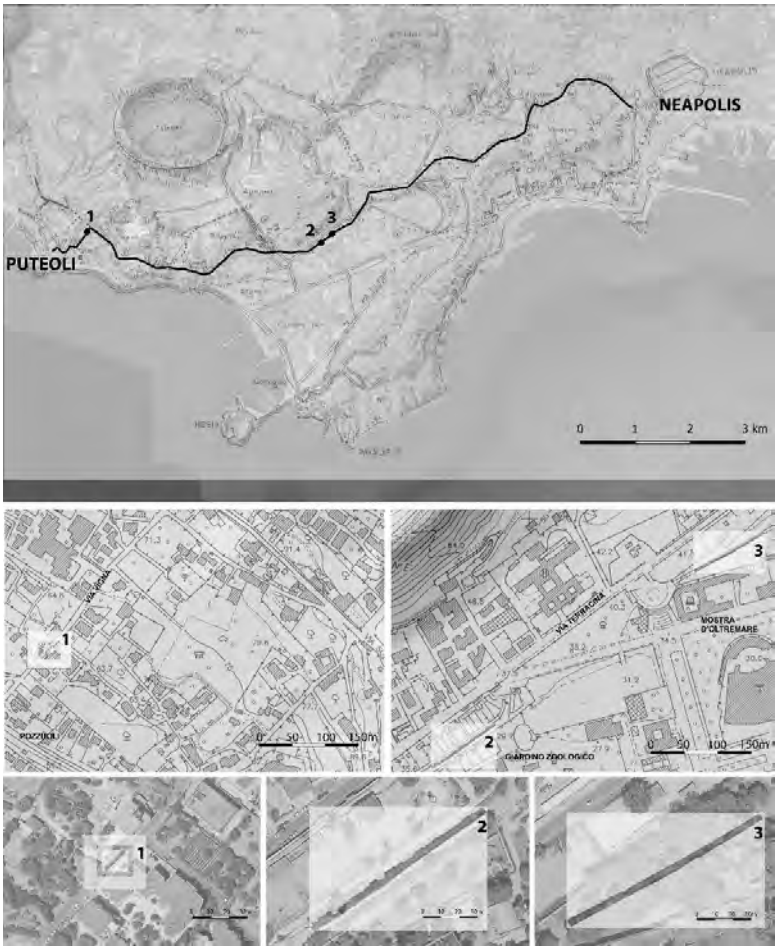


Fig. 2 – Rappresentazione multiscalare dei tratti di strada romana superstiti sul territorio dei Campi Flegrei attraverso la georeferenziazione delle rispettive ortofoto: 1: tratto in via Vigna a Pozzuoli; 2: tratto all'interno dello zoo; 3: tratto all'interno della Mostra d'Oltremare; in alto: mappa di Johannowsky (1952) georeferenziata con la strada romana in evidenza. Scale grafiche originarie delle elaborazioni: 1:50.000 - 1:2000 - 1:500.

A una scala territoriale 1:50.000 è stato rappresentato il percorso da Pozzuoli a Napoli attraverso la sovrapposizione della mappa archeologica di Johannowsky sulla vista satellitare, mentre per una rappresentazione urbana si è utilizzata la Carta Tecnica Regionale con una rappresentazione a scala 1:2000, in cui è ben evidente la continuità dei tratti presenti nello zoo e nella Mostra. Infine, la rappresentazione al 500 dei rilievi fotogrammetrici ha evidenziato il rapporto con il tessuto urbano circoscritto al bene archeologico. Successivamente, attraverso la rappresentazione

dell'ortofoto ad alta risoluzione, in scala 1:200 si è potuto apprezzare l'impianto morfologico dei manufatti stradali attraverso opportune rappresentazioni.

I manufatti stradali superstiti

Molti archeologi concordano nell'individuare l'inizio della *via Puteolis Neapolim* nell'attuale via Vigna a Pozzuoli, per la presenza nel suo selciato di antichi basolati di lava di trachite e per il ritrovamento nella zona di numerosi reperti del periodo romano. La strada si sviluppa nella zona NE di Pozzuoli e si immette nella via Solfatara. In prossimità del civico 52 di via Vigna è ancora visibile all'interno della pavimentazione stradale, composta da sampietrini, un tratto di basolato dell'antica strada romana. Non sono più visibili, invece, quei reperti archeologici descritti dagli studiosi quali monumenti funerari, cisterne e strutture legate al vicino anfiteatro piccolo, ad eccezione di paramenti murari in opera reticolata e in tufelli presenti nella facciata di una antica casa colonica ristrutturata, situata dopo il ponte della ferrovia al civico 5. Fa eccezione anche la Piscina Cardito, purtroppo in stato di abbandono, il cui ingresso si apre nella vicina via Vecchia San Gennaro.

Il rilievo digitale del selciato di epoca romana ha manifestato i segni di un notevole degrado che rischia di continuare nel tempo e di portare alla scomparsa di un bene di inestimabile valore e che potrebbe essere fruito in modo non così invasivo.

Meno rovinati, ma comunque abbandonati, risultano i selciati dell'antica strada situati l'uno all'interno del giardino faunistico e l'altro all'interno della Mostra d'Oltremare, ambedue paralleli alla via Terracina. Visibili in parte nella loro consistenza lapidea, i due tratti di strada non sono percorribili in continuità, pur essendo distanti tra loro solo 400 metri circa. Sono, infatti, accessibili uno dall'ingresso dello zoo in viale Kennedy e l'altro dall'ingresso della Mostra in via Marconi; inoltre, entrambi i tratti non rientrano in nessuna area archeologica tutelata (Dal Pozzo Gaggiotti, 1940). Lungo il percorso del tratto all'interno della Mostra d'Oltremare è situato un tempietto quadrangolare databile tra il I e II secolo d.C., ricomposto e restaurato dopo la II guerra mondiale da Amedeo Maiuri, che presenta lesene in laterizio e cornici e capitelli in cotto; attualmente è abbandonato e ricoperto di scritte (Papa, 2018).

Per il rilevamento dei selciati stradali si è fatto riferimento a una metodologia integrata, utilizzando tecniche sia dirette che digitali per acquisire e poi rappresentare, a una scala adeguata, le informazioni metriche del manto stradale (Docci et al., 2011). Attraverso la fotogrammetria digitale e l'utilizzo di software di *Structure from Motion* è stato possibile realizzare modelli numerici che hanno portato all'elaborazione di ortofoto ad alta risoluzione, da mettere a confronto in un inquadramento territoriale e urbano. Per il tratto di via Vigna è stato possibile eseguire solo riprese fotografiche con camera reflex, essendo la strada aperta al traffico, mentre per i tratti situati all'interno del giardino zoologico e della Mostra d'Oltremare è stato possibile eseguire anche una campagna di rilevamento SfM di fotogrammetria aerea per i tratti non impegnati dalle alberature.

Il rilevamento digitale dei selciati

Da un primo sopralluogo nei tre siti si è potuto constatare un diverso *summum dorsum* per tipologia e forma del basolato, osservazione che ha avuto riscontro nel rilevamento eseguito e che ha confermato una distinzione tra un tracciato urbano ed uno suburbano (Quilici, 2006). Il selciato in via Vigna si sviluppa al centro del manto stradale per circa 13,50 metri di lunghezza ed essendo sottoposto a continue e forti pressioni autoveicolari risulta purtroppo molto consumato in superficie. I basoli, in pietra dura di lava di trachite del vicino monte Olibano, si presentano di forma poligonale in dimensioni diverse che variano tra 70 e 50 centimetri. La presenza, inoltre, di pezzature di forma irregolare e di dimensioni inferiori mescolata a frammenti, così come si evince dalla restituzione dell'ortofoto del rilievo digitale, lascia presumere lavori di manutenzione successivi. Il tratto di strada visibile attualmente, anche se di esigue dimensioni, sembra avere le caratteristiche di una strada urbana, in cui i basoli di pietra vulcanica, resistenti all'usura e alla compressione e, pertanto, ideali per sostenere il traffico veicolare, sono disposti in modo da formare una pavimentazione continua. La vicinanza al centro di Pozzuoli e le numerose cisterne e necropoli ritrovate nella zona confermano questa ipotesi.

Il traffico veicolare e la presenza di macchine in sosta su di un lato della strada hanno ostacolato le riprese fotografiche che sono state eseguite su un solo lato della striscia di basolato antico. In questo studio sono stati utilizzati i dati del rilevamento già precedentemente eseguito (Martone, 2021) elaborando nuove rappresentazioni, in Figura 3. Sulla base dei fotogrammi scattati in modalità manuale con focale 18 mm[7], processati con il software 3D Zephyr Aerial della 3D Flow, è stato eseguito il workflow completo al fine di ottenere una ortofoto, utilizzata per il ridisegno del basolato[8].

Sulla base dell'ortofoto, in Figura 3A, è stato generato un file DEM, esportato in DSM, cui è stata applicata la visualizzazione a colori per la rappresentazione delle densità altimetriche dell'oggetto, riportata in scala di grigio nella Figura 3B. Da questo elaborato si evince una densità inferiore nelle zone situate al centro strada, maggiormente sottoposte al traffico. In ambiente Gis sulla base del file DSM, è stato creato un ulteriore modello tridimensionale al quale è stato applicato l'algoritmo hillshide, in Figura 3C, con l'obiettivo di una migliore visualizzazione della morfologia del basolato che ha evidenziato le parti più deteriorate, confermando il risultato del DEM. Da quest'ultimo elaborato è stato possibile effettuare una restituzione grafica della morfologia dell'impianto lapideo stradale in scala 1:100, mostrata in Figura 3D.

Per quanto riguarda, invece, il rilevamento digitale del selciato nello zoo e nella Mostra d'Oltremare, già da un primo sopralluogo si è notata una continuità tipologica tra i due tracciati, trattandosi di due episodi della stessa strada di un tratto suburbano. Il prodotto finale del processamento dei fotogrammi, ossia le due ortofoto messe a confronto, ha infatti evidenziato un acciottolato simile di medie dimensioni, il cosiddetto *galeratum*. I blocchi lapidei di dimensione variabile, da 80 a 30 centi-

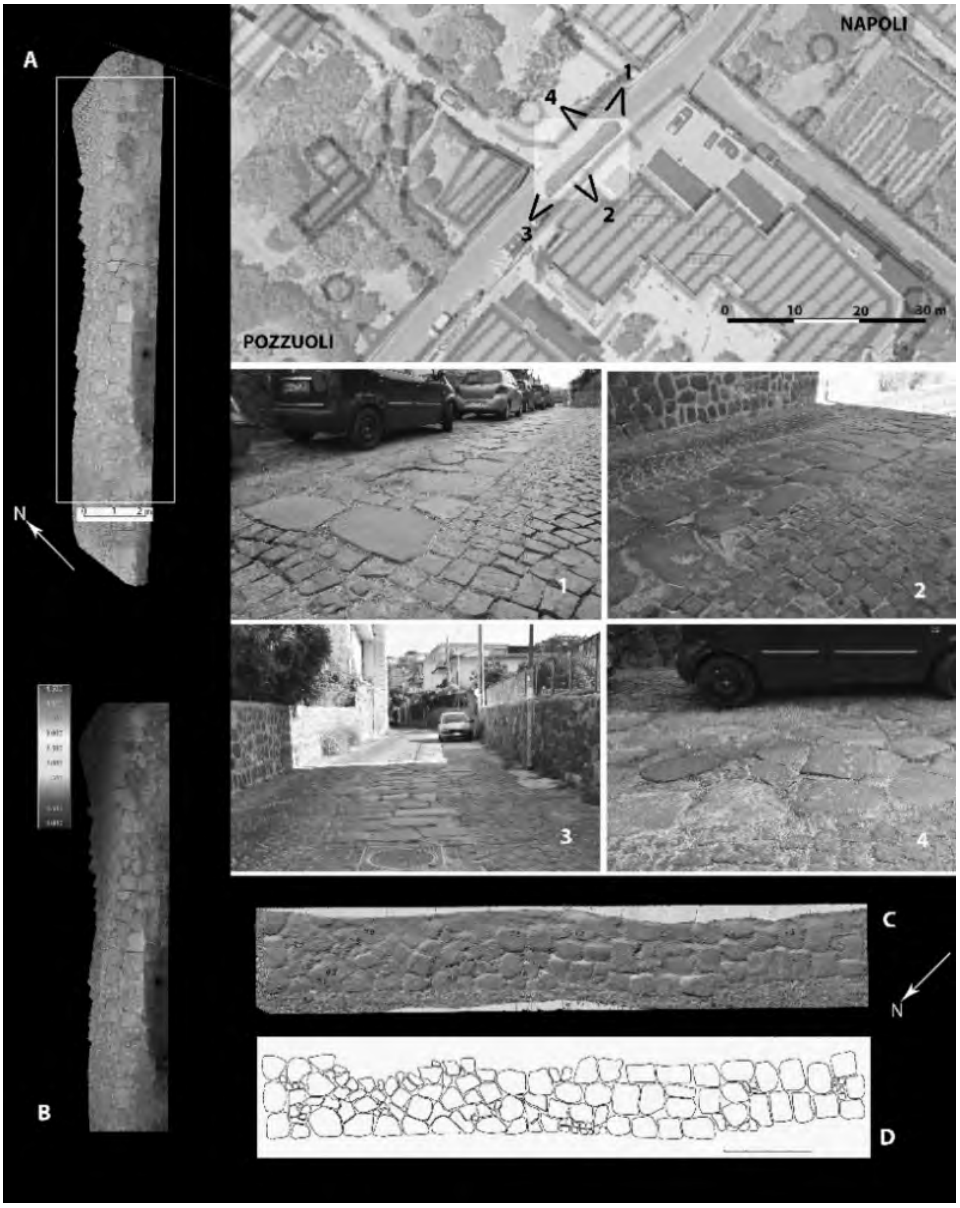


Fig. 3 – Rilevamento digitale del tratto di selciato romano in via Vigna a Pozzuoli: A: ortofoto; B: rappresentazione delle densità altimetriche; C: modello tridimensionale elaborato in Gis con algoritmo hillshide: D: restituzione grafica della morfologia dell'impianto lapideo stradale in scala 1:100; in alto: inquadramento urbano (scala grafica originaria 1:200) eseguito in ambiente Gis sulla base della Carta Tecnica Regionale, foglio Pozzuoli-Astroni, con viste sul selciato (da 1 a 4).

metri, presentano una forma appiattita, e, anche se disposti con una certa regolarità, sembrano non formare una pavimentazione continua e pertanto meno adatti a un attraversamento urbano. La morfologia e la fattezza dei basoli è, infatti, comparabile a tratti extraurbani di strade romane come, ad esempio, al tratto dell'antica via Appia che collegava Itri a Fondi, adiacente all'Appia nuova, da poco reso fruibile ai visitatori, dopo un lungo periodo di abbandono.

Sono stati eseguiti sopralluoghi diversi e diversi sono stati i progetti di ripresa fotogrammetrica.

Il tratto rilevato nello zoo, lungo poco più di 120 m, risulta addossato a un muro di contenimento ricoperto da piante rampicanti che ricadono sul selciato, ricoprendo in parte la pavimentazione. Nel tratto finale una macchia di arbusti e alberi ha danneggiato con le radici l'antica pavimentazione lapidea e ostacolato le riprese fotogrammetriche. Pertanto, per i primi 100 metri è stata condotta una campagna di rilevamento SfM di fotogrammetria aerea, in cui, date le caratteristiche dell'oggetto da rilevare, si è scelto di utilizzare un drone DJI Mavic mini 2 Fly, sensore 1/2,3" CMOS, obiettivo 35 mm, video 4k. Per il restante tratto sono state eseguite riprese con la reflex Nikon D7200, processate in maniera unitaria attraverso il software 3D Zephyr, utilizzando i marker appositamente posizionati in sito, di cui sono state rilevate le misurazioni con procedimenti diretti; i risultati sono mostrati in Figura 4.

Per quanto riguarda il tratto di strada ancora visibile all'interno della Mostra d'Oltremare, si è completato il rilevamento per un percorso di circa 126 metri, già iniziato in una precedente campagna di rilievo (Martone, 2021). Sulla base della prima esperienza è stata eseguita direttamente una campagna di riprese fotografiche nadirali condotta con il drone DJI Mavic mini 2 Fly, integrata solo in alcuni tratti con riprese fotografiche da reflex. Sono stati selezionati i fotogrammi per snellire le operazioni di processamento eseguite anch'esse con il software 3D Zephyr; in Figura 5 sono riportati i risultati.

Per entrambi i tratti di strada, i frame sono stati processati fino a ottenere la mesh texturizzata da cui è stata generata una ortofoto completa del percorso, rispettivamente nelle Figure 4A e 5A, successivamente caricata sul file DEM[9] ed esportata in DSM, nelle Figure 4B e 5B. Diversamente da quanto verificatosi nel tratto in via Vigna, i due modelli DSM, importati in ambiente Gis e processati con l'algoritmo hillshade, non hanno visualizzato i basoli, a causa della presenza negli interstizi di sterpaglie. Nell'impossibilità di eseguire una restituzione grafica del disegno della forma dei basoli del manto pavimentale di entrambi i selciati, causa la presenza negli interstizi delle pietre di aghi di pino e di vegetazione spontanea[10], per evidenziare ciò che attualmente è visibile del *summum dorsum* lapideo sono state fatte alcune applicazioni sulla base del riconoscimento del colore della pietra.

Importando in Photoshop l'immagine digitale dell'ortofoto e scegliendo un valore di tolleranza basso, è stata ottenuta per ciascun basolo una selezione sulla base

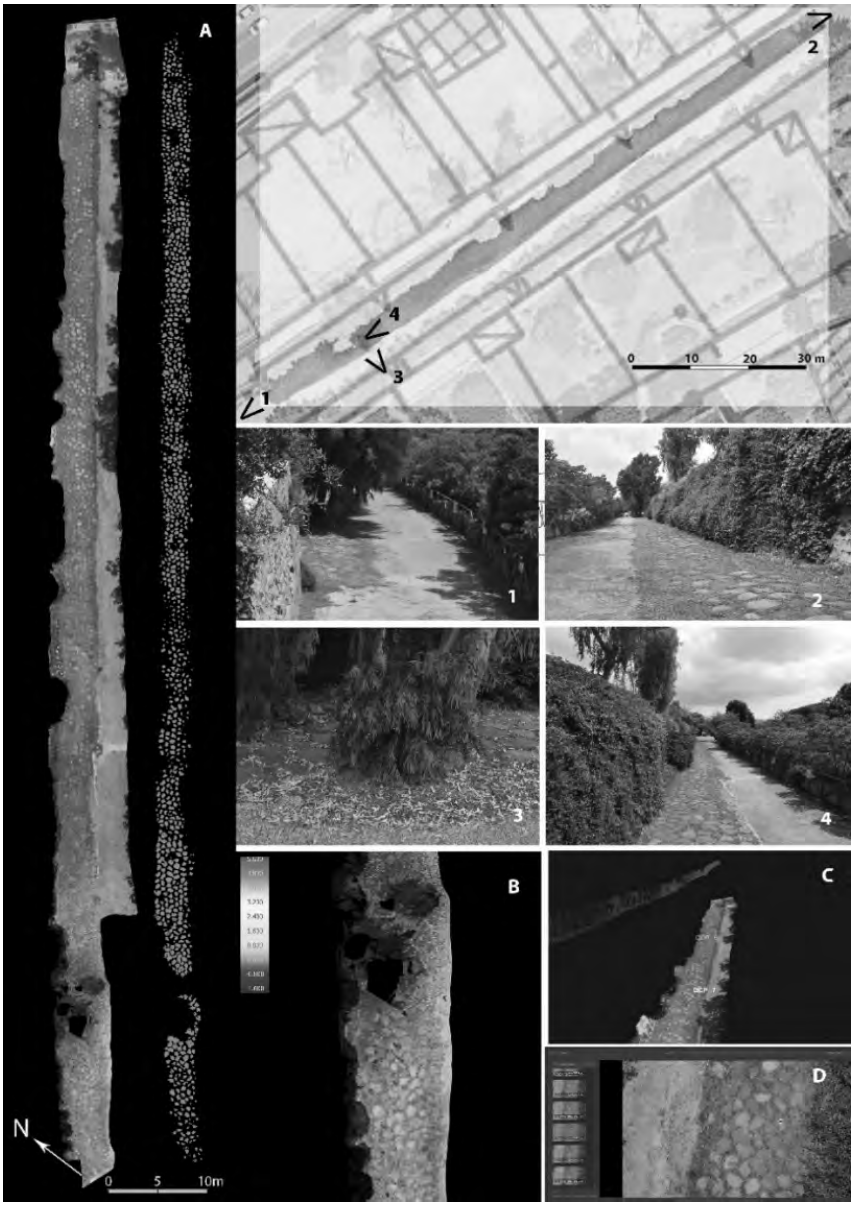


Fig. 4 – Rilevamento digitale del tratto di selciato romano all'interno dello zoo di Napoli: A: ortofoto e, a destra, mappatura della consistenza lapidea; B: rappresentazione delle densità altimetriche; C: vista sul modello mesh con texture; D: inserimento dei punti di controllo nel programma 3DZephyr; in alto: inquadramento urbano (scala grafica originaria 1:200) eseguito in ambiente Gis sulla base della Carta Tecnica Regionale, foglio Napoli-Agnano, con viste sul selciato (da 1 a 4).

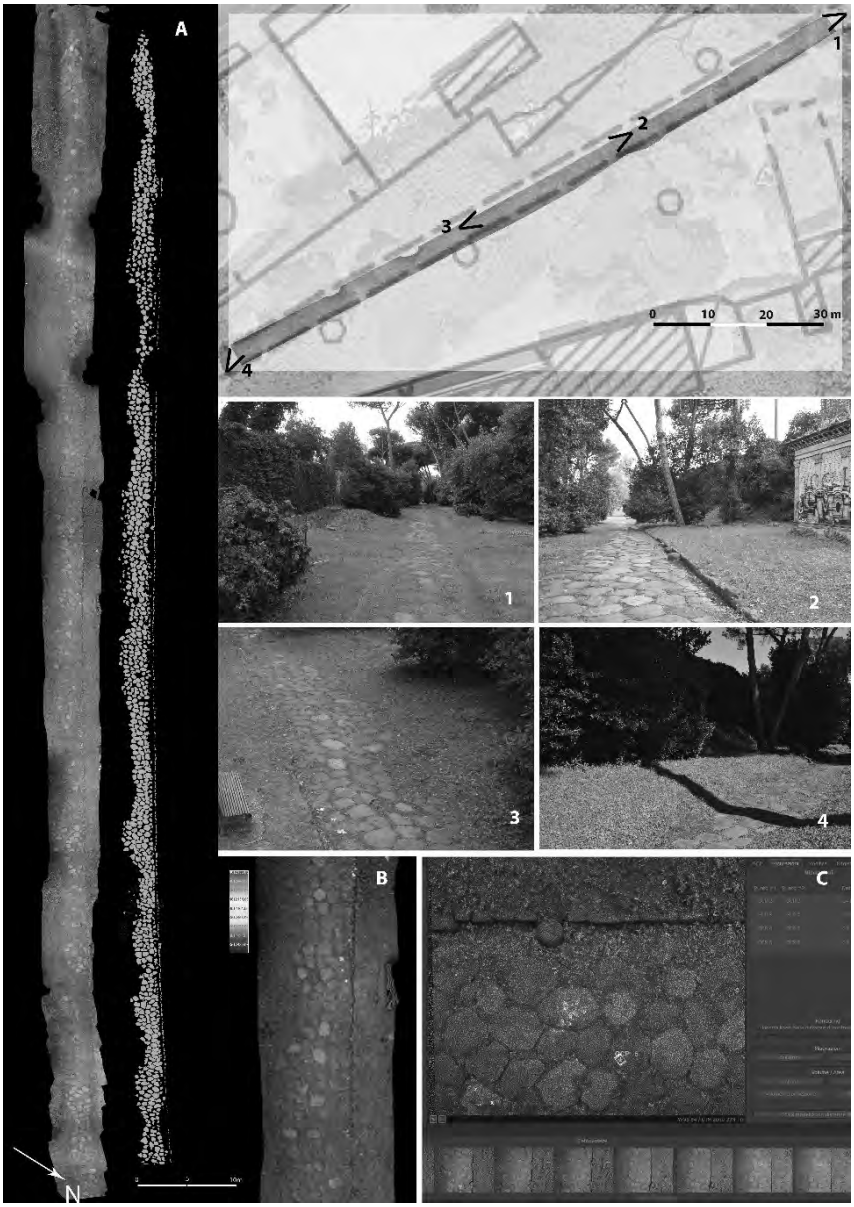


Fig. 5 – Rilevamento digitale del tratto di selciato romano all'interno della Mostra d'Oltremare a Napoli: A: ortofoto e, a destra, mappatura della consistenza lapidea; B: rappresentazione delle densità altimetriche; C: inserimento dei punti di controllo nel programma 3DZephyr; in alto: inquadramento urbano (scala grafica originaria 1:200) eseguito in ambiente Gis sulla base della Carta Tecnica Regionale, foglio Napoli-Agnano, con viste sul selciato (da 1 a 4).

dei colori molto simili al primo pixel selezionato. Utilizzando successivamente un colore uniforme per il riempimento delle selezioni è stata eseguita una mappatura della consistenza lapidea percepibile a vista e mostrata nelle Figure 4A e 5A, in cui si evince un acciottolato con basoli distanziati, dove in alcuni tratti, causa la presenza di alberatura si assottiglia o addirittura si interrompe. Infine, trattandosi di due tratti stradali di notevole lunghezza, è stato necessario posizionare più marker per un controllo anche nella scalatura dei modelli, Figure 4C, 4D, 5D.

Lo studio del sottofondo del piano stradale dei tratti esaminati della via *per colles* consentirebbe un maggiore riconoscimento sia della tecnica che delle tipologie costruttive utilizzate. Per tale motivo, si auspica di poter integrare questo rilevamento con altre tecniche non invasive, come il rilevamento all'infrarosso termico per completare la conoscenza anche dei dati strutturali non visibili (Garilli et al., 2021).

Conclusioni

Gli elementi stradali superstiti della strada *Puteolis Neapolim per colles* sono risultati isolati e separati dal contesto ambientale, non più riconoscibili come un unico bene territoriale, come espressione e testimonianza del patrimonio identitario dei Campi Flegrei. Lo scopo del presente contributo è quello di favorire un processo di conoscenza, di tutela e di valorizzazione di un'opera di ingegneria romana frammentata e isolata, affinché la strada possa essere riconosciuta nell'ambiente e possa risultare rafforzato il suo ruolo identitario all'interno del paesaggio culturale del Campi Flegrei, in cui sono presenti numerose testimonianze di epoca romana. Si auspica che, quanto prima, nelle opportune sedi, vengano presi provvedimenti a favore di una tutela dell'antico selciato di via Vigna offrendo, ad esempio, alternative di percorso al traffico veicolare. Si auspica, inoltre, che i due tratti di strada romana presenti nello zoo e nella Mostra d'Oltremare possano essere percorsi in continuità e tutelati in un'area archeologica dedicata, per reintegrare nell'ambiente urbano un episodio di eccezionale peculiarità, così come avviene già in alcune città italiane ed europee. È il caso, ad esempio, dei resti di basolato della antica via Appia conservati presso la fontana di S. Remigio a Formia in via Giuseppe Paone, del tratto della via Postumia, conservato sotto l'Arco dei Gavi in piazzetta Castel Vecchio a Verona, e dei frammenti della via Domitia presenti nella piazza de l'Hôtel-de-Ville a Narbonne, in cui particolari strutture di delimitazione del bene archeologico ne consentono la conservazione come parte integrante dell'immagine urbana.

Considerando il territorio nella sua unità, come un bene comune, si ritiene necessario considerare anche il singolo reperto archeologico stradale nell'ambito di una strategia globale di salvaguardia del paesaggio urbano.

Si ritiene, pertanto, fondamentale il ruolo delle nuove tecniche e tecnologie digitali di rilevamento e di rappresentazione per la manutenzione del patrimonio culturale di un territorio, per raggiungere una maggiore conoscenza formale e dimensionale

utile per la programmazione di strategie di tutela e di conservazione e per proiettare nel futuro la testimonianza di antiche civiltà.

I manufatti stradali hanno avuto e hanno tuttora una influenza rilevante nello sviluppo di un paese (Bergier, 1622); pertanto, antichi tracciati viari possono rappresentare un importante riferimento per leggere la storia dell'ingegneria e nello stesso tempo anche la storia di un territorio su cui basare nuovi progetti di sviluppo sostenibile.

Ringraziamenti
Questa ricerca è stata sviluppata nell'ambito del Progetto di Interesse Nazionale – PRIN 2017 "Le pavimentazioni stradali in pietra. Storia, conservazione, valorizzazione e progetto" (20174JW7ZL) finanziato dal Ministero della Pubblica Istruzione, Università e Ricerca (MIUR, oggi MUR) del Governo Italiano.

Bibliografia
Bergier, N. 1622. *Histoire de grandes chemins de l'Empire Romain*. Paris: C. Morel.
Buccaro A. 2021. Alle porte dell'area flegrea: evoluzione e identità del territorio di Fuorigrotta e Bagnoli. In: *La Mostra D'Oltremare. Ricerche storiche e restauro del moderno* (a cura di A. Aveta, A. Castagnaro, F. Mangone). 83-91. Napoli: FedOAPress (Edizione digitale). Roma: Paparo Editori srl (Edizione cartacea).
Buccaro A., Capano F. 2021. Le testimonianze archeologiche. In: *La Mostra D'Oltremare. Ricerche storiche e restauro del moderno* (a cura di A. Aveta, A. Castagnaro, F. Mangone). 335-343. Napoli: FedOAPress (Edizione digitale). Roma: Paparo Editori srl (Edizione cartacea).
Cardone V., Papa L. 1993. *L'identità dei Campi Flegrei*. Napoli: Cuen.
Dal Pozzo Gaggiotti A. 1940. Cenni sulla mostra. Zona Archeologica. Emporium, Rivista mensile illustrata di arte e di cultura, XLVI (8) XCII (548), 57.
Docci M., Chiavoni E., Filippa M. (a cura di). 2011. *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. Roma: Gangemi Editore.
Dubojs C. 1907. *Pouzzoles antique*. Parigi: Albert Fontemoing Éditeur.
Garilli E., Bruno N., Autelitano F., Roncella R., Giuliani F. 2021. Automatic detection of stone pavement's pattern based on UAV photogrammetry. Automation in Construction, 122, 103477.
Johannowsky W. 1952. *Contributi alla topografia della Campania antica*. Napoli: L'Arte tipografica.
Maiuri A. 1970. *I Campi Flegrei: Dal sepolcro di Virgilio all'antro di Cuma.* Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.
Mallardo D. 1938-1939. La via Antiniana e le memorie di S. Gennaro. In: *Rendiconti dell'Accademia di Archeologia, Lettere e Belle Arti di Napoli*, 301-365. Napoli: Arti grafiche.
Martone M. 2020. *La collina del Vomero. Da forma agreste a paesaggio urbano*. Roma: Aracne Editrice.
Martone M. 2021. The Roman road "per colles" between Puteoli and Neapolis. The drawing of some testimonies. In: *World Heritage and Design for Health. Proceedings of the XIX International Forum Le Vie dei Mercanti* (a cura di C. Gambardella), Napoli-Capri 15-17 luglio, 92-101. Roma: Gangemi Editore.

Papa L.M. 2018. Un percorso di ri-costruzione digitale. Il mausoleo funerario nella Mostra d'Oltremare a Napoli. In: *Rappresentazione/materiale/immateriale - Drawing as (in)tangible representation Atti del 40° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Quindicesimo Congresso U.I.D.* (a cura di R. Salerno), Milano 13-14-15 settembre, 735-740. Roma: Gangemi Editore.

Quilici L. 2006. La costruzione delle strade nell'Italia romana. Ocnus, 14, 157-206.

Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. 2007. *TINITALY, un modello digitale di elevazione dell'Italia con cella di 10 m (Versione 1.0) [Data set]*. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Tocco Sciarelli G. 2020. Le opere di ingegneria nell'antichità. L'esempio dell'Appia. In: *History of Engineering Storia dell'Ingegneria Atti dell'8° Convegno Nazionale 4th International Conference* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Naples, December 11th, 421-433. Napoli: Cuzzolin Editore.

Note

1. Nel 2003 è stato istituito il Parco regionale dei Campi Flegrei. Tra le zone di importante valore biologico e naturale comprese nel Parco sono da ricordare Capo Miseno, il Parco sommerso di Baia, il Monte Nuovo e il Cratere degli Astroni.
2. Per superare il costone tufaceo della collina di Posillipo e proseguire verso il porto di Napoli, fu costruita dall'architetto Lucio Cocceio Aucto nel 37 a.C. una galleria che consentì un collegamento più veloce e diretto tra l'area flegrea e Napoli denominato strada *per cryptam*, in alternativa al percorso che da Pozzuoli raggiungeva Napoli per le colline (Johannowsky, 1952).
3. Numerosi sono stati gli archeologi che si sono interessati alla strada romana *per colles*, i cui interventi hanno contribuito alla conoscenza dei luoghi e ad una valorizzazione delle preesistenze archeologiche. Si ricordano Charles Dubois, Domenico Mallardo, Amedeo Maiuri e Werner Johannowsky.
4. Le applicazioni eseguite in ambiente Gis, cui si fa riferimento in questo contributo, sono state sviluppate con il Sistema di Informazione Geografica Open Source *Qgis*.
5. La mappa dell'archeologo Werner Johannowsky (1952) riporta «strade antiche, conservate, probabili e ipotetiche» e l'ubicazione di alcuni ritrovamenti di necropoli romane e pre-romane.
6. I fogli utilizzati sono: 447141 Pozzuoli-Astroni e 447154 Napoli-Agnano.
7. Il rilievo fotogrammetrico è stato eseguito con una reflex Nikon D7200, sensore CMOS 23.5x15.6 mm, obiettivo 18-105 mm, mantenendo una distanza costante tra la ripresa e l'oggetto di circa 2.5 metri.
8. Dopo l'allineamento delle foto e la creazione della nuvola sparsa, è stata generata la nuvola densa di punti e sono stati eliminati gli elementi di disturbo, rappresentati dai veicoli parcheggiati su di un lato della strada. Sulla base di punti noti derivanti dal rilievo diretto è stato scalato il modello per poi elaborare la superficie mesh, cui è stata applicata la texture fotografica. È stato così possibile generare una ortofoto ad alta risoluzione, selezionando il piano di riferimento tramite l'asse z.
9. Nelle figure 4B e 5B si riporta solo uno stralcio del modello Dem.
10. La restituzione grafica del basolato è stata possibile solo per un tratto del tracciato situato nella Mostra, oggetto di un precedente studio (Martone, 2021).

Gigliola Ausiello, Francesco Sommese

Pavimentazioni in battuto di terra a Pompei tra storia e tecnologia

Beaten earth floor in Pompeii between history and technology

Sommario
Questo studio vuole mettere in evidenza, partendo da un'analisi storica del reticolo stradale di Pompei, l'impiego della soluzione tecnologica della terra battuta. Particolare attenzione viene dedicata a questa soluzione attraverso vari studi delle stratificazioni che si sono susseguite negli anni antecedenti l'eruzione pliniana più famosa che seppellì Pompei. La lettura delle stratificazioni verticali di battuti dimostra elevata compattezza e durezza, che prelude a caratteristiche di buona resistenza alle sollecitazioni. Anche le tracce di usura indotte dal transito dei carri offrono la possibilità di porre in relazione il numero degli strati sovrapposti con l'arco di tempo che intercorre tra la posa del primo battuto sul terreno del paleosuolo e il 79 d.C.

Abstract
This research aims to highlight, starting from a historical analysis of the Pompeian Road network, the use of the technological solution of the beaten earth. Particular attention is paid to this pavement's solution because various stratifications study that followed one another in the years preceding the most famous Plinian eruption that buried Pompeii. The reading of the vertical stratifications of beaten, shows high compactness and hardness, which preludes to characteristics of good resistance to stress. In addition, the tests document traces of wear induced by the passage of the wagons and offer the possibility of relating the number of layers overlapped with the time between the laying of the first beaten on the ground of the paleosoil and 79 AD.

Verso una datazione degli assi viari in battuto

Pompei restituisce un impianto urbano unico che, con il suo reticolo di strade non corrisponde alla "città ideale" di Vitruvio, rispetto alla quale «la pianificazione innovativa e avanzata di Neapolis servì da prototipo» (Scafetta e Mazzarella, 2019:

29-47). Piuttosto, soltanto la parte più recente di Pompei, sviluppatasi a oriente della via Stabiana [1], in contrapposizione alla città arcaica di origine presannitica (Von Gerkan, 1940), sembra in qualche modo relazionabile alla tradizione ippodamea. Eschebach (1970) sostiene anche l'ipotesi di un insediamento ancora precedente, ancor più piccolo, al di fuori del quale colloca la necropoli arcaica di Pompei nell'attuale area delle Terme Stabiane. I locali ipogei delle stesse terme apparterrebbero a un'antichissima tomba a camera etrusca (Franciosi, 2009). Secondo Armin von Gerkan (1940) e, più di recente, Hans Eschebach (1970), sul finire del V sec. a.C. il punto di partenza dell'espansione urbana verso oriente sono le strade extraurbane che partivano dal nucleo presannitico.

Tra alterne teorie e ipotesi discordanti, De Caro (1992) mette un punto fermo, collocando la realizzazione della cinta muraria dell'intero altopiano, di circa 66 ettari, un secolo dopo la fondazione dell'Altstadt, il nucleo antico presannitico, tra la seconda metà del VI e l'inizio del V sec. a.C. La soluzione costruttiva delle mura in tufo pappamonte, lava tenera e calcare di Sarno incontra un'ulteriore puntualizzazione nell'ipotesi di Nappo (2005), che suddivide la realizzazione in due fasi: la prima, con filari sottostanti in tufo, sarebbe riconducibile alla fine del VI sec. a.C., mentre la seconda, in calcare del Sarno, sarebbe stata eseguita nella prima metà del V sec. a.C. (Franciosi, 2009). L'ipotesi dell'Altstadt merita ancora riflessioni e confronti mediante riscontri materici con strutture murarie e reperti mobili la cui cronologia può aggiungere certezze documentarie, ma, per quanto sia in continua ridefinizione lo sviluppo urbanistico (Bonghi Jovino, 2011), è certo che in quel luogo si trovasse la Pompei arcaica in fase sannitica (Coarelli, 2008). Studi più recenti (Fabbri, 2016; Giglio, 2016; Pesando e Giglio, 2017) tendono sempre più a confermare che il modello di accrescimento urbanistico di Pompei non è una pianificazione ex novo, ma un'occupazione sistematica di uno spazio già in precedenza organizzato sulla base di assi viari e isolati occupati fin dalle fasi arcaiche di strutturazione dell'impianto urbanistico. Come sottolinea Massimo Osanna, si tende ad «ampliare ulteriormente gli spazi della città arcaica, andando oltre i limiti dell'antica Altstadt, pur con la dovuta cautela» (Osanna, 2017: 9-11).

E in relazione all'incontro tra Pompei e la cultura greca, Osanna e Rescigno forniscono un interessante contributo sostenendo che il «mondo greco diventa immagine culturale al plurale, non supinamente ereditata ma vitalmente accresciuta e declinata nel proprio mondo» (Osanna e Rescigno, 2017: 43-48).

Il reticolo di strade che scandisce l'area a est della via Stabiana esiste già in piena epoca sannitica, come si evince dall'apertura della via Mediana [2], databile tra la fine del IV e gli inizi del III sec. a.C. in base alla tecnica costruttiva di un grande pozzo pubblico che precede l'urbanizzazione dell'area centro-orientale. Nel corso del III sec. a.C. il settore est prende vita con un impianto urbano modulare, scandito da due tipologie di lottizzazioni che si succedono verso oriente: la prima, nell'area più centrale

con lotti quadrangolari, precede cronologicamente la seconda, che si caratterizza per la lottizzazione a rettangoli molti allungati, ordinati con una geometria molto rigorosa intorno ai tre decumani principali, via di Nola, via Mediana e via dell'Abbondanza.

L'ispirazione al modello greco della casa determina la nascita delle grandi domus pompeiane, con ampi spazi verdi all'interno delle *insulae*, coltivabili o adibiti a giardini e orti, che in un continuo crescendo dovuto a un incremento demografico e a motivazioni socio-politiche, prosegue in età tardosannitica e romana. Le affinità con la tradizione ippodamea hanno indotto ad avanzare ipotesi di confronto della trama urbana della fase orientale di Pompei con Paestum e Nuceria Alfaterna, per le forti commistioni con i principi e i vincoli imposti dalla cultura italica e preromana. Certamente l'ipotesi dell'esistenza di un'originaria definizione dei principali assi stradali esterni alla città arcaica presannitica ha condizionato la definizione dell'intero assetto urbano (De Caro, 1992) e imposto adattamenti da cui si originano lotti trapezoidali di raccordo tra impianti urbani in successione cronologica.

Le campagne di scavo compiute attraverso saggi eseguiti nel primo decennio dopo il 2000 in diverse aree della città, dalla zona nord-occidentale, Regio VI, a quella centro-orientale, Regio IX, forniscono interessanti contributi a sostegno delle ipotesi di urbanizzazione e della datazione del reticolo stradale e, in generale, dell'espansione verso oriente. L'approccio che caratterizza queste ricerche lega in maniera indissolubile reticolo stradale e trama urbana, strutturando relazioni tra i materiali impiegati in modo da documentare un percorso cronologico. Infatti, i saggi pongono in relazione la datazione dei battuti stradali con quella delle fondazioni degli immobili. I numerosi saggi eseguiti aggiungono nuovi elementi rispetto all'ipotesi dello sviluppo urbanistico, con la creazione dell'asse via della Fortuna-via di Nola tra la fine del IV e gli inizi del III sec. a.C. (Bonghi Jovino, 2011). Infatti, Befani ritiene riconducibili al III sec. a.C. le superfici stradali più antiche, poste in opera sul banco di cinerite non antropizzato [3]. Una datazione precedente è ipotizzabile da altri studi [6] che documentano tracce di viabilità in fase arcaica, con i primi rifacimenti in epoca medio-sannitica [4].

I saggi eseguiti nei vicoli est e ovest dell'insula dei Casti Amanti (Berg, 2008) consentono di documentare per l'area centro-settentrionale un impianto urbano databile tra fine III e inizio II sec. a.C. e consentono di accedere fino ai depositi eruttivi anteriori alla formazione della città (Varone, 2005). Anche i saggi sul marciapiede perimetrale ovest della domus del Centenario e sotto le insule delle Case di Giulio Polibio (De Franciscis, 1988) e dei Gladiatori confermano la datazione di fine III sec. a.C. Conforme appare la datazione presunta dai saggi condotti nella Regio V, nell'area centro-settentrionale, presso il vicolo di Lucrezio Frontone e presso la Casa della Soffitta (Pucci et al., 2008), mentre la datazione delle Regio II e III e IV si attesta maggiormente verso il II sec. a.C. (Bonghi Jovino, 2011). Tuttavia, pur essendo databile piuttosto univocamente il tracciato viario per quanto riguarda le pavimentazioni

in battuto che insistono sul terreno vergine, nei saggi appaiono tracce di preesistenze abitative che punteggiano l'area centro-settentrionale consentendo di avvalorare l'ipotesi di De Caro (1992) in relazione all'esistenza di antichi tracciati stradali naturali all'esterno della città arcaica presannitica.

Le pavimentazioni in battuto di terra nella tradizione costruttiva pompeiana

Lo studio degli assi urbani si relaziona significativamente all'evoluzione urbanistica. Ma in un contesto archeologico unico come quello di Pompei, la difficoltà di comprensione della stratificazione dell'abitato, rende più complessa la ridefinizione della viabilità urbana, sia in termini di vincoli che di scelte formali. Anche la ricomposizione cronologica tiene conto sia delle variabili legate allo sviluppo urbanistico che degli effetti delle soluzioni tecnologico-costruttive. Queste ultime, in particolare, segnano Pompei alla scala urbana in un crescendo di evoluzione e tradizione insieme.

In verità, va sottolineato quanto fondamentale «per comprendere gli orientamenti degli assi urbani sia l'orientamento riscontrato nel territorio extramurario» e quanto soltanto «un'analisi esauriente del rapporto tra l'urbanizzazione della città e il suo legame con la strutturazione del territorio circostante» (Geertman, 2001: 131-135) potrà contribuire a ricostruire in maniera incontrovertibile la rete viaria extraurbana e l'intero spazio urbano. Una ricognizione molto ampia della viabilità di Pompei è stata condotta di recente da Eric Poehler con l'obiettivo di cogliere relazioni cronologiche e tipologiche delle varie superfici stradali (Poehler e Crowther, 2018). A partire dalla fine del III sec. a.C. e fino all'espansione augustea, per quanto attiene alle infrastrutture e alle attività di ricostruzione dopo il disastroso terremoto del 62 d.C., il crescente fervore edilizio interessa tutto il costruito, laddove i due terzi degli edifici hanno subito notevoli danni (Lugli, 1957: II, Tav. CXLVII). Anche le strade sono oggetto di attenzione e si diffondono due principali tecnologie di pavimentazione, quella in terra battuta, più antica, e quella in basoli di pietra lavica, più recente.

A Pompei, la soluzione del battuto si colloca cronologicamente tra fine del III e inizio del II sec. a.C., mentre la prima pavimentazione in basoli sembra riconducibile ai primi anni del I sec. a.C. e si trova ad una profondità di 80 cm sotto l'attuale superficie di via Stabiana, secondo un'interpretazione di Poehler, mutuata da studi di Maiuri, e fondata su un'iscrizione osca che identifica la via Pumpaiiana (Poehler e Crowther, 2018). Posta in opera su alcuni strati di pavimentazione in battuto di terra, dimostra come costruttivamente si tratti di un intervento di ripavimentazione che ha interessato uno degli assi stradali più importante e più antico ma, al contempo, attesta che la tipologia in battuto è la soluzione più remota e che veniva riproposta nel tempo.

I saggi eseguiti nella parte occidentale nel primo decennio di questo secolo documentano una stratificazione verticale di battuti, rinnovati nel tempo, di elevata compattezza e durezza, e quindi ben resistenti alle sollecitazioni.

Questi ritrovamenti documentano che la soluzione tecnologica del battuto, pur appartenendo alla tradizione, era ancora impiegata durante la fase imperiale. E per quanto si percepisse l'intento di rigenerare le superfici stradali ripavimentandole con i basoli in pietra lavica, la tecnica del battuto possedeva ancora la sua validità e la sua funzionalità da spendere. Infatti, al momento dell'eruzione, a Pompei c'erano ancora varie strade in battuto e, non casualmente, erano ubicate in aree più periferiche della città. Inoltre, i saggi documentano tracce di usura indotte dal transito dei carri e offrono la possibilità di porre in relazione il numero degli strati sovrapposti con l'arco di tempo che intercorre tra la posa del primo battuto sul terreno del paleosuolo e il 79 d.C. Qualità e durabilità sono due caratteristiche presenti in tutte le soluzioni costruttive del mondo romano e anche una tecnica come il battuto, che oggi definiremmo senza esitazione "povera", veniva eseguita a regola d'arte, garantendo la sua funzionalità anche per tempi lunghi. Inoltre, considerando che i saggi sul vicolo della Fullonica [3] evidenziano dodici strati di battuto e quelli su via del Fauno [4] sei strati, si desume che, in un arco di tempo di circa 300 anni, tra la fine del III sec. a.C. e il 79 d.C., la vita media di un battuto oscilla tra 25 e 50 anni. Per quanto approssimativo, questo dato può essere posto a confronto con una stima fatta da Poehler, secondo cui le strade di terra battuta erano oggetto di rifacimento ogni 25-40 anni (Poehler, 2017).

Tutti gli altri strati di battuto pompeiani sono generalmente caratterizzati da una miscela di terra, in cui sono costantemente presenti frammenti ceramici da mensa e da dispensa e pezzi di tegole, di brocche e di pentole (Berg, 2008). La datazione di questi ultimi, formulata individuando lo stile delle ceramiche, costituisce il limite temporale dopo il quale datare lo strato di battuto. In alcuni casi, è stata rilevata anche la presenza di frammenti di intonaco recuperato da interventi di rifacimento e ripristino della fabbrica precedente. Analogamente, lo stile degli affreschi e la natura dell'intonaco rendono possibile verificare la cronologia assoluta della costruzione e del battuto stradale. I saggi nel vicolo a ovest dell'insula dei Casti Amanti hanno evidenziato al di sotto di due battuti stradali di epoca imperiale strati ricchi di frammenti di intonaco (Berg, 2008).

Lo spessore di un battuto si attesta generalmente su un valore compreso tra 15 e 20 cm, che può anche essere maggiore o minore a seconda delle quote del piano viario circostante e degli accessi alle nuove domus rigenerate. Inoltre, la successione stratigrafica testimonia un'attività di manutenzione periodica, con riproposizioni di strati nuovi su quelli preesistenti, realizzati utilizzando miscele in terra simili per composizione e tecnica di posa in opera. L'innalzamento di quota dei piani stradali era una pratica costruttiva che faceva i conti con le economie di cantiere, non essendo necessari smantellamenti e demolizioni, ma richiedeva una riprogettazione alla scala urbana per quanto riguardava lo studio dei raccordi tra quote e pendenze.

Le spese di manutenzione e di pulizia delle strade erano a carico dei proprietari delle residenze che si affacciano su di esse. Come specificato in termini di legge

nella Tabula Heraclensis, i magistrati locali indicevano i lavori a farsi col sistema dell'appalto, mentre l'impegno esclusivamente economico gravava sui cittadini per tutte le tipologie di strade, sia urbane che agrarie, sia principali che secondarie (Riccobono et al., 2007). Questo singolare rapporto tra pubblico e privato vigeva nella fase successiva alla dittatura di Lucio Cornelio Silla (Zaccaria Ruggiu, 1995), allorché nella repubblica romana il potere militare prendeva il sopravvento rispetto a quello politico e iniziavano riforme legislative. Sebbene talvolta si potesse utilizzare anche manodopera civile, spesso la manodopera era fornita dall'esercito, per tenere impegnati i soldati nei periodi di pace. La *Lex tabulae Heracleensis* della tarda età repubblicana in effetti, demandava agli *aediles* (Esposito 2018) la responsabilità della manutenzione delle strade. «Ciò di cui si tratta è in effetti la *tuitio* (manutenzione), non la *purgatio* (pulizia) delle medesime; dunque, delle vie urbane i frontisti non devono curare la pulizia bensì la manutenzione per garantirne l'efficienza e la transitabilità» (Panciera, 2000: 95-105). La pulizia, invece, era affidata ad altri funzionari che collaboravano con gli edili e verificavano il rispetto delle leggi vigenti. Le corporazioni delle varie maestranze che esercitavano le stesse tipologie di mestieri nacquero all'epoca della Repubblica e si riorganizzarono in età imperiale (Cozzo, 1928). Ciascuna di esse era coordinata da un responsabile tra gli ufficiali di campo dell'esercito romano.

Dai due saggi eseguiti in via del Fauno si ricavano stratigrafie ben leggibili che consentono di ricostruire costruttivamente i battuti stradali nel tempo. Il saggio 1 è stato ubicato nel tratto meridionale, in prossimità delle case dei Dioscuri e del Labirinto mentre il saggio 2 più a nord, nei pressi della casa di Meleagro.

Il battuto stradale più antico è stato rinvenuto nella parte meridionale di vicolo del Fauno davanti alla casa di Meleagro [6], a una quota di imposta inferiore a quella della domus rispetto alla quota del piano stradale al 79 d.C. Lo strato di frequentazione, piuttosto usurato, dichiara un'utilizzazione protrattasi per molto tempo. Lo spessore totale del battuto, compreso tra 13 e 15 cm, si suddivide in due strati: uno superiore, resistente, e uno inferiore di allettamento. Duro, compatto e ben levigato, lo strato superiore, di 5 cm, è realizzato con una miscela singolare per composizione che contiene la stessa terra costituente il terreno del deposito naturale sottostante, con l'aggiunta di frammenti di bucchero e ceramica buccheroide, nonché di polvere di travertino, il cosiddetto calcare di Sarno, derivante da rifiuti di demolizione dell'abitazione precedente. Lo strato di allettamento, invece, è composto da un misto di terra e polvere di travertino di riciclo, posto in opera a secco. In generale, l'uso della polvere di travertino consente di realizzare un battuto bianco, piuttosto comune a Roma [7], che è una vera e propria pietra artificiale.

La presenza del bucchero fino alla seconda metà del V sec. a.C. (Bonghi Jovino, 2011) e le affinità con le ceramiche degli Etruschi e delle popolazioni locali di altre zone della Campania (Locatelli, 1993) consentono, attraverso la datazione dei

frammenti, di datare lo strato in cui questi sono contenuti, come *terminus post quem*, individuando un limite temporale posteriore per lo strato stesso.

Tra cultura del riciclo e discariche private

L'impiego di frammenti di terracotta frantumata, quali tegole, mattoni e vasellame vario, insieme a legante di calce è ben noto con il termine cocciopesto ed è l'emblema di una cultura costruttiva che oggi definiremmo sensibile ai problemi dell'ambiente e, in particolare, a quello dello smaltimento dei rifiuti e della conseguente risposta che la pratica del riciclo offre in termini di soluzione. L'uso invalso del termine cocciopesto ha identificato, senza soluzione di continuità, i rivestimenti in genere e le pavimentazioni in particolare, soprattutto per le caratteristiche di impermeabilizzazione della miscela, al di là della «discordanza tra la descrizione vitruviana dell'opus signinum, in cui manca ogni riferimento alla presenza di cocciopesto, e l'affermazione pliniana che invece lo contempla» (Braconi, 2009: 251- 263).

Le parole di Plinio interpretano innanzitutto l'entusiasmo e la scoperta delle potenzialità del riciclo a quei tempi: «*… quid non escogitat vita fractis etiam testis utendo, sic ut firmius durent, tunsis calce addita, quae vocant Signina!»* la cui traduzione è «Che cosa non escogita la vita, riciclando anche i cocci - o le tegole - rotti, pestati e aggiunti alla calce affinché durino salde quelle strutture che chiamano signine!» (Braconi, 2009: 251-263), ma al contempo sottendono anche il risvolto funzionale e applicativo legato all'azione di idraulicizzazione della miscela a base di calce, in un concetto di durabilità che è proprio del costruire dei romani. Lo stesso effetto è tipicamente conferito dalla pozzolana, che garantisce le stesse prestazioni, grazie alla formazione di composti idrati.

Dal punto di vista del riciclo, di maggiore interesse è il riempimento, costituito da frammenti di intonaco, pietre, pezzi di malta e di ceramica, che costituiva una sorta di materia prima seconda da poter utilizzare anche in tempi successivi. L'impiego di ogni tipo di detriti provenienti da cantieri di demolizione o ricostruzione testimonia non solo quanto la pratica del riuso fosse diffusa, ma perpetrata sistematicamente più volte anche come scelta ecologica e funzionale. La realizzazione di strati di riporto con frantumi di rifiuti edili e di materiale ceramico costituiva una soluzione frequente legata alle azioni di innalzamento, sia delle quote stradali che delle pavimentazioni interne, negli interventi di ristrutturazione. Emblematico è l'esempio della casa dei Gladiatori, in cui le macerie di demolizione della domus sannitica, completamente smantellata fino alle fondazioni, vennero reimpiegate per creare uno strato di riporto e rialzare di circa un metro sia i pavimenti che l'impianto del giardino (Esposito, 2018).

Costruttivamente lo strato di riporto ha funzione di colmatura, costantemente presente nei rifacimenti, che si configura come uno strato di allettamento, costituito da gran parte di materiale di riciclo. Vitruvio (1997) lo definisce «*testaceum pavimentum*» (tradotto da alcuni studiosi anche come pavimento di cocciame) [5] e specifica

che è un'alternativa allo strato di *rudus* in ghiaia o pietrisco: si tratta di due soluzioni equivalenti che possiedono funzione drenante, da porre in opera sul suolo battuto e stabilizzato.

La pratica del riporto con materiali derivanti da demolizioni è stata perpetrata fino ai giorni nostri, come nel caso delle grandi colmate del lungomare di Napoli, in cui si reimpiegano le macerie derivanti dagli sventramenti di alcune aree urbane.

A Pompei, alcuni frammenti ceramici relativi a oggetti legati a offerte votive erano impiegati intenzionalmente per celebrare rituali di valore simbolico, probabilmente per accompagnare la dismissione [6] e la successiva rifondazione di una *domus* e di un asse viario [4].

La cultura del riciclo, per quanto attiene il reimpiego di materiale litico e di polveri e frammenti di materiale lapideo, raggiunge livelli eccezionali negli ultimi anni di vita di Pompei, specialmente dopo il terremoto del 62 d.C., in cui ferve un clima di ricostruzione che determina una produzione di eccezionali quantità di rifiuti edili. Le fosse per le discariche private sono sempre più necessarie e vengono realizzate non soltanto lungo le strade, ma anche all'interno di edifici e giardini privati.

Le cave di pozzolana

Le profonde fosse che costituivano le discariche private, avevano anche un interessante risvolto dal punto di vista costruttivo. Infatti, erano delle vere e proprie cave di pozzolana, roccia sciolta di colore marrone giallognolo che riusciva ad idraulicizzare le miscele a base di calce. La sezione cilindrica di queste fosse tende ad allargarsi verso il basso [4], in modo da cavare quanto più materiale possibile una volta raggiunta una profondità tale da intercettare il banco lapideo di origine vulcanica. Successivamente la cavità acquisiva la funzione di discarica a servizio della residenza e veniva riempita con macerie e rifiuti di ogni tipo. Alcune di queste discariche presentano chiusure temporanee in modo da consentire altri sversamenti, altre venivano occultate da sistemazioni definitive [3].

La cava di pozzolana con la sua forma cilindrica sembra precorrere la tipica soluzione di cava a bottiglia o a campana, che ha caratterizzato per gli anni a venire le modalità di approvvigionamento di materiale, specialmente del tufo, da impiegare nelle costruzioni in elevazione, sia nel Napoletano che più in generale in Campania.

Saggi stratigrafici eseguiti nel giardino di una casa nella Regio V 4, 3 documentano il ritrovamento di una fossa per il rifornimento della pozzolana impiegata nelle murature della costruzione. L'utilizzazione come discarica che ne conseguì ha consentito di datarla al II sec. a C. e la necessità di smaltire grandi quantità di rifiuti impose la realizzazione di altre cavità, finché, in epoca imperiale, la sistemazione del giardino le coprì definitivamente (Robinson, 2005). Analogamente, nella Casa del Poeta Tragico e in molte altre case pompeiane si legge un cedimento nella pavimentazione a mosaico in cui si riconosce l'impronta circolare della fossa (Esposito, 2018).

Due grandi cave di pozzolana sono state ritrovate negli ambienti delle terme repubblicane dismesse nel I sec. a.C., appartenenti, al momento dell'eruzione, alla casa della Calce nella Regio VIII. Gli studi dalla Freie Universität di Berlino, hanno accertato che si tratta di una grande discarica di rifiuti edili utilizzata a partire dal 62 d.C (Esposito, 2018).

Il grande giardino terrazzato su due livelli della casa della nave Europa coltivato a orto, vigneto e frutteto presenta molte cave di pozzolana, di lava leucitica che raggiungono il paleosuolo. La piantumazione, che risale a pochi anni prima dell'eruzione che seppellì Pompei, ha supportato l'interpretazione del riempimento delle fosse con le piante. Anche la presenza di cumuli di lava frantumata in un angolo del giardino attesta che erano in corso interventi di rifacimento della domus impiegando sia materiali cavati in sito che di riciclo (Esposito, 2018).

La maggior parte delle discariche private era ubicata lungo le strade, come si è evinto da vari saggi che hanno documentato anche la precedente funzione di cava di pozzolana. Anche i saggi su via Fullonica [3] e via del Fauno [4] nella Regio VI hanno individuato, tra stratificazioni di battuti riconducibili a epoche diverse, una serie di cavità alcune delle quali venivano chiuse mentre si procedeva con un innalzamento del suolo stradale. Analogamente, il saggio C nell'insula dei Casti Amanti (Berg, 2008) evidenzia ben cinque fosse scavate per l'approvvigionamento della pozzolana databili al I sec. a.C.

Una costante nell'esecuzione di queste cavità è l'obiettivo di cavare la pozzolana, che si legge come una pratica che si va intensificando sul finire dell'epoca repubblicana, quando ormai era già largamente sperimentata l'azione pozzolanica nell'opus caementitium, nelle malte e nei battuti stradali.

Dai saggi a disposizione si evince che la profondità delle cave si orienta verso i tre metri e raggiunge anche l'altezza di quattro metri (Esposito, 2018) e di cinque metri, come nel caso della fossa settica del vicolo tra le insulae IX 12 e 13 (Berg, 2008).

La tecnica del battuto

Dalle campagne di scavo in profondità del primo decennio di questo secolo si rileva una invariante tecnologica nella realizzazione delle pavimentazioni stradali di Pompei che si estrinseca nella soluzione costruttiva del battuto di terra. Plinio definisce barbarici o per sottotetti tutte le pavimentazioni più antiche, costipate mediante l'impiego di verghe (Plinio, 1844): «Rientrano in essi tutti i "battuti", e i "signini" e il "cocciopisto" evidentemente; con o senza inclusione di tessere scaglie o brecciame» (Gioseffi, 1976: 23-38).

L'evoluzione della città di Pompei con un innalzamento del reticolo stradale e l'espansione verso oriente testimonia un costante impiego della soluzione del battuto in terra, in cui è costantemente presente un insieme di frammenti di ceramica [2] nera, rossa, italica, o sigillata, di bucchero, di monete (De Franciscis, 1988) o di intonaci.

La datazione di questi elementi di riciclo stabilisce un riferimento cronologico *ante quem* che consente di datare la realizzazione della pavimentazione in battuto. Alla variabilità della datazione corrisponde una costante presenza di frammenti fittili che sottende un valore tecnico importante, configurandosi come un aggregato inerte artificiale, in quanto di riciclo, che funge da scheletro resistente ed elemento di rinforzo. Altra invariante nella trasversalità temporale della tecnica del battuto, è la posa in opera di una miscela in cui la terra svolge funzione di legante.

L'attenzione alla posa in opera, che è fondamentale dal punto di vista della durabilità nel tempo, si legge nella stessa denominazione "battuto". In effetti, il termine battuto si riferisce proprio alla fase cantieristica, anche se nell'espressioni comuni si tende a confonderlo con la miscela e prescinde dalla presenza del legante calce per stabilizzare la miscela stessa (Giuliani, 1990). Piuttosto la calce può essere presente o meno e differenziare composizione e prestazioni.

Vitruvio (1997) sottolinea l'importanza nell'esecuzione di svariati elementi costruttivi, del *liaculorum subactionibus* che molti traducono in battitura con mazzapicchi, a partire dalle numerose applicazioni dei battuti in malta con cocciopesto o con lavapesta [7], in quanto rivestimenti impermeabili, alla posa dell'intonaco, che acquista compattezza e solidità dalle azioni di levigazione, fino alla posa del *rudus*, lo strato posto sulla massicciata in pietra a secco per predisporre le pavimentazioni interne nei locali a piano terra, che veniva compattato dai posatori battendo ripetutamente con specifici attrezzi fino a ottenere uno spessore pari a tre quarti di piede.

La battitura viene eseguita, secondo un'altra raccomandazione di Vitruvio, da una squadra di operai con «*calcetur vectibus ligneis ferratis*» (Vitruvio, 1997: 1146-1147). Si tratta di "mazzeranghe di legno guarnite di ferro", simili a grossi magli, che costituivano gli utensili per costipare e assestare sia i terreni che i battuti. L'operazione veniva eseguita in tempi prestabiliti e compiuta finché lo spessore non si riduceva, indicando che la costipazione era stata completata e le prestazioni dello strato funzionale raggiunte. Certamente nella realizzazione del manto stradale l'importanza della battitura è ancora maggiore, trattandosi di una superficie esposta agli agenti atmosferici e all'usura derivante dal transito di carri e di persone.

Un'azione di costipazione particolarmente accurata veniva esercitata mediante la battitura della miscela; nel caso delle pavimentazioni esterne si riusciva a sortire anche l'effetto di bonifica del suolo naturale dalle radici e dalla vegetazione infestante (Braconi, 2009).

I battuti pompeiani sono caratterizzati da una certa durezza che non può che essere ottenuta da una corretta esecuzione a regola d'arte. Una vera e propria lastra artificiale di 5 cm è il battuto di età ellenistica individuato con il saggio 2 in vicolo del Fauno [6], ben levigato e di rilevante compattezza e durezza.

La battitura sortisce un duplice effetto. Innanzitutto, elimina i vuoti che tendono a formarsi in qualsiasi miscela, ma soprattutto regola la quantità di acqua necessaria

a garantire l'azione legante. Infatti, l'acqua in eccesso rifluisce verso l'alto con la battitura e tende ad evaporare e l'acqua che resta all'interno è la quantità perfetta, in quanto esattamente e interamente necessaria a sviluppare l'azione legante.

Interessante è l'interpretazione del celebre testo vitruviano fornita da Cesare Cesarano nel XVI secolo in merito all'accuratezza con cui eseguire la battitura: si raccomanda «… *idest percusa per longo poi un'altra volta per traverso acciocché como una reticulatione sia signata*» (Vitruvio, 1981). Cioè l'azione di battitura va eseguita prima in un verso e poi trasversalmente, fino a quando la superficie dello strato posato in opera risulti coperto da un reticolo di segni. Dalla descrizione si evince anche che, appena gettato, il composto va steso impiegando gli stessi rastrelli che si usano per i movimenti di terra negli orti e nelle coltivazioni in genere.

L'importanza della battitura perdura nei secoli e viene sancita nei trattati ottocenteschi strutturando interessanti affinità tra l'opus caementicium e gli apparecchi murari che si sono succeduti negli anni, in relazione al ruolo della malta e degli elementi lapidei. «(Affinché) si uniscano solidamente e formino una massa dura e compatta, […] è necessario l'impiego di un'abbondante quantità di malta formata con la pozzolana, o quanto meno colla calce idraulica, battendo a mano i materiali con la mazzaranga a strati non maggiori di 0,15 di altezza» (Breymann,1853: §25).

Altro elemento importante nello studio dei battuti pompeiani è la natura vulcanica dei terreni, che, derivando da eruzioni protostoriche, presentano una certa reattività per effetto di una struttura amorfa, determinata dal rapido raffreddamento, che migliora l'azione legante. Infatti, in (Poehler, Crowther, 2018) l'espressione *beaten ash* allude probabilmente alla natura vulcanica delle ceneri e dei terreni in generale, che li rende più reattivi.

In effetti, non è dimostrabile che i battuti pompeiani più antichi contengano calce, per quanto non sia da escludere. In ogni caso, in assenza di calce, l'azione legante è affidata ai minerali contenuti nel terreno che, essendo di natura vulcanica, è particolarmente ricco di minerali.

Interessante è il confronto con alcuni studi eseguiti (Ferrucci et al., 2006) su campioni di pavimentazioni interne ed esterne della Casa degli Affreschi della città di Velia, dai quali si evince la presenza di impasti terrosi di natura simile a quella dei terreni di scavo, che legano materiali lapidei e frammenti ceramici di riuso. La matrice fillosilicatica delle terre, che testimonia la natura vulcanica dei terreni, e la mancanza di calcite nei campioni esterni, portano ad escludere l'uso della calce, delegando l'azione legante alla sola terra (Ferrucci et al., 2006). Soltanto la pavimentazione in cocciopesto e quella dipinta di rosso contengono una quantità di calce necessaria per stabilizzare la miscela e il colore e si caratterizzano per bassa porosità.

La tecnica del battuto ha superato la tradizione romana ed è pervenuta fino al secolo scorso, fortificando il principio della battitura che ha continuato ad essere conditio sine qua non perché lo strato potesse ottenere il massimo della funzionalità e una certa dura-

bilità. La sua diffusione nell'Area Vesuviana, come battuto di lapillo, si lega alle voltine a schifo che definiscono superiormente il cubo mediterraneo. La sua esecuzione prevede la realizzazione di vari straterelli di quattro-cinque centimetri, ciascuno battuto finché il composto si riduce ad uno spessore finale al massimo di 1 cm. L'operazione viene più volte reiterata avanzando progressivamente e lentamente, fino a ottenere uno spessore complessivo di una decina di centimetri, dopo circa un mese di lavoro (Ausiello, 2000: 45). Impiegato anche per impermeabilizzare la superficie esterna delle coperture piane, in cui funge anche da massetto, questa soluzione ampiamente impiegata in tutta la piana vesuviana, ha determinato la diffusione del termine astrico o lastrico di chiara matrice greca. Infatti, il termine lastrico, che indica genericamente il piano di copertura, deriva dal latino medievale astrăcum e dal greco ὄστρακον che significa "coccio", alludendo al cocciopesto romano, incrociato con lastra [8] e testimonia «la straordinaria e ancora viva tradizione "europea" dell'ostracus» (Braconi 2009: 251- 263).

Ringraziamenti
Questa ricerca è stata sviluppata nell'ambito del Progetto di Interesse Nazionale – PRIN 2017 "Le pavimentazioni stradali in pietra. Storia, conservazione, valorizzazione e progetto" (20174JW7ZL) finanziato dal Ministero della Pubblica Istruzione, Università e Ricerca (MIUR, oggi MUR) del Governo Italiano.

Bibliografia
Ausiello G. 2000. *Il paesaggio rurale della Campania. Architettura e caratteri costruttivi*. Napoli: Luciano editore.

Berg R. 2008. Saggi stratigrafici nei vicoli a est e a ovest dell'lnsula dei Casti Amanti (IX 12). In: *Nuove ricerche archeologiche nell'area vesuviana (scavi 2003-2006*) (a cura di P.G. Guzzo e M.P. Guidobaldi). Atti del Convegno Internazionale, Roma, 1-3 febbraio 2007, 363-375. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Bonghi Jovino M. 2011. Ripensando Pompei arcaica: In: *Corollari. Scritti di antichità etrusche e italiche in omaggio all'opera di Giovanni Colonna* (a cura di G. Bartoloni), 4-13. Roma: Fabrizio Serra Editore.

Braconi P. 2009. Ostracus, astrico e lastrico: i pavimenti in cocciopesto degli antichi e l'opus signinum dei moderni. In: *Atti del XIV Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico* (a cura di C. Angelelli), Spoleto 7-9 febbraio 2007, 251-263. Tivoli: AISCOM.

Breymann G.A. 1853. *Delle Strutture Murali, estratto dal Trattato generale di Costruzioni Civili*. Stoccarda, §25, Milano: reprint 1985 Di Baio editore.

Coarelli F. 2008. Il settore nord-occidentale di Pompei e lo sviluppo urbanistico della città dall'età arcaica al III sec. a.C. In: *Nuove ricerche archeologiche nell'area vesuviana (scavi 2003-2006)* (a cura di P.G. Guzzo e M.P. Guidobaldi). Atti del Convegno Internazionale, Roma, 1-3 febbraio 2007, 173-176. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Cozzo G. 1928. *Ingegneria romana: maestranze romane, strutture preromane, strutture romane, le costruzioni dell'anfiteatro Flavio, del Pantheon, dell'emissario del Fucino*. Roma: Multigrafica.

De Caro S. 1992. Lo sviluppo urbanistico di Pompei. Atti e Memorie della Società Magna Grecia, terza serie, n. 1, 67-90.

De Franciscis A. 1988. La casa di Iulius Polybius. Rivista di Studi Pompeiani II, 15-36.

Eschebach H. 1970. *Die Städtebauliche Entwicklung des antiken Pompeji. Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Römische Abteilung RM. Ergänzungsheft XVII*. Berlino: Deutsches Archäologisches Institut.

Esposito D. 2018. La polvere sotto il tappeto. Considerazioni sul problema dello smaltimento dei rifiuti a Pompei. In: *Symplegmata. Studi di archeologia dedicati a Simona Minichino* (a cura di R. Bosso e E. Nuzzo), 191-233. Napoli: Giannini Editore.

Fabbri M. 2016. Note sulla forma urbis di Pompei. In: *I Pompeiani e i loro dei. Culti, rituali e funzioni sociali a Pompei* (a cura di E. Lippolis, M. Osanna) Atti della giornata di Studi Sapienza Università di Roma, Odeion del Museo dell'arte classica (15 febbraio 2016), 11-29. Roma: Edizioni Quasar.

Ferrucci F. et al. 2006. Aspetti tecnologici e problemi di conservazione delle pavimentazioni della Casa degli Affreschi di Velia. In: *Scienza e Beni Culturali XII Pavimentazioni Storiche. Uso e Conservazione* (a cura di G.Biscontin e G.Driussi). 186-196. Marghera: Edizioni Arcadia Ricerche.

Franciosi V. 2009. Lo sviluppo urbanistico. In: *Apolline Project Vol. 1: Studies on Vesuvius' North slope and the bay of Naples* (a cura di G.F. De Simone, R.T. Macfarlane). 77-86. Roma: Herder Editore.

Geertman H. 2001. Lo studio della città antica. Vecchi e nuovi approcci, In: *Pompei: Scienza e società: 250. anniversario degli Scavi di Pompei, Atti del Convegno Internazionale*, Napoli 25-27 novembre 1998 (a cura di P.G. Guzzo). 131-135. Milano: Electa.

Giglio M. 2016. Considerazioni sull'impianto urbanistico di Pompei. Vesuviana 8, 11-48.

Gioseffi D. 1976. Terminologia dei sistemi di pavimentazione nell'antichità. *In: Antichità Altoadriatiche VIII. Mosaici in Aquileia e nell'Alto Adriatico*. 23-38.Trieste: EUT Edizioni Università di Trieste.

Giuliani C. F. 1990. *L'edilizia nell'antichità*. Roma: Carrocci Editore.

Locatelli D. 1993. La più tarda produzione del bucchero in Campania: spunti di discussione. In: *Produzione artigianale ed esportazione nel mondo antico. Il bucchero etrusco* (a cura di M. Bonghi Jovino). Atti del Colloquio Internazionale, Milano, 10-11 giugno 1990, 171-185. Guidizzolo: Edizioni Et.

Lugli G. 1957. *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*. Roma: Giovanni Bardi Editore.

Nappo S. C. 2005. *Select residences in Regiones I-II. In Pompeii and the ancient settlements under Vesuvius*. Charlottesville: University of Virginia press.

Osanna M. 2017. Introduzione. In: *Rileggere Pompei. L'insula 7 della Regio IX* (a cura di F. Pesando, M. Giglio). V. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Osanna M., Rescigno C. 2017. Introduzione. In: *Pompei e i Greci. Catalogo della mostra* (Pompei, 11 aprile-27 novembre 2017), 43-55. Milano: Mondadori-Electa.

Panciera S. 2000. Nettezza urbana a Roma. Organizzazione e responsabili. In: *Sordes urbis. La eliminación de residuos en la ciudad romana* (a cura di J. -A. Remolà Vallverdu, X. Dupré Raventós,). Actas de la reunión de Roma, 15-16 novembre 1996, 95-105. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Pesando F., Giglio M. 2017. *Rileggere Pompei V. L'insula 7 della Regio IX*. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Plinio Secondo C. 1844. *Historiae Mundi*, libri XXXVII, paragrafo LVI, vol. II, Venezia: Giuseppe Antonelli editore.
Poehler E. E. 2017. *The Traffic Systems of Pompeii*. New York: Oxford University Press.
Poehler E. E, Crowther B. M. 2018. Paving Pompeii: The Archaeology of Stone-Paved Streets. American Journal of Archaeology, 122(4), 279-609.
Pucci G. et al. 2008. Le ricerche dell'Università di Siena a Pompei, In: *Nuove ricerche archeologiche nell'area vesuviana (scavi 2003-2006)* (a cura di P.G. Guzzo e M.P. Guidobaldi). Atti del Convegno Internazionale, Roma, 1-3 febbraio 2007, 223-236. Roma: L'Erma di Bretschneider.
Riccobono S. et al. (a cura di). 2007. *Fontes Iuris Romani Antejustiniani*. I. Firenze: Giunti editore.
Robinson M. 2005. Fosse, piccole fosse e peristili a Pompei. In: *Nuove ricerche archeologiche a Pompei ed Ercolano* (a cura di P.G. Guzzo e M.P. Guidobaldi). Atti del Convegno Internazionale, Roma, 28-30 novembre 2002, 109-119. Napoli: Electa.
Scafetta N., Mazzarella A. 2019. The city of the sun and Parthenope: classical astronomy and the planning of Neapolis, Magna Graecia. Journal of Historical Geography, 65, 29-47.
Varone A. 2005. Il progetto di scavo e pubblica fruizione dell'insula pompeiana dei Casti Amanti (Insula IX 12). In: *Nuove ricerche archeologiche a Pompei ed Ercolano* (a cura di P.G. Guzzo e M.P. Guidobaldi). Atti del Convegno Internazionale, Roma, 28-30 novembre 2002, 191-199. Napoli: Electa.
Vitruvio P.M. 1981. *De Architectura, translato et affigurato da Caesare Caesariano* (1521) (a cura di A. Bruschi, A. Carugo, F. P. Fiore). Milano: Edizioni Il Polifilo.
Vitruvio P. M. 1997. *De Architettura* libro I, 6, 1, (ed. a cura di Pierre Gros), Torino; Einaudi.
Von Gerkan A. 1940. *Der Städtplan von Pompeji*. Berlin: Archäologisches Institut des Deutschen Reiches.
Zaccaria Ruggiu A. 1995. *Spazio privato e spazio pubblico nella città romana*. Roma: École francaise de Rome.

Sitografia

[1] Anniboletti et al. 2009. www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2009-148.pdf.
[2] Coarelli F., Pesando F. 2006. www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2006-54.pdf.
[3] Befani V. 2007. www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2007-84.pdf
[4] Befani V. 2008. www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2008-113.pdf.
[5] https://www.quaderniquarneti.it/biblioteca-storica/marco-vitruvio-pollione/
[6] Sorriento A. 2008. www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2008-105.pdf.
[7] https://www.treccani.it/enciclopedia/pavimento_res-000f764e-66c1-11e1-b491-d5ce3506d72e_%28Enciclopedia-dell%27-Arte-Antica%29/
[8] https://www.treccani.it/enciclopedia/ricerca/lastrico/

Claudia Tacchella

Tra Francia e Olanda, decorazione e costruzione navale nel Seicento

Between France and the Netherlands, decoration and shipbuilding in the seventeenth century

Sommario
Nel corso del Seicento gli arsenali delle potenze europee dovettero confrontarsi con un nuovo aspetto emergente nella costruzione navale, ovvero la decorazione. L'estetica delle navi di linea divenne, infatti, sempre più importante fino a diventare motivo di dibattito tra le figure facenti parte del mondo navale, come ammiragli, capitani, sovrintendenti di arsenali e maestri d'ascia. In particolare, proprio i maestri d'ascia dovettero presto imparare a convivere con persone di tutt'altro mestiere, gli artisti, entrati a far parte del personale necessario per la costruzione di una imbarcazione, e il pragmatismo della tecnica dovette lasciare spazio all'estro estetico. Parallelamente, l'accentuarsi delle decorazioni a bordo diede vita a nuove problematiche che influenzarono l'intera vita delle imbarcazioni, dal processo di costruzione, alla resa nautica dopo il varo. In questo contesto, due potenze approcciarono le nuove sfide della costruzione navale con spirito diverso, se non addirittura opposto. Il pragmatismo olandese, che prediligeva la praticità, e il prorompente estro francese, affascinato dalla ricchezza della produzione artistica, rappresentano, infatti, in questo preciso contesto, due antitesi di pensiero che portarono rispettivamente Olanda e Francia a percepire e valutare in modo differente la qualità estetica all'interno delle loro flotte. Tuttavia, queste due realtà entrarono spesso in contatto, senza alcuna contraddizione. La Francia guardò, infatti, con occhi avidi alla costruzione navale dei Paesi Bassi e diversi maestri d'ascia olandesi trovarono in territorio francese il luogo adatto alla realizzazione pratica della loro arte. Infine, tra il 1666 e il 1667 fu proprio Luigi XIV a ottenere dal governo olandese la realizzazione di ben sei navi di linea di secondo rango, dimostrando come la produzione olandese potesse perfettamente adattarsi alle esigenze e agli standard della flotta della *Marine Royale*.

Abstract
During the Seventeenth Century, European dockyards had to face an emergent aspect in shipbuilding that is the decorations concern. Indeed, the aesthetics of ships of the

line was becoming increasingly significant until it represented the topic of a central debate in the naval world. And so it was that shipwrights should soon learn to coexist with artists, who had become part of the staff working inside dockyards, and the technical pragmatism had to handle with the aesthetic flair. Moreover, the emphasis put on decorations onboard created different problems to the life of ships, from launch onwards. In this context, two powers faced the new challenges of shipbuilding with divergent approaches. The Dutch pragmatism, which preferred practicality, and the French fancy, charmed by the artistic production, represented two opposite ways of thinking which brought Netherlands and France to evaluate ship aesthetics differently. Nevertheless, these two worlds were often in close contact, without any contradiction. Indeed, France looked with greedy eyes at Dutch shipbuilding, and many Dutch shipwrights found that France was the right place to express their art. Furthermore, between 1666 and 1667, Louis XIV ordered the construction of six second-rate vessels to the Netherlands, demonstrating how Dutch shipbuilding could perfectly fit the French shipbuilding standards.

Introduzione

Il XVII secolo rappresenta un periodo di cambiamento nel mondo della costruzione navale. I nuovi assetti politici e geografici portarono le potenze europee a scontrarsi per il controllo delle rotte commerciali oceaniche facendo delle flotte statali un nuovo strumento di potere nelle mani dei sovrani. Nel secolo precedente si era assistito a un cambiamento radicale e inaspettato nella scacchiera europea: l'apparentemente invincibile forza combinata ispano-portoghese, riunita sotto il controllo di Filippo II (1527-1598), vide svanire il suo predominio in favore di nuove forze emergenti, quali Inghilterra, Olanda e Francia. Fu proprio in questo gioco di forze che i velieri si rilevarono pedine fondamentali, assumendo un ruolo rilevante per l'affermazione di uno Stato sugli altri. La potenza dei cannoni si rivelò essere l'arma vincente, portando gli Stati a desiderare imbarcazioni in grado di montare un sempre maggior numero di bocche da fuoco. L'Inghilterra fu uno dei centri di maggior sviluppo di queste nuove unità, e agli inizi del Seicento il maestro d'ascia di Chatham, Phineas Pett (1570-1647), varò la *Prince Royal* (1610), uno dei primi tre-ponti inglesi, con una portata di 55 cannoni. La concorrenza con le altre potenze riguardava in particolare la produzione olandese, che aveva dato da tempo prova della sua maestria nella costruzione di navi di notevole dimensione. Ne è un esempio la *Hollandse Tuyn*, o *Tuin* (1598), un vascello a 4 alberi da 1000 tonnellate di stazza, corrispondente a 500 *last*, unità di misura della capacità di carico utilizzata in Olanda, dotata di circa 50 cannoni. Fu costruita ad Amsterdam e subito entrò in servizio sotto l'ammiraglio Pieter van der Does (1562-1599) in una spedizione verso le isole Canarie del 1599, ma nel 1606 fu venduta al Duca di Firenze Ferdinando I de' Medici (1549-1609), non essen-

do adatta alla navigazione nelle basse acque costiere olandesi (Groot, 2018). Un altro esempio è la *Grand Saint Louis* (1626), con una stazza di 1000 tonnellate e dotata di 55 cannoni. Anch'essa fu realizzata ad Amsterdam, dal maestro d'ascia Lambert per Carlo di Guisa (1571-1640), comandante della flotta francese nel Mediterraneo (Landstrom, 1988). Negli anni '30 del Seicento, anche i francesi si dedicarono allo sviluppo della costruzione navale grazie alla spinta del cardinale Richelieu (1585-1642), il quale nel 1629 ordinò al maestro d'ascia Charles Morieu la costruzione della *Couronne* (1636), un vascello a tre ponti con 72 cannoni.

La nuova valenza di queste navi di linea le portò al centro dell'attenzione, e lo *status* raggiunto richiese anche un miglioramento del loro aspetto estetico. La decorazione di queste unità divenne, quindi, un elemento sempre più importante fino a rappresentare motivo di dibattito tra le figure del mondo navale, come ammiragli, capitani, sovrintendenti di arsenali e maestri d'ascia. Per i sovrani, la nave ammiraglia rappresentava uno strategico elemento comunicativo per mostrare alle altre potenze europee, così come ai loro sudditi, la ricchezza e il potere in loro mano. Uno degli esempi più celebri è il vascello inglese di prima linea *Sovereign of the Seas* (1637), noto anche con il nome di *Golden Devil* per via delle sue ricche decorazioni dorate su sfondo nero, particolarmente vistose nella zona poppiera. La sua costruzione fu talmente onerosa che le sole decorazioni raggiunsero il costo di un vascello da guerra di medie dimensioni (Pain, 2000). Ne conseguì che nel 1637, per rientrare delle spese, la tassa nota come *Ship Money*[1], reintrodotta dal sovrano nel 1634, subì un eccessivo aumento, portando uno scontento generale sia nella popolazione che nel Parlamento. Lo sfarzoso progetto per questo vascello da 90 cannoni fu commissionato nel 1634 al maestro d'ascia di Woolwich, Peter Pett (1610-1672), per volere di Carlo I (1600-1649), che mirava a mostrare appunto la potenza e la ricchezza del suo regno.

Fu così che nella nuova generazione di navi di linea il pragmatismo della tecnica dovette lasciare spazio all'estro estetico. La convivenza tra l'estetica e la funzionalità non fu tuttavia facile. Infatti, l'accentuarsi delle decorazioni a bordo ebbe ricadute negative sul processo di costruzione e sulla resa nautica. I tempi di realizzazione si allungarono notevolmente per dare il tempo agli artisti di realizzare, stuccare e dorare le loro creazioni; i costi, come si è visto, aumentavano significativamente, dovendo aggiungere alle spese consuete il prezzo del materiale per gli ornamenti, generalmente in legno prezioso e rivestiti da foglie d'oro, e il prezzo della manodopera che, se per gli artisti minori poteva essere relativamente contenuto, si alzava considerevolmente quando erano chiamati importanti artisti di corte. Questo accadde per la costruzione del *Royal Louis* (1668), per il cui progetto di decorazione fu chiamato Charles Le Brun (1619-1690), *Premier peintre du Roi*. Le decorazioni incidevano, inoltre, sull'aumento del prezzo della manutenzione. Infine, e fu probabilmente il fattore più rilevante per la costruzione navale, la presenza di pesanti decorazioni creava considerevoli problemi di navigazione. Ricorrendo nuovamente all'esempio del *Sovereign*

of the Seas, le sue prestazioni risultarono notevolmente compromesse dalla presenza degli elaborati decori e per questo fu riportato in cantiere a Chatham nel 1651 dove le sue sovrastrutture furono ridotte (Winfield, 2010). Infatti, gli ornamenti aumentavano peso e volume, e quindi la resistenza al moto, riducendo per contro velocità e manovrabilità dei vascelli. Inoltre, aumentava l'immersione dello scafo creando problematiche nella navigazione in acque basse, come ad esempio durante le operazioni di entrata e uscita dal porto. In aggiunta, la combinazione tra la maggiore immersione e la presenza di castelli poppieri resi più alti da elementi decorativi provocava un aumento del rollio, rendendo le imbarcazioni più instabili. Ne conseguì che l'iniziale spinta in favore dell'estetica dei vascelli condivisa dalle potenze europee andò presto a smorzarsi, diventando motivo di dibattito nei cantieri navali.

Francia e Olanda, due diverse realtà

In questo contesto, due realtà reagirono in maniera diversa a queste problematiche. Infatti, laddove la Francia continuò a promuovere una decorazione accentuata fino alla fine del Seicento, l'Olanda iniziò a varare imbarcazioni più sobrie già dagli anni '60, riducendo la presenza di ornamenti aggettanti e pesanti. Per comprendere la motivazione di questi due approcci si deve considerare il contesto politico, in quanto, come si è visto nel caso di Carlo I in Inghilterra, la spinta alla decorazione dei vascelli proveniva dall'apice della gestione politica.

La marina francese iniziò tardivamente la sua evoluzione rispetto alle altre marine, con un primo impulso dato all'inizio del Seicento dal cardinale Richelieu e successivamente, dalla seconda metà del secolo, grazie all'impegno di Jean-Baptiste Colbert (1619-1683). La sua rapida crescita le permise comunque di raggiungere in poco tempo il suo pieno sviluppo diventare una potenza navale al pari di Inghilterra e Olanda. Questo grande sforzo gestionale, economico e organizzativo fu possibile grazie alle numerose cariche rivestite da Colbert, quali Principal ministre d'État (1661), Contrôleur général des Finances (1665), Secrétaire d'État de la Marine (1669) e Secrétaire d'État de la Maison du Roi (1669); poteva così operare in diversi campi sinergicamente. L'accentramento del potere e il contesto monarchico permisero quindi alla *Marine Royal* di raggiungere notevoli successi, anche se, al contempo, la forte personalità di Luigi XIV influenzò l'estetica delle imbarcazioni, generando veri capolavori galleggianti che spesso difettavano di qualità nautiche in funzione di una valenza estetica che rifletteva appieno il carattere della monarchia assoluta francese (Tacchella, 2020).

La situazione olandese era diversa. Dopo la rivolta contro il dominio spagnolo di Filippo II (1527-1598), iniziata nel 1566, l'Olanda costituì la Repubblica delle Sette Province Unite (1581-1795). Questa realtà risultava un'eccezione politica se paragonata alle potenze confinanti, calata come era nel periodo delle grandi monarchie. Anche la gestione della *Koninklijke Marine*, la marina reale olandese, rappresentava un

unicum, non essendo né sottomessa alle scelte di una figura autoritaria, quale fu, ad esempio, Colbert per la flotta francese, né governata da un'élite centralizzata, quale era la *Navy Board* inglese creata da Enrico VIII (1491-1547) nel 1546. Per via della sua natura, la gestione della marina olandese era complessa e articolata. Durante la ribellione olandese, le piccole flotte private delle varie città costiere, nate seguendo l'esempio della flotta di corsari di Guglielmo d'Orange (1533-1584), nota con il nome di *Watergeuzen*, svolsero un ruolo fondamentale nel contrastare la potenza spagnola. Nel 1573 fu quindi creata una nuova marina militare e nel 1576 il comando fu affidato a Guglielmo d'Orange. Con la nascita della Repubblica (1581), gli Stati Generali assunsero la posizione di organo gestionale, atto a determinare le strategie da seguire in modo organico. In seguito, fu deciso di creare una sorta di Ministero della Marina con sede a Rotterdam, ma il processo di centralizzazione si rivelò complesso e lento. La marina fu alla fine organizzata in cinque ammiragliati: ammiragliato del Maas a Rotterdam; ammiragliato della Zelanda; ammiragliato di Amsterdam; ammiragliato del Quartiere Nord, il *Noorderkwartier*; ammiragliato della Frisia. Nel 1597 fu stabilito un sistema di Collegi dell'Ammiragliato, rendendo gli ammiragliati organi amministrativi incaricati di attuare le decisioni prese (Davids, 2012). Quindi la costruzione navale olandese non seguiva le scelte e i capricci di un monarca, ma mirava unicamente a realizzare imbarcazioni con una buona qualità nautica e si basava sulle necessità relative al particolare contesto geografico. Le navi da guerra olandesi, infatti, fino agli anni '90 del Cinquecento, avevano generalmente una stazza di circa 100 tonnellate e solo poche unità superavano le 200 tonnellate, per via delle acque poco profonde che caratterizzano la costa olandese, in particolare vicino ai porti (Bender, 2014). In seguito all'alleanza con Inghilterra e Francia nel 1596, la Repubblica si trovò a confronto con le grandi monarchie. L'inadeguatezza della flotta olandese si palesò in particolare durante la guerra anglo-spagnola (1585-1604), quando l'Inghilterra chiese alla sua nuova alleata di inviare un contingente di 24 navi da far confluire in tre convogli diretti in Spagna, nell'impresa nota come la presa di Cadice (30 giugno - 15 luglio 1596). Ai tre convogli, rispettivamente da 100, 150 e 200 unità, l'Olanda partecipava con solo 8 navi ciascuno, di cui solamente tre di grandi dimensioni. Tra queste la *Neptunus* (1594) da circa 500 tonnellate, che pur essendo l'imbarcazione più grande della flotta, quindi capitanata dall'ammiraglio Jan van Duvenvoorde (1547-1610) noto come Lord Van Warmont (Elias, 1933), risultava piccola a confronto delle imbarcazioni inglesi e spagnole (Russel, 1983) come mostrato in Figura 1.

Le navi inglesi comprendevano l'ammiraglia *Ark Royal* (1588) con 55 cannoni, che raggiungeva quasi 700 tonnellate, corrispondenti a 555 tons bm^2, e che era comandata dal Lord High Admiral Charles Howard, I conte di Nottingham (1536-1624), e altre imbarcazioni di nuova costruzione tra cui la *Warspite* (1596) da 29 cannoni, con una stazza di oltre 500 tonnellate, la *Repulse* (1596) armata con 50

Fig. 1 - Aert Anthonisz, The Battle of Cadiz (Dutch and English Ships Attack the Spanish Armada), 1608. Conservato presso il Rijksmuseum, Amsterdam. Nel dipinto si può apprezzare nello sfondo a sinistra l'imbarcazione olandese di dimensioni decisamente ridotte rispetto alle due imbarcazioni in primo piano.

cannoni, da quasi 800 tonnellate e la *Merhonour* (1596) da 41 cannoni, comandata dal vice ammiraglio Lord Thomas Howard (1511-1537), che con le sue 865 tonnellate era la più grande della flotta (Winfield, 2009). Per quanto riguarda i galeoni spagnoli, 500 tonnellate erano la norma già dagli anni '70 del Cinquecento, ma si arrivò a stazze dalle 800 alle 1000 tonnellate (Konstam, 2004). La condizione della flotta olandese necessitava quindi di essere rapidamente cambiata, cercando di alzare la stazza media a circa 300 tonnellate. Tra le imbarcazioni di nuova costruzione va annoverata la *Orangieboom* (1596) da 300 tonnellate, capitanata dall'ammiraglio Jacob van Wassenaer Duivenvoorde (1574-1623), che attirò subito l'attenzione generale per le sue eccellenti qualità di navigazione, tanto che alla fine del 1597 due noti mercanti fiamminghi stabilitisi a Rotterdam, Johan van der Veken (1549-1616) e Pieter van der Hagen (battezzato nel 1598-1668), chiesero di utilizzarla in un viaggio verso il Giappone per stabilire una rotta commerciale nelle Indie orientali (Kaplan, 2009); la richiesta fu negata, in quanto l'ammiraglio dichiarò che non poteva perdere la nave migliore dell'intera flotta.

Due anni dopo la battaglia di Cadice, Enrico IV di Borbone (1553-1610), divenuto re della Francia, il 2 maggio 1598 firmò la pace di Vervins con la Spagna. Con questo nuovo nemico da cui dover difendere i propri commerci via mare, gli Stati Generali decisero di costruire quattro *schepen van geweld*, le navi della violenza, la più grande delle quali era la *Hollandse Tuyn*. Ancora nell'estate del 1600, gli Stati Generali decisero di puntare su imbarcazioni di grandi dimensioni, ma la preoccupa-

zione principale rimase quella di mantenere un'ottima capacità di navigazione. Per questo ordinarono all'ammiragliato della Zelanda, noto per la buona qualità delle sue imbarcazioni, di inviare le carte con le specifiche delle loro unità, e fu ordinato ai Collegi di non iniziare nessuna costruzione fino a che non fosse stato inviato loro un modello da seguire. Una seconda spinta verso imbarcazioni più grandi si ebbe negli anni '20 del secolo, ma i risultati mostrarono come queste unità non si prestassero alle condizioni delle coste olandesi e furono quindi trasferite alla Compagnia Olandese delle Indie Orientali. Per i successivi trent'anni la produzione olandese si concentrò su imbarcazioni dalle 300 alle 700 tonnellate e così, verso la metà del secolo, l'Olanda aveva ancora una flotta di ridotte dimensioni rispetto alle altre potenze europee (Elias, 1933). La costruzione navale olandese si differenziava anche per metodologia costruttiva e forme di scafo. Innanzitutto, si basava sulla tradizione nord europea, che prevedeva una diversa impostazione dello scafo. Infatti, se Francia e Inghilterra seguivano il metodo mediterraneo detto *skeleton-first*, nel quale si procedeva impostando l'ossatura di base (chiglia e costole) per poi fissare i corsi di fasciame, in Olanda si procedeva impostando la chiglia e posizionandovi subito i corsi di fasciame del fondo, come mostrato in Figura 2, sui quali si inserivano le costole (Landstrom, 1988).

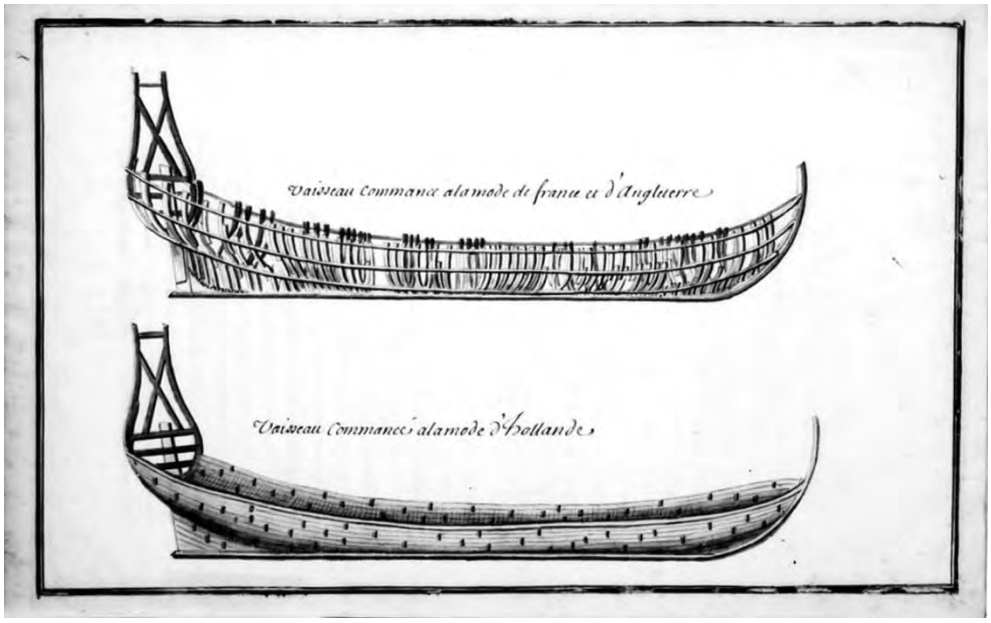


Fig. 2 – Schemi del processo costruttivo in Inghilterra (in alto) e Olanda (in basso) (Arnoul, 1670).

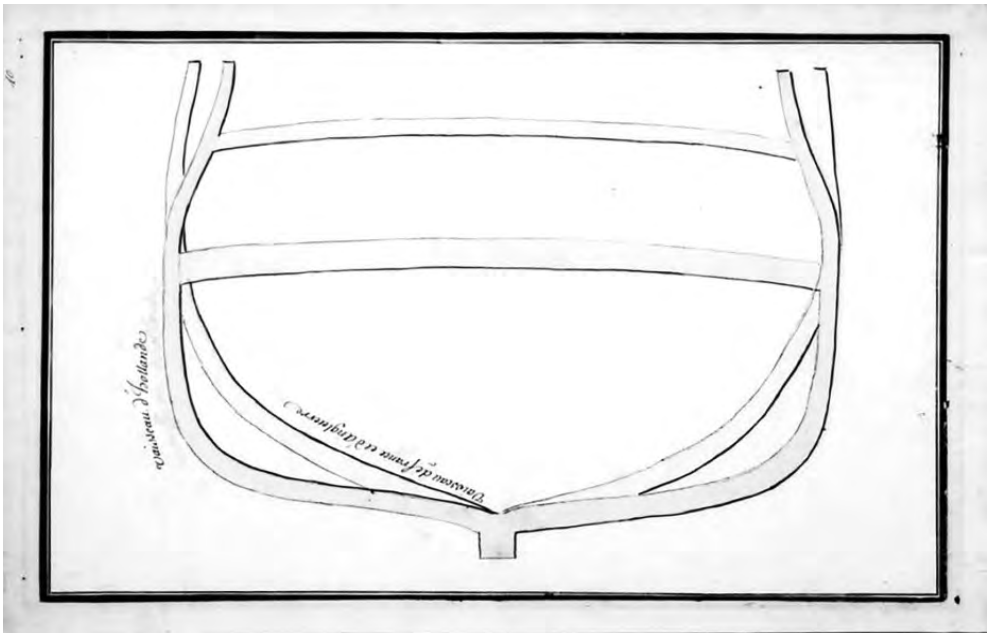


Fig. 3 – Sovrapposizione di una sezione maestra inglese e una olandese (Arnoul, 1670).

Secondariamente, la forma degli scafi olandesi era diversa da quella delle altre potenze. Il motivo di questa diversità deve ricercarsi nuovamente nelle condizioni geografiche locali; infatti, come già riportato, i bassi fondali non consentono la navigazione a imbarcazioni con un profondo pescaggio. Di conseguenza, non solo le dimensioni dovevano rimanere contenute, ma anche la forma della sezione doveva essere composta da madieri piuttosto piatti, distinguendosi decisamente dalle forme curve degli scafi francesi e inglesi, come ben visibile in Figura 3. Inoltre, anche il peso era contenuto, ad esempio, attraverso l'uso di rivetti in legno sulla maggior parte delle giunzioni e riservando i chiodi in ferro per le parti più critiche; anche questo metodo era in netto contrasto con la costruzione francese che prevedeva l'utilizzo di un'ossatura robusta e pesante fissata quasi completamente da elementi in ferro (Arnoul, 1670).

L'approccio alla costruzione navale e le scelte prese dalla Repubblica fanno emergere come l'efficienza fosse il fine perseguito. Ad esempio, alla fine del Cinquecento gli Stati Generali decisero di vendere l'*Hollandse Tuyn* (1598) e la gemella *Leeuw* (1601), inutilizzate e ormeggiate rispettivamente nei porti di Amsterdam e Rotterdam, nonostante fossero le imbarcazioni più grandi della flotta (Elias, 1993). É chiaro come questa mentalità lasciasse poco spazio al vezzo estetico, soprattutto se questo significava un risvolto negativo dal punto di vista dei costi e delle prestazioni.

Ciò non significa che le navi olandesi non presentassero alcuna decorazione, ma che i ricchi e fini ornamenti erano realizzati in modo da non incidere eccessivamente sulle qualità nautiche, rimanendo contenuti. Inoltre, la decorazione, generalmente concentrata sulla zona poppiera, assumeva anche una valenza pratica in quanto era connessa al nome dell'imbarcazione, aiutando a riconoscere le diverse unità. La *Gouden Leeuw* (1666), ad esempio, nave ammiraglia di Cornelis Maartenszoon Tromp (1629-1691) durante la battaglia di Texel (1673), aveva rappresentato un leone dorato, un *gouden leeuw* appunto. Inoltre, alle imbarcazioni veniva spesso dato il nome di città olandesi e in questo caso la decorazione poteva rappresentare lo stemma di tale città. Per questo diverse imbarcazioni erano chiamate *Wapen van* …, stemma di …, come la *Wapen van Utrecht* (1621), una delle grandi navi da 800 tonnellate costruite nella prima metà del Seicento, che aveva raffigurato lo stemma di Utrecht. Accadeva talvolta che un elemento predominante dello stemma potesse a sua volta andare a incidere sul nome dell'imbarcazioni; è il caso della *Wapen van Holland* (1653), il cui stemma raffigurava un leone rosso, e che per questo era anche chiamata *Roode Leeuw* (Bender, 2014).

L'attenzione posta dalla monarchia francese all'estetica e ai nomi dei vascelli aveva un carattere ben diverso. Queste componenti dovevano esprimere l'identità del sovrano e quindi dello stato stesso; ricordiamo, infatti, la celebre frase di Luigi XIV «*L'*état *c'est moi*». I nomi avevano diversi significati a seconda della classe del vascello. Le due ammiraglie erano le sole a poter vantare i nomi del re, *Soleil Royal* e *Royal Louis*. Le altre navi di prima linea dovevano riferirsi a icone e simboli reali come *Couronne* (1669) e *Sceptre* (1671). Alle navi dal secondo rango in poi venivano generalmente dati nomi che simboleggiavano le virtù della Corona, come *Glorieux* (1678), e *Magnifique* (1685) (Dessert, 1996). L'importanza dell'estetica, che concorreva a glorificare la monarchia, risulta evidente dalle parole del sovrintendente dell'arsenale di Tolone, Louis Leroux d'Infreville (1642-1712), il quale in una lettera a Colbert, del 24 luglio 1668, parlando dei tre vascelli in costruzione, la *Royal Louis* (1668), la *Dophin royal* (1668) e la *Monarque* (1668), si premurò di assicurare che «Cela pourra contenter S.M., n'ayant point de plus beaux vaisseaux à la mer que ces trois» (De Montaiglon, 1856). In effetti i vascelli di linea francesi varati nel XVII secolo erano dei capolavori galleggianti, in cui ogni elemento era riccamente decorato per generare un effetto di magnificenza, in perfetta coerenza con lo splendore e lo stile di Versailles. In definitiva, la differenza con le navi olandesi era un riflesso della diversità tra i due stati, sia nel contesto navale che politico. Tuttavia questi due mondi entrarono in contatto intrecciando le loro pratiche di costruzione navale.

Due realtà a contatto

Nel corso del Seicento, la concorrenza fra gli Stati spinse le forze marittime in gioco a richiedere il massimo dai loro arsenali, sempre attente al confronto con i loro rivali.

Per la Francia del re Sole l'idea di essere in qualche modo inferiore alle forze straniere era inaccettabile. Quando nel 1669 d'Infreville comunicò a Colbert che l'arsenale di Tolone poteva mettere in mare solo cinque navi all'anno, la preoccupazione del Ministro, indirizzata subito alla reazione delle altre potenze, fu «Il est *certain que les Anglais et Hollandois se moquent de nous*», essendo loro capaci di costruire «dix, *douze vaisseaux en trois ou quatre mois de temps*» (Clément, 1864). Tuttavia, per la Francia era essenziale rivolgersi all'estero per implementare la flotta, non avendo ancora un apparato di arsenali adeguato, seppure Luigi XIV si dichiarasse contrario all'acquisto di imbarcazioni straniere (Anthiaume, 1922). Nonostante le differenze evidenziate, la monarchia si rivolse anche ai cantieri olandesi e nel 1666 Colbert inviò il capitano Jub Forant (1612-1692) ad Amsterdam per acquistare sei navi di secondo rango e ordinare una decina di nuove navi (Clément, 1864). Le sei unità erano: la *Conquérant*, la *Courtisan* (*Magnifique* dal 1671), la *Invincible*, la *Normand* (*Saint-Louis* dal 1671), la *Intrépide* (*Grand* dal 1671) e la *Neptune* (*Illustre* dal 1671), le quali partirono per la Francia il 5 maggio 1667 (Winfield, 2017).

L'abilità dei maestri d'ascia olandesi era quindi ben nota alla monarchia francese, che per questo cercò di attrarli a lavorare nei propri arsenali. Tra i diversi costruttori olandesi migrati in Francia vi era anche Rodolphe Gédéon (?-1672), arrivato nel 1645 sotto la spinta del cardinale Mazzarino (1602-1661) e attivo presso il cantiere di Tolone (Boudriot, 1998). La sua abilità fu tale che gli fu affidata la costruzione dell'ammiraglia della flotta del Mediterraneo; tuttavia, la tradizione della costruzione francese era mantenuta attiva, tanto che lo stesso Gédéon adottò lo stile locale, come evidenziano le forme di scafo della *Royal Louis*. Nel 1669 la Francia doveva ancora affidarsi alla manodopera straniera, come si legge nella lettera del Ministro a Colbert de Terron (1628-1684), intendente a Rochefort, riguardo alla proposta di portare alcuni maestri d'ascia olandesi a lavorare in Francia. Nella lettera il Ministro si diceva dispiaciuto che nonostante tutte le navi costruite in Francia e tutti gli sforzi per promuovere la costruzione navale, fosse ancora necessario ricorrere a costruttori stranieri, non essendo stati in grado di «accoustumer les charpentiers françois à servir le Roy avec autant de liberté et de volonté que les marchands » e aggiunse infine che «Si nous avons un bon maistre charpentier hollandois, il donnera un bon exemple pour l'économie et le mesnage [sic] des bois; en quoy [sic] les Hollandois sont constamment plus habiles que nous» mostrando che l'utilizzo della manodopera locale sarebbe stata preferita, ma tuttavia la professionalità e la maestria dei carpentieri olandesi risultava essere una buona alternativa (Clément, 1864).

Oltre a fornire manodopera di qualità e a essere un ottimo costruttore da cui acquistare imbarcazioni, la Repubblica era anche vista come un prezioso esempio per il miglioramento della costruzione navale. Spesso la monarchia francese inviò uomini in territorio olandese per tentare di carpire i segreti della loro costruzione. Tra questi Thomas Gobert (c.1630 o 1640 - c.1708), ingegnere e architetto di Luigi XIV,

fu inviato in Olanda a redigere un piano di tutti i porti, dighe, moli e altre strutture marittime (Clément, 1864). Nello stesso periodo Dumas, *Commissaire général de la Marine* a Havre, fu inviato anch'egli in Olanda, per aiutare Forant nell'acquisto delle sei navi di linea di cui si è detto e per studiare con attenzione le imbarcazioni che gli olandesi offrivano. Qualche anno più tardi, Étienne Hubac (1648-1726), fu inviato nella Repubblica per acquisire informazioni su «les mesures et proportions de toutes sortes de vaisseaux, soit de guerre, soit de charge» e per comprendere appieno le differenze con la costruzione francese. Compito di Hubac era anche quello di informarsi su quali macchinari utilizzassero per sollevare e spostare carichi pesanti e in generale per imparare tutto il possibile sulla costruzione e riparazione delle imbarcazioni (Clément, 1864). Compiti simili spettarono a Pierre Arnoul (1651-1719) e Jean-Baptiste Antoine Colbert, Marquis de Seignelay (1651-1690), i quali furono inviati negli anni '70 del Seicento nella Repubblica con precise direttive di acquisire più informazioni possibili sulla costruzione navale olandese (Dessert, 1996). Inoltre, come si è visto, la Francia faceva della decorazione delle sue navi un vanto, ma anche in questo caso guardò all'Olanda, oltre che all'Inghilterra, come modello per risolvere le criticità che ne derivavano. Infatti, negli anni '70 del Seicento, quando iniziavano a rendersi evidenti i problemi conseguenti alle decorazioni, alcuni ufficiali della marina francese, e in particolare Guillaume d'Alméras (1610-1676), lamentandosi degli ingombranti ornamenti portarono come esempio a sostegno delle loro teorie, le costruzioni inglesi e olandesi più recenti. In queste navi l'apparato decorativo era stato ridotto ed erano praticamente assenti le ingombranti gallerie aggettanti sulla poppa, particolarmente disprezzate da capitani e ufficiali perché, aumentando notevolmente il volume ligneo, oltre ad appesantire le navi, le rendevano facili bersagli agli attacchi dei brulotti. Le continue proteste portarono a una effettiva riduzione delle decorazioni; con un regolamento del 13 settembre 1673 Colbert tentò di omologare la costruzione navale francese a quella di Inghilterra e Olanda, vietando le figure in rilievo negli ornamenti di poppa, permettendo solamente elementi leggeri (Brun, 1861). Complessivamente, risulta evidente che, nonostante le diversità, la Francia guardasse con grande interesse all'Olanda, sotto diversi punti di vista: l'acquisto di imbarcazioni, la ricerca in territorio olandese di maestri d'ascia disposti a lasciare la loro terra natia per lavorare per la monarchia, l'acquisizione di nuove tecnologie e macchinari che potevano andare a migliorare la produzione, la ricerca di soluzioni ai problemi relativi alla decorazione.

Conclusioni

Nel corso di tutto il Seicento, la flotta olandese risulterà sempre composta da unità di dimensioni ridotte. Questo si nota confrontando le imbarcazioni di maggiore dimensione delle flotte schierate nel conflitto dell'Aia del 1692, quando la forza anglo-olandese si scontrò con quella francese. La flotta inglese contava, tra le sue 56 navi

di linea, 16 imbarcazioni dai 90 ai 100 cannoni (Allyn, 1744). Tra queste vi era l'ammiraglia *Royal Sovereign*, ex *Sovereign of the Seas*, ricostruita nel 1660 e nel 1685, capitanata da Edward Russell (1653-1727) con un equipaggio di 815 uomini e una stazza di 1685 tonnellate (Colledge, 2006). La Francia vantava nella sua flotta di 44 navi di linea, la *Soleil Royal* capitanata dall'ammiraglio Anne-Hilarion de Costentin, Comte de Tourville (1642-1701), con 104 cannoni, 836 uomini e 2500 tonnellate (Winfield, 2017); inoltre disponeva di altre cinque unità armate dai 90 ai 96 cannoni. In questo schieramento di forze, le imbarcazioni maggiori delle 26 che componevano la flotta olandese non superavano i 92 cannoni ed erano solamente cinque (De Jonge, 1860), compresa l'ammiraglia *Prins Willem* (1687), capitanata da Philips van Almonde (1644-1711), con 525 uomini di equipaggio (Bender, 2014). Seppur della *Prins Willem* non si conosce la stazza, si può supporre che superasse le 1500 tonnellate, considerando che la stazza della *Zeven Provinciën* (1665), ammiraglia di Michel Adriaenszoon de Ruyter (1607-1676) da 80 cannoni e con un equipaggio di 420 uomini, era di 1400 tonnellate (Bruce, 2014). Ciononostante, la flotta olandese fornì un valido supporto agli inglesi, portando il numero totale delle navi di linea a 82 contro le 44 francesi. Alla squadra olandese, il *white squadron*, spettò la posizione di avanguardia, ovvero quella sezione generalmente composta da navi più piccole che precede il grosso della flotta. Il primo giorno di battaglia, con vento a favore, gli olandesi tentarono di circondare la flotta francese, tenendone una squadra impegnata in un lungo combattimento. Sebbene alla fine della giornata entrambi i due schieramenti non avessero perso nessuna unità, la schiacciante superiorità numerica anglo-olandese portò i francesi a ritirarsi. Il giorno seguente fu lo squadrone di Almonde, seguito dal *blue squadron* di John Ashby (1646-1693), a trovarsi in testa all'inseguimento puntando allo squadrone sotto François Panetié (1626-1696). I francesi riuscirono a sfuggire grazie all'ardita scelta di navigare nel pericoloso stretto di Alderney, dove le due squadre alleate non osarono avventurarsi in mancanza di qualcuno a bordo che conoscesse quelle acque. Almonde tentò di raggiungerli navigando a ovest di Alderney, ma ormai il ritardo era troppo (Hamy, 1903). Almonde e Ashby raggiunsero quindi il *red squadron* di Russell all'Aia; la battaglia era ormai finita.

Anche se negli anni '90 del XVII secolo i maestri d'ascia olandesi cercarono nuovamente di aumentare le dimensioni delle navi e il numero di cannoni a bordo, rimaneva il fatto che dovevano fare i conti con i vincoli delle normative olandesi e soprattutto con le acque poco profonde delle loro coste. Non sorprende quindi che a parità di armamento le navi olandesi fossero più piccole e che, a parità di larghezza, avessero una lunghezza inferiore e una minore immersione. In termini di prestazioni, questo potrebbe indicare una maggiore velocità, ma una minore stabilità (Akveld, 1974). Solo all'inizio del XVIII secolo fu varata la *Eendracht* (1702), prima unità olandese con 100 cannoni (Van Dulm, 1964), lunga 51 metri, larga 12 e di 5 metri e mezzo di immersione (Bender, 2014). In generale, sebbene l'inferiorità dimen-

sionale delle navi di linea potrebbe far sembrare la marina olandese dell'epoca non all'altezza di gareggiare con le altre flotte straniere, sarà proprio l'Olanda una delle principali protagoniste a trionfare nel periodo delle espansioni commerciali. D'altra parte, la grande e potente monarchia assoluta francese, in grado di vantare nella sua flotta ben due ammiraglie di dimensioni enormi per l'epoca, la *Soleil Royal* a ponente e la *Royal Louis* a levante, si trovò per tutto il secolo a volgere costantemente lo sguardo verso l'Olanda, presa a modello di riferimento, dimostrando così che la Repubblica era all'epoca un punto di riferimento per la costruzione navale delle ricche e potenti monarchie europee.

Bibliografia

Akveld L.M., Bruijn J.R., Huussen A.H. jr. 1974. Mededelingen van de Nederlandse Vereniging Voor Zeegeschiedenis. In: *Nederlandse Vereniging voor Zeegeschiedenis*, No. 28. Leiderdorp: Nederlandse Vereniging voor Zeegeschiedenis.

Allyn R. 1744. *A Narrative of the Victory Obtained by the English and Dutch Fleet, Commanded by Admiral Russell, Over That of France, Near La-Hogue, In the Yeat 1692*. London: J. Robinson.

Anthiaume A. 1922. *La Navire. Sa construction en France et principalement chez les Normands*. Paris: Librairie Ernest Dumont.

Arnoul P. 1670. *Remarques faictes par le sieur Arnoul sur la marine d'Hollande et d'Angleterre dans le voyage qu'il fit en l'année 1670, par ordre de Monseigneur Colbert*. Manoscritto.

Bender J. 2014. *Dutch Warships in the Age of Sail - 1600-1714 – Design, Construction, Careers and Fates*. Barnsley: Seaforth Publishing.

Boudrio J. 1998. *Le vaisseau Trois-Ponts du Chevalier de Tourville*. Paris: Collection Archeologie Navale Française.

Bruce A., Cogar W. 2014. *Encyclopedia of Naval History*. Chicago-London: Fitzroy Dearborn Publisher.

Brun V.F. 1861. *Notice sur la sculpture navale, et chronologie des maîtres sculpteurs et peintres du port de Toulon*. Toulon: D'E. Aurel.

Clément P. 1864. *Lettres instructions et mémoires de Colbert. III(1) – Marine et galere*. Paris: imprimerie impériale.

Colledge J.J., Warlow A. 2006. *Ships of the Royal Navy. A Complete Record of All Fighting Ships of the Royal Navy from the 15th Century to the Present*. London: Chatham Publishing.

Davids C.A., 't Hart M.C. 2012. The navy and the rise of the state. The case of the Netherlands c.1570-1810. In: *Navies and State formation. The Schumpeter hypothesis revisited and reflected* (J. Backhaus, N. Kyriazis, N. Rodger Eds.). 273-316. Zurigo: LIT Verlag.

Davies J.D. 2017. *Kings of the Sea: Charles II, James II & the Royal Navy*. Barnsley: Seaforth Publishing.

De Jonge J.C. 1860. *Geschiedenis van het Nederlandsche Zeewezen. Derde deel - Tweede stuk*. Harlem: A.C. Kruseman.

De Montaiglon M.A. 1856. *Archives de l'art français. Recueil de documents inédits relatifs à l'histoire des arts en France*. Paris: J.-B. Dumoulin.

Dessert D. 1996. *La Royale, vaisseaux et marins du Roi-Soleil*. La Flèche: Fayard.
Elias J.E. 1933. *De vlootbouw in Nederland in de eerste helft der 17e eeuw, 1596-1655*. Amsterdam: Noord-Hollandsche uitgeversmaatschappij.
Groot B. de. 2018. *Dutch Navies of the 80 Years' War 1568-1648*. London: Bloomsbury Publishing.
Hamy J.T.E. 1903. *François Panetié, premier chef d'escadre des armées navales, 1626-1696: étude historique et biographique*. Boulogne-sur-Mer: Société académique de l'arrondissement de Boulogne-sur-Mer.
Kaplan B., Carlson M., Cruz L. (a cura di). 2009. *Boundaries and their Meanings in the History of the Netherlands*. Leida: Brill.
Konstam A. 2004. *Spanish Galleon 1530-1690*. Oxford: Osprey Publishing Ltd.
Landstrom B. 1988. *The Royal Warship Vasa*. Stockholm: Interpublishing.
Paine L.P. 2000. *Warships of the World to 1900*. Boston and New York: Houghton Mifflin Company.
Russel M. 1983. *Visions of the Sea: Hendrick C. Vroom and the Origins of Dutch Marine Painting*. Leida: Brill Archive.
Tacchella C. 2020. The Royal Louis (1668), a Sailing Masterpiece. In: *Proceedings of the International Conference Historic Ships 2020*, 15-24. London: The Royal Institution of Naval Architects.
Van Dulm J.F., Weber R.E.J. 1964. Roem en rampspoed van ons nationale museum van het zeewezen. In: *Mededelingen van de Nederlandse Vereniging Voor Zeegeschiedenis*. No. 8. Leiderdorp: Nederlandse Vereniging voor Zeegeschiedenis.
Winfield R. 2009. *British Warships in the Age of Sail 1603-1714 - Design, Construction, Careers and Fates*. Barnsley: Seaforth Publishing.
Winfield R. 2010. *First Rate: The Greatest Warships in the Age of Sail*. Annapolis: Naval Institute Press.
Winfield R. 2017. *French Warships in the Age of Sail 1626-1786 - Design, Construction, Careers and Fates*. Barnsley: Seaforth Publishing.

Note

1. La *Ship Money* era una tassa che il sovrano poteva richiedere senza l'approvazione del Parlamento in caso di guerra per supportare le spese della marina e che era generalmente applicata alla popolazione costiera d'Inghilterra. Tale tassa rimase attiva fino al 1640 (Davies, 2017).
2. In Inghilterra, il tonnellaggio delle imbarcazioni era misurato secondo la *Builder's Measurement* (abbreviate come *bm*). Nel 1582, Matthew Baker (1530-1613), *Master Shipwright* della Corona, formulò un sistema di calcolo che prevedeva di moltiplicare lunghezza di chiglia, larghezza massima di scafo e immersione dividendo per un coefficiente pari a 100. Durante il Commonwealth d'Inghilterra (1649-1660) questa regola fu modificata e affinata, generando un differente valore di tonnellaggio, che corrisponde a circa il 20% in più di quello precedente.

Massimo Corradi

Le Cigar Ships

The Cigar Ships

Sommario
Le Winans' Cigar Ship, così chiamate perché progettate da Ross Winans appartengono con certezza alle navi curiose, se non addirittura futuristiche, per aspetto, forma e funzionamento. Le Cigar Ship furono un banco di prova sperimentale per sviluppare nuove idee nel design navale, soprattutto nella forma delle carene per vincere la resistenza d'attrito al moto; erano navi simmetriche con uno scafo aerodinamico molto affusolato alle due estremità con una prua e una poppa notevolmente appuntite. Navi che attrassero lo stupore del pubblico e della stampa, ma anche lo scetticismo dei tecnici, nonostante fossero un compendio di tecnologie innovative che avrebbero sicuramente attirato l'attenzione di Jules Verne. Una via di mezzo tra il sublime e il ridicolo, così le commentò William Schaw Lindsay, ma anche «extraordinary ship» come riportato in un articolo apparso su The Popular Science Review nel 1865. Il matematico tedesco Wolfgang Haack descrisse, in un articolo sull'aerodinamica pubblicato nel 1941, la forma del fuso come quella ottimale per offrire una resistenza minima al moto con flussi d'onda radenti l'oggetto, facendo un confronto con la resistenza dei proiettili e le fusoliere degli aerei supersonici. La loro forma avveniristica fu di esempio per i costruttori di sottomarini che proprio in quegli anni stavano sperimentando questa nuova tipologia d'imbarcazioni. Infatti, i sette sottomarini A-Boats costruiti per la Marina degli Stati Uniti tra il 1900 e il 1903 avevano uno scafo a forma di fuso molto simile alle Winans' Cigar Ship. L'*unicum* diventa allora il prototipo per sperimentare nuove idee, nuovi processi costruttivi, nuove tecnologie che saranno poi riprese e perseguite nel XX secolo. In questa breve nota vogliamo raccontare la storia di un'impresa oltre i confini della razionalità in un ambito, quello navale, votato all'innovazione ma ancora ancorato alla tradizione.

Abstract
The Winans' Cigar Ships, so called because they were designed by Ross Winans certainly belong to the curious, if not downright futuristic, ships in terms of appearance, shape and functioning. The Cigar Ships were an experimental test to develop new

ideas in naval design, especially in the shape of the hulls to overcome the frictional resistance to motion; they were symmetrical ships with a highly tapered streamlined hull at either end with a remarkably pointed bow and stern. Ships that attracted the amazement of the public and the press, but also the skepticism of the technicians, despite being a compendium of innovative technologies that would surely have attracted the attention of Jules Verne. A cross between the sublime and the ridiculous, as William Schaw Lindsay comments, but also «extraordinary ship» as reported in an article published in The Popular Science Review in 1865. The German mathematician Wolfgang Haack will describe, in an article on aerodynamics published in 1941, the shape of the spindle as the optimal one to offer a minimum resistance to motion with wave flows grazing the object, making a comparison with the resistance of the bullets and the fuselages supersonic aircraft. Their futuristic shape was an example for submarine builders who were experimenting with this new type of boat in those years. In fact, the seven A-Boats built for the United States Navy between 1900 and 1903 had a spindle-shaped hull very similar to the Winans' Cigar Ship. The *unicum* then becomes the prototype for experimenting with new ideas, new construction processes, new technologies that will then be resumed and pursued in the twentieth century. In this short note, we want to tell the story of an enterprise beyond the boundaries of rationality in a field, the naval one, devoted to innovation but still anchored to tradition.

Introduzione

Le Winans' Cigar Ship (s.a., 1807; s.a., 1858; Armengaud, 1867: 146-166; Fletcher, 1910: 380-383), così chiamate perché progettate da Ross Winans (1796-1877) rampollo della famiglia Winans, una famiglia di ingegneri e imprenditori, inviato in Inghilterra dalla più antica compagnia ferroviaria americana, la Baltimore and Ohio Railroad, per studiare lo stato dell'arte nella tecnologia ferroviaria europea, appartengono senza ombra di dubbio alle navi curiose, se non addirittura futuristiche, per aspetto, forma e funzionamento. Le Cigar Ship furono un banco di prova sperimentale per sviluppare nuove idee nel design navale, soprattutto nella forma delle carene per vincere la resistenza d'attrito al moto; erano navi simmetriche con uno scafo aerodinamico molto affusolato alle due estremità con una prua e una poppa notevolmente appuntite, come mostrato in Figura 1.

Navi che attrassero lo stupore del pubblico e della stampa (Brooman & Reed, 1858a, 1858b, 1858c; Wells, 1860: 26), ma anche lo scetticismo dei tecnici, nonostante fossero un compendio di tecnologie innovative che avrebbero sicuramente attirato l'attenzione di Jules Verne (1828-1905). Una via di mezzo tra il sublime e il ridicolo, così le commentò William Schaw Lindsay (1815-1877) (Lindsay, 1876: 567-571), ma anche «extraordinary ship» a giudizio di Samuel Joseph Mackie (1823-1902), che in un articolo apparso su The Popular Science Review, raccontò gli sviluppi della costruzione navale nel XIX secolo (Mackie, 1865: 1). Il matematico tedesco Wolfgang

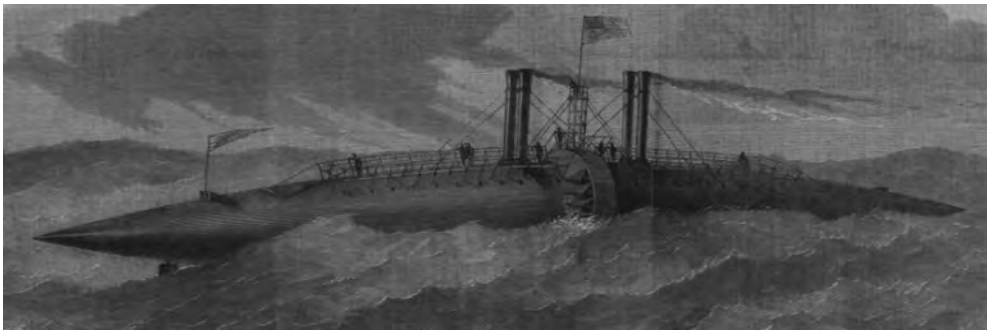


Fig. 1 – La Cigar Ship (The Illustrated London News, November 27, 1858, p. 503).

Haack (1902 - 1994) descrisse, in un articolo sull'aerodinamica pubblicato nel 1941 (Haack, 1941), la forma del fuso come la forma ottimale per offrire una resistenza minima al moto con flussi d'onda radenti la forma dell'oggetto, facendo un confronto con la resistenza al moto dei proiettili e quella delle fusoliere degli aerei supersonici. La loro forma avveniristica fu di esempio per i costruttori di sottomarini che proprio in quegli anni stavano sperimentando questa nuova tipologia di imbarcazioni. I sette sottomarini della serie A-Boats[1] costruiti per la Marina degli Stati Uniti tra il 1900 e il 1903 avevano uno scafo a forma di fuso molto simile alle Winans' Cigar Ship.

Furono costruiti quattro esemplari tra il 1858 e il 1866. Il primo prototipo, chiamato *Winans*, fu costruito a Baltimore nel 1858, i successivi a Londra, San Pietroburgo e Le Havre. Il primo esemplare aveva un diametro di 16 piedi ed era lungo 180 piedi[2], con un dislocamento a pieno carico di 350 tonnellate, di cui 200 di combustibile, carbone (Rogers, 1936: 70). Lo scafo era di forma circolare, costruito in due sezioni simmetriche affusolate agli estremi, dentro le quali erano collocate due caldaie che alimentavano due motori a cilindri con una corsa di 26 pollici, aveva un'elica radiale, una grande ruota idraulica con le pale simili a quella di una turbina, posta a centro nave e protetta da un anello di ferro che avvolgeva lo scafo, abbastanza ingombrante e a discapito della forma aerodinamica dell'imbarcazione. Un solo albero motore spinto dai due motori a vapore garantiva la propulsione dell'imbarcazione. C'era un timone a ciascuna estremità, uno dei quali poteva governare l'imbarcazione. La sovrastruttura era ridotta a un unico ponte, stretto e lungo a centro nave, protetto da una ringhiera, e conteneva le due ciminiere; c'era, inoltre, una postazione di avvistamento, mentre il timoniere sedeva in uno scompartimento a prua dotato di un piccolo oblò. La nave era di ferro e suddivisa in scomparti stagni. Non aveva chiglia, né alberi, né sartiame e nemmeno un ponte come le tradizionali steamers che attraversavano l'Atlantico, ma uno spazio appiattito lungo circa 16 piedi cui erano rivettati quattro divani. Un articolo apparso sul Hunt's Merchants' Magazine and

Commercial Review del 1860 (s.a., 1860) cita anche la presenza di due scialuppe di salvataggio.

Secondo il progettista con questa nave si sarebbe potuta fare la traversata dell'Atlantico in soli 4 giorni, grazie alla forma aerodinamica e alla riduzione dei pesi che rendevano l'imbarcazione più veloce e stabile, grazie anche al tipo di propulsore e alla sovrastruttura minimale. In cuor suo egli sperava che il suo progetto rivoluzionasse i viaggi transatlantici, anche se la sua Cigar Ship poteva imbarcare solo 20 passeggeri. Winans si vantava che la nave sarebbe stata al sicuro dal pericolo di affondare in caso di collisione o altro incidente, ma in realtà le prove in mare dei prototipi costruiti successivamente misero in evidenza problemi di stabilità per effetto del rollio e di scarso utilizzo della sovrastruttura per le onde che si infrangevano sul ponte superiore.

Seppure sembrasse un sommergibile, e di certo influenzò l'immaginario *Nautilus* di Verne, la cigar ship era una imbarcazione che navigava sulla superficie dell'acqua: «Voici, monsieur Aronnax, les diverses dimensions du bateau qui vous porte. C'est un cylindre très-allongé, à bouts coniques. Il affecte sensiblement la forme d'un cigare, formé déjà adoptée à Londres dans plusieurs constructions du même genre» scrisse Verne citando il suo *Nautilus* (Verne, 1871 : 90). Una bizzarra opera di ingegneria navale, dal design accattivante e soprattutto "moderno", ma poco pratico e funzionale.

Un progetto innovativo

Questo progetto suscitò un interessante dibattito tra i Winans e i redattori della rivista Scientific American sui vantaggi e gli svantaggi che il design di questa imbarcazione poteva procurare. Le critiche furono numerose e fu supposto che la nave avrebbe ruotato terribilmente per l'assenza di una chiglia e sarebbe stata ingovernabile[3]; anche il design dello scafo fu oggetto di forti critiche negative[4], soprattutto per la mancanza delle vele, giudicata impropria in caso di guasto ai motori. Sulle pagine della rivista nacque un intenso dibattito; i Winans risposero alle obiezioni dei redattori mettendo invece in luce le soluzioni positive introdotte nel loro progetto[5], tra le quali la costruzione in ferro, con lamiere dello spessore di un pollice, che avrebbe garantito la sicurezza dell'imbarcazione dal punto di vista della resistenza al fuoco. Alla fine l'unica cosa buona che i redattori scrissero fu che i Winans avevano speso solo i propri soldi per quella che la rivista caratterizzò come una follia stravagante[6]. Parimenti, un articolo apparso sulla rivista The Engineer, dal tono piuttosto negativo e sarcastico, racconta la storia del *Winans* ed elenca i numerosi motivi per cui il progetto sarebbe stato destinato a fallire[7]. Nel 1866, la rivista The Engineer riporta un resoconto del varo[8].

Le critiche apparse sulle riviste specialistiche dell'epoca e le deludenti prove in mare indussero i progettisti ad apportare numerose modifiche fino a cambiare le dimensioni dell'imbarcazione. L'ultima versione, la *Ross Winans*, costruita nei cantieri Hepworth, presso l'Isle of Dogs, fu allungata da 235 a 256 piedi, con un diametro di 16 piedi; aveva una sovrastruttura sopra lo scafo lunga 130 piedi e larga 10 piedi,

ed era alimentata da un'elica di 22 piedi di diametro a ogni estremità. Il "piroscafo", perché tale era, fece numerosi viaggi di prova, ma mai una traversata oceanica, e finì in dismissione presso il cantiere navale dei Winans sul Ferry Bar nel porto di Baltimora (Shugg, 1998). Le obiezioni apparse sulle riviste scientifiche Harper's Weekly, The Illustrated London News, Scientific American, Mechanics Magazine e The Engineer sebbene non mettessero in dubbio il design rivoluzionario delle imbarcazioni Winans, non furono avare di critiche, soprattutto perché le navi non sembravano avere alcun reale uso pratico, erano troppo piccole per trasportare molti passeggeri e non avevano dimostrato di poter percorrere lunghe distanze. Nell'edizione del 24 marzo 1866 della rivista Scientific American, a pagina 199, gli editori raccontano la saga delle Winans' Cigar Ship senza venire meno al loro scetticismo ma con un commento interessante sulla fattibilità della forma a sigaro dello scafo per la costruzione di un sottomarino.

Durante la Guerra di secessione americana, i Winans, sospettati di essere simpatizzanti dei Confederati[9], si spostarono in Europa[10]. Nel 1861 fu trovato un battello simile al *Winans*, che era stato, infatti, confiscato per paura che cadesse nelle mani dei Confederati: una "macchina infernale" apparentemente utilizzabile per la raccolta dell'acqua di mare; una specie di imbarcazione-serbatoio, lunga 110 piedi e con un diametro di 16 piedi, divisa in camere stagne e con un alloggio e due cuccette, una torre per un timoniere e un sistema di governo di un timone, ma nessun propulsore (s.a., 1861)[11]. Non ne fu mai compreso il vero utilizzo, ma la somiglianza con il *Winans* era notevole per cui fu denominato *Winans tank*.

Nemo propheta in patria (sua)

In occasione del soggiorno che William Louis Winans (1823 - 1897) fece in Russia furono costruite due imbarcazioni più piccole, una lunga 70 piedi con un diametro di 9 piedi, con una piccola elica posta a poppa sul fondo dello scafo; questo modesto prototipo, del quale Walter Winans (1852 - 1920) scriverà invece in seguito che era lungo 84 piedi e mezzo, con un diametro di otto piedi[12] fu costruito a San Pietroburgo con l'intento di venderlo allo zar (Shugg, 1998). L'occasione che aveva mosso William in Russia era stata quella di contribuire ai lavori ferroviari nello stabilimento Alexandroffsky di San Pietroburgo. Una volta sul posto, William osservò che lo stabilimento era attrezzato per costruire anche imbarcazioni, e probabilmente un primo prototipo di imbarcazioni aerodinamica fu costruito proprio lì (Noskov, 2016: 36-50). Winans contribuì a equipaggiare alcune cannoniere russe (Semmes, 1917: 390) durante la Guerra di Crimea (1853-56), per difendere San Pietroburgo (Saul, 1991: 225-226), e, finalmente, riuscì a proporre al Granduca Konstantin Nicolaevič Romanov (1827 - 1892), ammiraglio generale della marina russa, «una nave corazzata a forma di sigaro a San Pietroburgo, ma i ritardi nella costruzione e nell'approvvigionamento dei suoi motori impedirono le prove in mare fino al 1865» (Kipp, 1970:

236); il progetto era corredato di una ricca documentazione fotografica e fu addirittura costruito un modello in rame della cannoniera a forma di sigaro. La proposta di Winans, che raccolse anche l'interesse della stampa internazionale (Timbs, 1859: 22; Figuier, 1866), fu portata all'attenzione di due commissioni tecniche[13]; si trattava di costruire tre cannoniere, una di 500 tonnellate di dislocamento con due cannoni, una di 1.000 tonnellate di dislocamento con tre cannoni e una grossa nave lunga 504 piedi con un dislocamento di 3.000 tonnellate, armata con sei cannoni.

In un lungo memorandum manoscritto del luglio 1861 dal titolo War Vessels on the Spindle Principle (Noskov, 2016: 40), William Louis Winans discusse i vantaggi delle navi da guerra a forma di cigar boat completandolo di stime dettagliate delle sue caratteristiche quali dimensioni e pesi, e arricchendolo con disegni che ne raffiguravano le cannoniere. La cannoniera da 3.000 tonnellate di dislocamento, secondo le intenzioni del progettista, doveva avere un diametro di 36 piedi, un pescaggio nominale di 21 piedi e sarebbe stata in grado di raggiungere una velocità di 22 nodi; il pescaggio e le prestazioni sarebbe però dipese dallo spessore delle piastre di protezione, variabile da 4 a 21 pollici; la propulsione sarebbe stata garantita da sei doppie caldaie e due motori, uno posto a proravia e uno a poppavia, ciascuno collegato a una grande elica sommersa a ciascuna estremità e l'armamento sarebbe consistito in due artiglierie di piccolo calibro e due di calibro maggiore, dotate di sistema di sollevamento per il tiro, come riportato nel successivo brevetto del 21 febbraio 1865, n. 46516. La cannoniera da 500 tonnellate era più modesta, con quattro doppie caldaie e due motori che azionavano una sola elica a poppa e con solo due cannoni a scomparsa; lunga circa 250 piedi, con un diametro di 20 piedi, avrebbe potuto raggiungere una velocità di 19 nodi.

Il prototipo di cannoniera, costruito con un'elica convenzionale, fu testato sulla Neva nei giorni 1 e 2 novembre 1861 e il giorno 7 dello stesso mese si avventurò fino all'isolotto di Kronstadt, per poi svolgere il giorno successivo prove in mare nel golfo di Finlandia. Winans scrisse che era una nave da guerra di 84 piedi e mezzo di lunghezza e otto piedi di diametro con un'unica elica sottomarina, affermando che i test in mare ebbero esito positivo, tranne qualche difficoltà di governo, quando la nave si muoveva diagonalmente rispetto alla direzione delle onde, principalmente perché il timone era molto piccolo rispetto alle dimensioni dell'imbarcazione. Nondimeno la forma aerodinamica e arrotondata, che deviava la traiettoria dei proietti, rendeva il bersaglio complesso da colpire dal fuoco delle artiglierie nemiche. Il Comitato Scientifico Navale voluto dal Granduca Nicolaevič approvò il prototipo di Winans, ma il Comitato Tecnico di Costruzione Navale, alla luce delle osservazioni raccolte durante le prove in mare, non ne ricavò una impressione favorevole, anche perché, nonostante l'imbarcazione mostrasse prestazioni interessanti, l'elica subì alcuni danni a causa di un incidente occorso in acque poco profonde[14]. Winans, comunque, propose di costruire una flotta di cannoniere, ma il Comitato Tecnico chiese di apportare alcune modifiche al design; in particolare voleva il taglio della parte superiore dello

scafo circolare per abbassare il centro di gravità e creare un ponte superiore per la nave. Winans costruì un secondo prototipo cercando di soddisfare le richieste del Comitato Tecnico, ma problemi di carattere costruttivo lo obbligarono a procrastinare le prove in mare, che iniziarono solo alcuni anni dopo, nel 1865. Le prove in mare diedero tuttavia risultati poco incoraggianti[15] e i russi persero interesse nel progetto Winans e optarono per costruire cannoniere corazzate in stile monitor, navi corazzate per l'impiego fluviale o sotto costa, tuttavia inadatte a partecipare ad azioni in mare aperto per le scarse qualità nautiche e per la modesta velocità di crociera.

L'Esperienza in Francia, 178-179

Un'altra imbarcazione fu costruita da Nillus & Sons nel 1865 in Europa, precisamente a Le Havre: la *Walter S. Winans* (Armengaud, 1867: 146-166), in Figura 2, un «gigantesque cigare en métal, ou plutôt une carotte pointue par les deux bouts, comme on en voit à la porte des débits de tabac» (Figuier, 1866: 178).

La *Walter S. Winans* era lunga circa 72 piedi e con un diametro di 9 piedi e dislocava circa 33 tonnellate. Probabilmente aveva due alberi e forse un bompresso, come un tradizionale piroscafo a propulsione mista, a vapore e a vela (Dodds, 1989). Questa imbarcazione sperimentale aveva un complesso sistema di eliche a sei pale su ciascuna

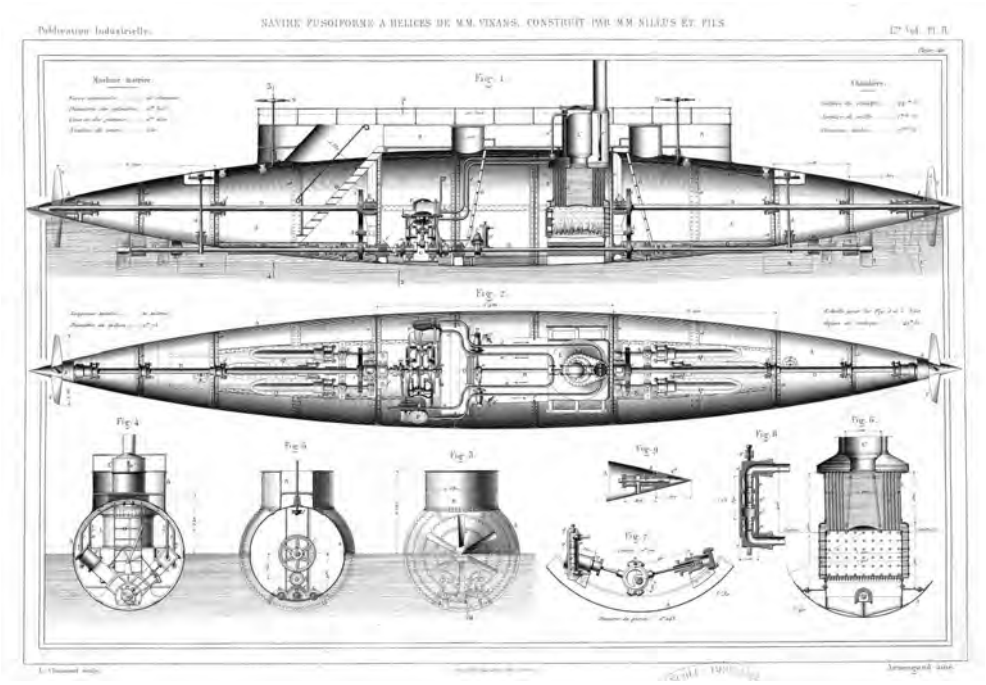


Fig. 2 – Disegno costruttivo della Walter S. Winans (Armengaud, 1867: Planche 11).

estremità dello scafo, con tre alberi di trasmissione ausiliari a ciascuna estremità, due sotto la linea d'asse dello scafo e uno alle estremità, e un meccanismo per comandarle secondo diverse combinazioni di propulsione[16]. Trasportava un carico completo di carbone e la linea di immersione era appena sotto la linea d'asse centrale dello scafo.

Un articolo apparso sulla rivista Scientific American[17] riporta un resoconto del Manchester Guardian che racconta dell'attraversamento del Canale della Manica da Le Havre a Newhaven, avvenuto il 28 marzo 1866 con sette passeggeri a bordo e concluso nel porto inglese nel pomeriggio, e come il giorno successivo la navigazione proseguì sotto costa fino a Dover e Gravesend. L'articolo menziona un'unica elica di poppa a tre pale con un diametro di quattro piedi e dieci pollici, completamente sommersa.

Un articolo apparso sul Norwich Mercury (Palmer, 1889: 319-320) definì l'imbarcazione sgradevole e di aspetto singolare, con quella prua a forma di cono che sporgeva per una certa distanza dall'acqua, e sostenne che i suoi costruttori avevano sacrificato molte qualità proprie di una nave, ad esempio l'abitabilità, le sistemazioni generali e le modalità di attracco, a favore di buone performance in termini di velocità. Il racconto apparso sul quotidiano inglese somiglia molto a un comunicato stampa di Winans, che descrive come la barca si comportasse bene anche in presenza di mare agitato[18]. L'elica propulsiva è descritta in vario modo nella rivista The Engineer[19]: nello stesso articolo della rivista è descritta la propulsione attraverso un'elica ordinaria, un'elica semisommersa e quattro eliche, una su ciascun quarto, e parimenti è descritto il complesso sistema di controllo delle varie combinazioni di eliche[20]. Il propulsore era un motore bicilindrico ad alta pressione, con una caldaia simile a quella del *Ross Winans*.

L'imbarcazione aveva sette scompartimenti interni, tre dei quali erano abbastanza grandi e dotati di un accesso dal ponte. La sala macchine era posta a centro barca, con la caldaia ad alta pressione a poppa e i motori a prua. Una falchetta a forma di ellisse sormontata da una ringhiera circondava il ponte superiore, che aveva una piccola ruota orizzontale a ciascuna estremità, un tambuccio con scale nella cabina di prua e boccaporti cilindrici con scale rispettivamente nella sala macchine e nella cabina di poppa. La parte superiore della caldaia e della ciminiera si elevava sopra il ponte, tra i boccaporti appena a poppa della nave. Nel 1877, la *Walter S. Winans* fu fortemente modificata nei cantieri Day, Summers & Company a Southampton: la sua lunghezza fu più che raddoppiata e il suo diametro triplicato. Per aumentarne la lunghezza, lo scafo fu tagliato in due, fu aggiunto un cilindro di 58 piedi di lunghezza e furono modificati i coni di estremità, fino a raggiungere la misura totale di 151 piedi.

L'Esperienza nel Regno Unito

L'ultimo prototipo di Cigar Ship, in Figura 3, fu varato nel 1866 a Londra. Nell'edizione dell'Harper's Weekly del 23 settembre 1865[21], si ha una prima impressione di quello che sarebbe stato il nuovo progetto di Cigar Ship, anche se i disegni erano già

apparsi sul numero dell'1 giugno 1864 del giornale The Artizan, rivista mensile di arti applicate (s.a., 1864)[22], e citato come *The Latest Yankee Experiment*. Il suo nome era *Ross Winans* ed era una imbarcazione lunga 256 piedi con un diametro di 16 piedi; costruita nei cantieri Hogarth a Cubitt Town, Isle of Dogs (s.a., 1866a), dislocava circa 400 tonnellate. Il varo fu un avvenimento perché era indubbiamente una nave fuori da ogni schema tradizionale[23].

L'imbarcazione aveva una sovrastruttura sopra lo scafo posta a centro barca, lunga 130 piedi e larga dieci piedi e 6 pollici, alta solo 5 piedi sopra la linea di galleggiamento, che si assottigliava a ciascuna estremità. Il motore a centro nave, che funzionava a una pressione di 200 libbre per pollice quadrato, azionava due eliche propulsive, poste a ciascuna estremità, che potevano farle raggiungere una velocità di circa 22 nodi. Era stata progettata con una linea di galleggiamento posta approssimativamente sulla linea centrale della sezione trasversale, anche se a pieno carico avrebbe navigato più in profondità di circa 30 pollici.

La descrizione dello yacht riportata da The Engineer[24] è esaustiva in merito all'allestimento dello yacht. A ciascuna estremità dell'imbarcazione c'era un piccolo scomparto per la testa del timone e gli attrezzi, simile a quello descritto nel brevetto n. 31845 del 26 marzo 1861, e un ripostiglio leggermente più grande. A prua c'erano gli alloggi per gli addetti alla sala macchine (fuochisti, carbonai e macchinisti) per

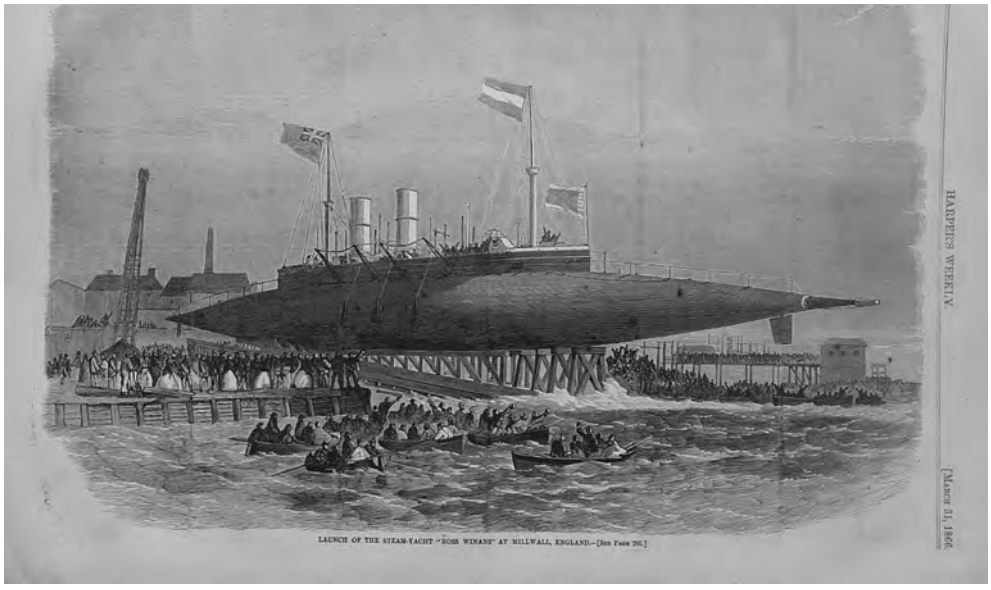


Fig. 3 – Il varo dello yacht Ross Winans, a Londra il 21 febbraio 1866 (Harper's Weekly del 31 marzo 1866, p. 204).

un totale di 14 posti-uomo, il salone e la sala fumatori e poi gli alloggi di rappresentanza del capitano e degli ufficiali di bordo. A poppa c'erano gli alloggi per il resto dell'equipaggio, otto o dieci cuccette, le cabine passeggeri, un altro grande salone, una stanza con tappeti e specchi e due lampadari di cristallo e la salpa ancora; le ancore sono molto simili a quelle descritte nel brevetto n. 31276 del 29 gennaio 1861. Le sale macchine, contenenti quattro caldaie e tre motori a vapore, erano al centro della nave, l'albero di trasmissione correva per tutta la lunghezza dello scafo. Il deposito del carbone poteva contenere 175 tonnellate di combustibile immagazzinate in compartimenti posti sotto il ponte principale. Nel ponte superiore erano alloggiate le scale di accesso al corpo dell'imbarcazione, disposte a prua e a poppa, una cucina e una dispensa, una postazione del timoniere semi-riparata, due alberi, le cui sezioni superiori si prolungavano all'interno del corpo barca. C'erano supporti e gruette speciali per due scialuppe di salvataggio su ciascun lato. La nave fu attrezzata e arredata da Holland & Sons, una delle più grandi aziende di mobili dell'epoca.

La Ross Winans fece numerose prove nel canale di Solent, ma non fece più di uno o due viaggi costieri, senza mai avventurarsi in mare aperto, perché le prove in mare furono un "completo fallimento" (Bowen, 1933) anche a causa di una velocità modesta, in certe condizioni di mare pressoché nulla, così come con mare completamente calmo ma soprattutto in presenza di forte vento (Liggins, 1876: 101). Nel 1873 Charles Carroll Fulton (1815-1883) avvistò la *Ross Winans* entrare nel porto di Southampton notando le eliche a tre pale e menzionò alberi, sartiame e vele (s.a., 1873). La *Ross Winans* e la *Walter S. Winans* rimasero ormeggiate vicino a Southampton per venticinque anni (s.a., 1897) fino alla fine del XIX secolo, quando furono vendute come rottami (Guthrie, 1970).

Pur tuttavia William Louis Winans nel 1893 depositò il brevetto n. 504120, che descrive navi di almeno 600 piedi di lunghezza con un diametro dello scafo non inferiore a 40 piedi, per un *Spindle Shaped Ocean-Steamer* e ciò dimostra quanto ancora fosse vivo l'interesse della famiglia Winans per questo tipo di imbarcazioni. È interessante notare che il brevetto esclude espressamente le torpediniere e imbarcazioni simili e tutte le navi sottomarine. Infatti, i sottomarini furono le sole imbarcazioni che svilupparono il design di Winans per la costruzione degli scafi.

Alcuni anni dopo le idee di Winans trovarono un epigono nella A.M. Perkins & Son di Londra, famosa azienda produttrice di motori a vapore a tripla espansione, che propose di costruire un'imbarcazione lunga 800 piedi, con una larghezza di 40 piedi, con una sovrastruttura piatta e una altezza sulla linea di galleggiamento di 11 piedi, in grado di imbarcare passeggeri, merci varie e 500 tonnellate di combustibile, sufficiente per un tragitto da Liverpool a New York, dotata di ogni comfort e in grado di imbarcare 1.000 passeggeri. La propulsione sarebbe stata garantita da 4 motori indipendenti in grado di erogare una potenza di 12.500 Hp e compiere la traversata in circa 100 ore a una velocità medi di 30 nodi (Lindsay, 1876). Purtroppo non si hanno

notizie sulla realizzazione di un qualche prototipo, ma resta solo un'immagine di uno dei tanti sogni irrealizzati nel XIX secolo.

Quello delle Cigar Ship fu comunque un progetto del tutto stravagante, ma decisamente interessante. Le Cigar Ship avevano, oltre al design dello scafo aerodinamico, una costruzione interamente in metallo, un sistema di ventilazione interna, uno scafo suddiviso in compartimenti, timoni a prua e a poppa, un ponte superiore senza alberi e un sistema di eliche non convenzionale. Le imbarcazioni costruite in Russia, così come quella costruita in Francia, sostituirono la strana elica a centro nave per una migliore manovrabilità dell'imbarcazione con eliche più convenzionali a una o a entrambe le estremità e aggiunsero una tuga chiusa sulla parte superiore dello scafo, per garantire l'accessibilità interna, ma mantennero tutte le altre caratteristiche tecniche della nave originale. La *Ross Winans* mantenne le eliche a poppa e a prua, ma le rese più performanti integrandole nella forma dello scafo. La sovrastruttura fu modificata e divenne più tradizionale; furono aggiunti due alberi per la navigazione a vela, ma tutti i prototipi mantennero le innovazioni di quello originale. Un prototipo con sola propulsione a vela, il *Sokoloff*, uno yacht a vela di 32 piedi di lunghezza, fu varato il 10 giugno 1876 da Thomas Winans (1820-1878) (Robert, 1991: 59). L'imbarcazione aveva la forma classica delle Cigar Ship, con uno scafo in ferro di forma aerodinamica a sigaro e un albero imperniato in grado di piegarsi per evitare fenomeni di ribaltamento. Tuttavia non si hanno notizie certe in merito alle sue capacità nautiche in navigazione (Keith, 1991: 59; Shugg, 1998).

Conclusioni

Le Cigar Ship furono tra le più curiose imbarcazioni progettate e costruite nel XIX secolo, anticipando di molti decenni non solo la costruzione dei sottomarini, ma mettendo in pratica le idee visionarie di progettisti cui la fantasia di certo non mancava. Come ha giustamente osservato l'autore di *Freak Ships* (Rogers, 1936), le imbarcazioni progettate da Winans ricordano e forse anticipano il *Nautilus* di Jules Verne, come confermato anche in (Roscoe and Freeman, 1956), in cui le Cigar Ship sono paragonate al *Nautilus*. Questa affermazione è avvalorata dal fatto che l'effettuazione delle prove in mare di queste curiose imbarcazioni avvenne proprio in Europa nel 1864, durante il periodo in cui Verne stava svolgendo le sue ricerche per scrivere il suo noto libro *Vingt mille lieues sous les mers*, quando le esperienze di Winans erano alla ribalta della stampa, tanto che appare plausibile che questi esperimenti non possano essere sfuggiti all'attenzione dello scrittore francese. In effetti, Verne dice nel romanzo che il *Nautilus* "ha una forma molto simile a un sigaro, una forma già adottata a Londra in diverse costruzioni dello stesso tipo." Il *Nautilus* di Verne aveva circa le stesse dimensioni e le stesse proporzioni delle Cigar Ship di Winans, una forma a sigaro aerodinamica e possedeva un'elica sovradimensionata, una caratteristica esplicitamente sottolineata da Verne. D'altra parte, il *Nautilus* di Verne condivideva

solo alcune caratteristiche con i sottomarini contemporanei che erano progettati in quegli anni. Basta confrontare le Cigar Ship di Winans con le foto di un modello accurato che mostra il *Nautilus* esattamente come descritto da Verne. Nondimeno, le Cigar Ship di Winans aprirono nuovi orizzonti progettuali, mettendo in luce caratteristiche idrodinamiche, strutturali e motoristiche sicuramente innovative, anche se i prototipi realizzati non ebbero pari fortuna.

Come la storia ci insegna, non sempre alcune idee progettuali innovative sono accettate al momento della loro progettazione e realizzazione, dovendo confrontarsi con realtà consolidate, teorie e modelli di riferimento sperimentati, e tecniche costruttive convenzionali. Ma questo è un problema insito nello sviluppo delle scienze e delle tecniche, che soprattutto in campo navale ha proceduto per paradigmi progettuali e tecniche costruttive acquisite da secoli di esperienza di cantiere, con una costante e continua sedimentazione di idee, progetti e realizzazioni. Le innovazioni dell'Ottocento, l'ingresso della propulsione a vapore, del propulsore a elica, della costruzione in ferro, avvenute nel secolo d'oro della costruzione navale, hanno infatti convissuto per decenni con le tecniche costruttive tradizionali, tanto che le prime navi a vapore hanno "gareggiato" con le più affermate imbarcazioni a vela come gli East Indiamen, i clippers, i brigantini, gli schooner, e i giganteschi windjammers che solcarono i mari fino agli anni venti del XX secolo. Per questo motivo non stupisce oltremodo che progetti innovativi come le Cigar Ship abbiano trovato interesse e curiosità ma non applicazioni pratiche su larga scala. Troppo innovative per l'epoca, navi utopiche che potevano essere apprezzate solo da "visionari" come Jules Verne.

Bibliografia

Armengaud, J.E. 1867. *Publication industrielle des machines, outils et appareils les plus perfectionnés et les plus récents Employés dans les Differentes Branches de l'industrie francaise et etrangère. Tome Dix-septième, Navire fusoiforme a hélice.* Paris: chez l'auteur.

Bowen F.C. 1933. *A Hundred Years of Towage: A History of Messrs. William Watkins, Ltd., 1833-1933*. Gravesend: Gravesend and Dartford Reporter.

Brooman R.A., Reed E.J. (edited by). 1858a. The American Cigar Steam-ship. The Mechanic's Magazine, LXIX July 3rd - December 25th, 540. London: Robertson, Brooman, and Co.

Brooman R.A., E.J. Reed (edited by). 1858b. The American Cigar Steamer. The Mechanic's Magazine, LXIX, July 3rd - December 25th, 594. London: Robertson, Brooman, and Co.

Brooman R.A. & E.J. Reed (edited by). 1858c. The Latest Steam-Ship Novelty. The Mechanic's Magazine, LXIX July 3rd - December 25th, 519-520. London: Robertson, Brooman, and Co.

Burden Proudfit M. 1904. *Henry Burden. His life and a History of his inventions compiled from the public press*. Troy New York: Pafraet Press.

Dodd G. 1867. *Railways, Steamers and Telegraphs: A Glance at Their Recent Progress and Present State*. London and Edinburgh: W. & R. Chambers.

Dodds R. 1989. Ross Winans and his Amazing Cigar Ship. The Weather Gauge, XXV(2), 5-7.

Figuier L. 1866. Le vaisseau-cigare. In: *L'Année scientifique et industrielle*, Dixième année, 178-179. Paris : Libraire de L. Hachette et Cie.

Fletcher R.A. 1910. *Steam-ships, the story of their development to the present day*. London: Sidgwick & Kackson, Ltd.
Friedman N. 1995. *U.S. Submarines Through 1945: An Illustrated Design History*. Annapolis: Naval Institute Press.
Guthrie J. 1970. *Bizarre Ships of the Nineteenth Century*. London: Hutchinson.
Haack W. 1941. Geschoßformen kleinsten Wellenwiderstandes. Bericht 139(1) der Lilienthal-Gesellschaft, 14-28.
Keith R.C. 1991. *Baltimore Harbor. A Picture History*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
Kipp J.W. 1970. *The Grand Duke Konstantin Nikolaevich and the Epoch of the Great Reforms, 1855-1866.* Pennsylvania State University, Ph.D.
Liggins H. 1876. On Double and Triple Cylindrical Vessels, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, XVII, 101-102.
Lindsay W.S. 1876. *History of Merchant Ship and ancient Commerce*. IV. London: Sampson Low, Marston, Low, and Searle.
Mackie S.J. 1865. Extraordinary Ships, *The Popular Science Review,… edited by Henry Lawson*. IV. London: Robert Hardwicke.
Noskov V.V. 2016. The End of the Winans Brothers' Railroad Enterprise in Russia. In: *New Perspectives on Russian-American Relations* (W.B. Whisenhunt and N.E. Saul Eds.). New York: Routledge, Taylor & Francis.
Palmer F.D. 1889. Yarmouth Notes. 1830-1872. *Collated from the File of the Norwich Mercury*. Great Yarmouth: J. Buckle.
Robert C. 1991. *Baltimore Harbor. A Picture History*. Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press.
Rogers S. 1936. *Freak Ships*. New York: Greenberg Publisher.
Roscoe T., Freeman F. 1956. *Picture History of the U.S. Navy from Old Navy to New, 1778 to 1897*. New York: Charles Scribner's Sons.
Saul N.E. 1991. *Distant Friends: the United States and Russia, 1763-1867*. Lawrence: University Press of Kansas.
Semmes J.E. 1917. *John H. B. Latrobe and His Times, 1803-1891*. Baltimore: The Norman Remington Company.
s.a. 1807. The Cigar ship. In: *Engineering Facts and Figures, an Annual Register of the progress in Mechanical Engineering and Construction*, 303-312. London and Edinburgh: A. Fullarton & Co.
s.a. 1860. *Hunt's Merchants' Magazine and Commercial Review*, 42(III), 395.
s.a. 1861. Correspondence regarding the detention of Winans tank. Official records of the Union and Confederate Navies, October 20, Series I, 6, 346.
s.a. 1864. The Winans's Yacht. The Artizan, June 1, 2(18), Third Series, 121-122.
s.a. 1866a. A visit to Winans' "Cigar" Ship. In: *American Artisan and Patent Record: A Weekly Journal of Arts, Mechanics, Manufactures, Mining, Engineering and Chemistry, and Repertory of Patents*, III, New Series, May to November 1866, 116-117. New York: Brown, Coombs & Co.
s.a. 1866b. Launch of the Cigar Steam Yacht, Rose Winans. Hunt's Yachting Magazine, XV, 130-134. London: Hunt and Co.
s.a. 1873. The Winans Cigar Steamer. Sacramento Daily Union, 46(7080), December 12, 1.
s.a. 1897. To sell the "Cigar" Yachts; big sums spent by the Late W.L. Winans on His Experiments. New York Times, November 14, 13.

Shugg W. 1998. The Cigar Boat: Ross Winans's Maritime Wonder. Maryland Historical Magazine, 93(4), 428-442 ; cfr. anche The Winans Cigar Steamer, Sacramento Daily Union, 46(7080), December 12, 1, 1873.

Timbs, J. 1859. The american cigar steam-ship. In: *The Year-book of Facts in Science and Art*. London: W. Kent & Co.

Verne J. 1871. *Vingt mille lieues sous les mers.* Paris: J. Hetzel & Cie.

Wells D.A. (edited by). 1860. *Winans' Steamer, in Annual of Scientific Discovery, or, Year-book of Facts in Science and Art for 1860*. Boston: Gould and Lincoln.

Note

1. L'*Adder Class Submarine Torpedo Boat* fu costruito da J.P. Holland (1840-1914) a Elizabethport, nel New Jersey, primo di sette sottomarini della classe Plunger (Friedman, 1995).
2. Winans papers collection (MS 916), Box 2 V.38 Thomas Winans, Correspondence Sent, 1859-1866 The H. Furlong Baldwin Library, Maryland Historical Society.
3. *Scientific American*, 1958, October 23, XIV(7), 53. Nell'articolo il redattore cita che un'imbarcazione simile era stata costruita da Mr. Henry Burden (1791-1871), a Troy, N.Y. (Burden Proudfit, 1904, 59-60).
4. *Scientific American*, 1859, January 29, XIV(21), 170.
5. *Scientific American*, 1958, December 4, 1858, XIV(13), 102; 1859, January 1, XIV(17), 137.
6. *Scientific American*, 1958 November 6, XIV(9), 65-66; 1858, December 11, XIV(14), 109-110; 1859, January 1, XIV(17), 137; 1859, January 22, XIV(20), 162; 1859, February 5, XIV(22), 175; 1859, February 19, XIV(23), 192.
7. *The Engineer*, 1860, February 17, 110.
8. *The Engineer*, 1866, February 23, 135.
9. *Scientific American*, 1861, June 1, IV(22), New Series, 338.
10. *Scientific American*, 1862, November 29, VII(22), New Series, 342.
11. Cfr. Correspondence regarding the detention of Winans tank. In: *Official records of the Union and Confederate Navies* , 1861, October 20, 6, Series I, 346.
12. Lettera di William L. Winans del 26 dicembre 1861 indirizzata a Cassius M. Clay.
13. «Viaggio di prova del piroscafo per sigari di William Winans a Kronstadt», *Morskoĭ sbornik* (Giornale marittimo), 1861, LVI(12), s. ob. 167.
14. *The Engineer*, 1866, February 23, pp. 135-136.
15. I risultati ottenuti nei test non diedero esito favorevole, *Morskoĭ sbornik*, 1863, LXVII(8), 246.
16. *The Engineer*, 1866, February 23, 135-136.
17. *Scientific American*, 1866, May 5, XIV(19), New Series, 301.
18. Frank Bowen riporta che il rimorchiatore *Annette* attraversò la Manica fino a Havre per trainare la *Walter S. Winans* da lì al molo West India Dock (Bowen, 1933).
19. *The Engineer*, 1866, February 23, 135-136.
20. Il brevetto n. 58.743 del 9 ottobre 1866, descrive alcune migliorie apportate al progetto.
21. *Harper's Weekly*, 1865, September 23, IX(456), figura a p. 597, testo a p. 606.
22. Cfr. The Winans's Yacht, The Artizan, June 1, 1864, N. 18, Vol, 2, Third Series, pp. 121-2.
23. *The Saturday Reader, March, 1866, to September, 1866*. 1866, July 7, 278-279. Montreal: W.B. Cordier and Co.
24. *The Engineer*, 1866, February 23, 1866, 135-6; 1866, March 2, 153-4; 1866, March 9, 171-2, 180. Cfr. anche (Bowen, 1933, pp. 68-74) e (Dodd, 1867, pp. 209-210).

Gennaro Miccio

Il restauro del Complesso di San Pietro a Corte a Salerno

The San Pietro a Corte building renovation in Salerno

Sommario
Nel 2010 si è concluso il restauro di uno dei più importanti complessi architettonici di Salerno, conosciuto con la denominazione di San Pietro a Corte. Uno degli elementi che caratterizzano la sua eccezionalità è costituito soprattutto dalla circostanza che uno spazio limitato di superficie racchiude una singolare stratificazione architettonica di oltre venti secoli dello sviluppo urbano della città: a iniziare dalle tracce di murazioni greche, per proseguire con una consistente parte di un complesso termale romano del II secolo d.C., un sepolcreto cristiano di V secolo, delle aule cultuali dei primi secoli del cristianesimo; sono inoltre presenti cicli pittorici di affreschi di fattura bizantina del XII secolo, un tratto consistente della reggia longobarda di Arechi II di VIII secolo, le trasformazioni barocche del ‘700, nonché i più recenti riusi del secolo scorso. Sono tutti elementi ora perfettamente leggibili e che ripropongono un palinsesto di incredibile successione scorrendo verso l’alto i circa venti metri di costruito. Il restauro raccontato in questo contributo è durato quasi quaranta anni: avviato negli anni ’70 del secolo scorso con interventi di recupero archeologico, subì una brusca interruzione in conseguenza del terremoto del 1980 e, solo nei primi anni del nuovo secolo, fu oggetto di un decisivo impulso verso la definizione della sistemazione finale degli spazi restaurati e della loro destinazione più appropriata.

Abstract
In 2010 renovation of one of the most important architectonic building of Salerno, San Pietro a Corte, was accomplished. The building is unique. In a limited area it contains a singular architectonical stratification of more than twenty centuries of the urban growth of the town. In San Pietro a Corte there are some Greek walls, a frigidarium of a Roman bath from the 2nd century A.C., a Christian burial ground from the 5th century, a cult classrooms from the first centuries of Christianity, a cycles of Byzantine frescoes from the 12th century, a substantial stretch of the Lombard

palace of Arechi II from the eighth century, which was transformed in the eighteenth century according to the Baroque style, and the situation in the last century. All these elements are perfectly readable and they reproduce a palimpsest of incredible sequence looking upwards the about twenty meters of built. The renovation lasted about thirty-five years. It started in the 1970, when some archeological recovery interventions began and where stopped in 1980, due to earthquake of *Irpinia*. In the first years of the new century it received a decisive impulse: the final organization of restored spaces and their most appropriated destination were defined. The delicacy of the site and the particularity of the found elements required an appropriate and specific restoration for each element, requiring from time to time the use of specific techniques and appropriate technologies. The description of this renovation, which tells the history of Salerno, represents also the history of the various techniques and methods of restoration used in at the beginning of XXI century and describes an interesting example of synergy between many expertise: archeology, historical and artistic restoration, architectural and structural recovery, architectural restoration, museum exhibition in a limited space subjected to various kinds of constraints. The importance of historical and documentary investigation must not be forgotten.

Introduzione

Il restauro del complesso monumentale genericamente identificato come San Pietro a Corte ha una storia lunga e complessa durata circa quaranta anni, dai primi anni ’70 del Novecento ad aprile 2010. Durante questo lungo periodo si sono avvicendati nella sua conduzione più responsabili: all’ultimo di questi, chi scrive, si sono posti problemi e scelte di non semplice soluzione dovuti essenzialmente alla evoluzione di criteri, metodologie, tecniche e tecnologie di restauro dal 1970 al 2010.

Di questo complesso monumentale si avevano solo scarse tracce documentali (Acocella, 1968) e lo stato degli immobili individuati da queste documentazioni non lasciava prefigurare quanto poi è stato portato alla luce. L’ambito urbano in questione è il cuore antico di Salerno, che una volta veniva identificato con l’appellativo “i Barbuti”, forse identificativo dei Longobardi che nell’ottavo secolo avevano preso possesso della città. Il tessuto edilizio di questa parte di Salerno, nel Novecento, era costituito da ampie *insulae*, con una edilizia di impronta medioevale fortemente modificata nel tempo da un susseguirsi di pregevoli palazzi nobiliari seicenteschi e settecenteschi, fortemente degradati nei secoli successivi, insistenti sul disegno urbano della città romana. L’interesse della allora Soprintendenza Archeologica di Salerno Avellino e Benevento e della Soprintendenza ai Monumenti per la Campania, affiancate dall’Ente Antichità e Monumenti di Salerno, si era focalizzato su quella parte del quartiere che, anche dai riferimenti toponomastici, rimandava all’insediamento longobardo, nello specifico alla presenza della reggia che il principe Arechi

II (734-787) aveva deciso di costruire al centro di quella città che, nel suo disegno di riunificazione dei ducati della *Longobardia Minor*, sarebbe stata la nuova capitale del principato all'indomani del suo insediamento a Benevento. Come riportano alcune cronache (Delogu, 1977; Amarotta, 1989). Arechi II non si limitò al riassetto e al rinforzo del castello e della *turris maior* già presenti sul monte Bonadies, ma avviò un ridisegno urbano dell'abitato incentrato intorno alla sua residenza, il *palatium*, completo di Cappella palatina, collocato al centro della città, in posizione dominante e sopraelevato rispetto alle costruzioni preesistenti, con ampi loggiati aperti verso l'esterno e spazi di rappresentanza.

I primi interventi conoscitivi

Sulla scorta delle indicazioni documentali degli anni '70 del secolo scorso furono avviate indagini e saggi conoscitivi su un aggregato edilizio costituito soprattutto da una chiesa, da sempre conosciuta con la titolazione di San Pietro a Corte, la cui pianta è riportata in Figura 1 e il cui aspetto era allora fortemente caratterizzato da una impronta tardo settecentesca con rifacimenti successivi. La chiesa è posta a un livello sopraelevato di quasi cinque metri rispetto a quello stradale e vi si accede salendo una scala, in Figura 2, che immette in un'aula di altezza di circa 15 metri, considerevole per un luogo di culto in quel periodo di non rilevante importanza. Al di sotto della chiesa, al livello del Vicolo Adelperga, erano allora visibili dei locali di scarsa rilevanza: un forno con una panetteria, una rivendita di carboni, la base del campanile della chiesa di S. Pietro, anch'essa occupata dal carbonaio e una cappellina dedicata a S. Anna, che successivamente si scoprì essere una parte residua di un ambiente più ampio, in parte ceduto al carbonaio. Tutt'intorno alla chiesa c'erano anonime costruzioni destinate a modeste abitazioni e veri e propri condomini che ne occludevano le facciate. Attraverso una serie di accordi con privati, fu possibile acquisire solo alcune di queste costruzioni e superfetazioni ai piani superiori addossate al lato settentrionale della chiesa, il forno e la rivendita di carbone a quota stradale.

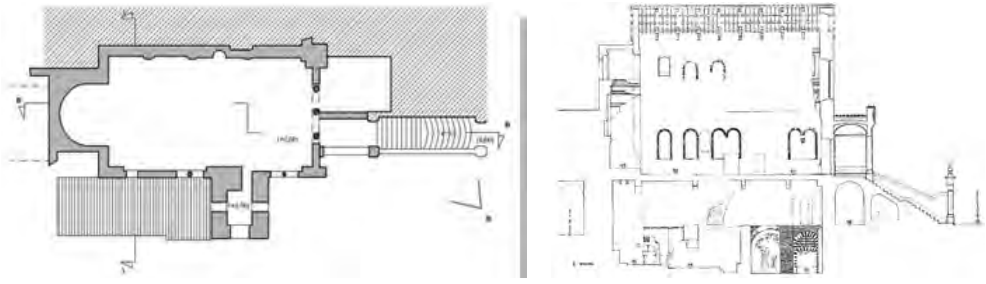


Fig. 1 – Complesso di S. Pietro a Corte: pianta della Chiesa di San Pietro a Corte prima degli interventi (a sinistra); sezione longitudinale del complesso (a destra).

Una accurata indagine archeologica, eseguita contestualmente ai primi lavori di consolidamento e restauro avviati negli anni ’70, mise in luce l’esistenza di numerose stratificazioni antecedenti l’epoca longobarda: fu rinvenuto un complesso termale di I e II secolo d.C. e, al di sotto del pavimento dei locali terranei dalle cui murazioni perimetrali si potevano scorgere anche consistenti parti di *opus reticulatum*, emersero tracce di affreschi la cui presenza era già documentata da relazioni di visite pastorali degli arcivescovi di Salerno sin dalla fine del settecento (Peduto et al., 1988). Questa scoperta spinse gli archeologi ad approfondire le indagini a una maggiore profondità che si attestò a circa cinque metri al di sotto del piano di calpestio dei locali terranei, dove furono ritrovati consistenti frammenti della pavimentazione in marmo delle terme e una lapide dell’anno 497 (Peduto, 1988). Tutto lasciava supporre che quelle indagini avrebbero portato alla scoperta di ulteriori e più consistenti ritrovamenti, ma intervenne il disastroso terremoto dell’Irpinia del 23 novembre del 1980, a seguito del quale fu necessario dedicarsi alla chiesa superiore, quella di S. Pietro a Corte, che aveva subito dei danni e necessitava di interventi urgenti.

Fig. 2 – Complesso di san Pietro a Corte: la scala di accesso alla chiesa (a destra); il campanile (a sinistra) (cartolina d’epoca, anni ’60?).

I lavori nella chiesa consentirono di evidenziare la presenza, al di sotto degli intonaci e dell’assetto tardo barocco, di una inedita muratura di epoca chiaramente longobarda, che dal piano di calpestio della chiesa disegnava l’intera sagoma dell’edificio, almeno per tre pareti, mentre la muratura meridionale era di fattura seicentesca. La muratura longobarda era leggibile per quasi l’intera altezza dell’edificio; al disopra di essa era visibile una sopraelevazione successiva, forse di epoca normanna, con la presenza anche di capriate lignee ascrivibili a quello stesso periodo, venute alla luce dopo la rimozione della grande tela della seconda metà del ’700 che ricopriva l’intera aula. Ancora più interessante fu il ritrovamento dell’elegante loggiato che occupava la facciata occidentale, manomessa dalla costruzione della scala che consentiva l’accesso alla chiesa una volta che l’antica Cappella Palatina, divenuta poi chiesa di S. Pietro a Corte fu separata dal resto della reggia, poi occupato da abitazioni. La scoperta del loggiato restituì anche le colonne e i capitelli longobardi, che hanno riproposto l’imponenza del complesso così come veniva descritto nei documenti, tra i quali il *Chronicon Salernitanum* [1].

Le scoperte degli anni ’70, gli interventi di recupero e le campagne conoscitive degli anni ’80 resero evidente l’evoluzione dell’intero complesso. Gli ambienti ipogei rinvenuti a circa 5 metri al di sotto del piano stradale erano in origine il *frigidarium* di un ampio complesso termale di età imperiale di II secolo d.C. (Galante, 1988), utilizzato in piccola parte nel V sec. come necropoli dalle prime comunità cristiane a Salerno e in gran parte come aule cultuali paleocristiane, in Figura 3 a sinistra. La completa liberazione dell’ipogeo dai materiali di crollo mise in luce anche un ciclo di affreschi di fattura bizantina del XII secolo raffiguranti la Madonna Eleusa e alcuni santi, tra i quali si riconosce San Giacomo, mentre un altro pannello affrescato con la Madonna Regina con Bambino e una santa è posto al di sopra di un altare. Altri frammenti più o meno consistenti lasciano supporre che buona parte dell’aula fosse decorata. L’intero spazio era coperto da ampie volte e l’accesso originariamente doveva avvenire direttamente dalla strada; il succedersi di alluvioni e crolli innalzò il piano stradale fino alla quota attuale, per cui l’ingresso ai luoghi di culto fu assicurato da una scala; in Figura 4 è riportata una pianta dei luoghi.

Fig. 3 – Complesso di san Pietro a Corte; sepolture e aula cultuale paleocristiana (a sinistra); bifora settentrionale (a destra) (Foto di G. Miccio 2010).

Su questi antichi ambienti ipogei Arechi II decise di innalzare la nuova reggia longobarda, facendo piantare nove pilastri in mattoni al di sopra delle mura romane, sfondare le volte delle terme e collocare la quota pavimentale del suo palazzo al di

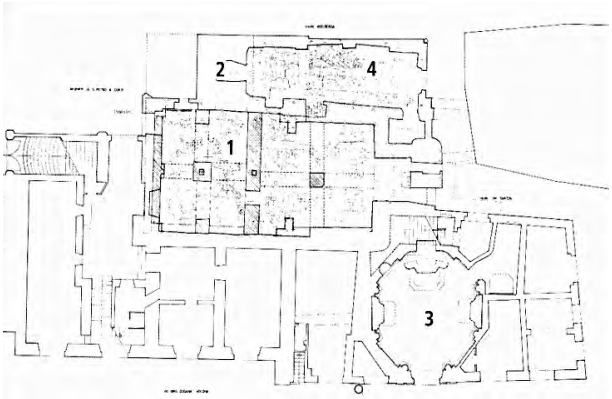


Fig. 4 – Pianta del piano terra/interrato. Interrato: 1) frigidarium, utilizzato in epoca paleocristiana come necropoli nella parte a sinistra e come aula cultuale dedicata a San Pietro e Paolo in quella a destra; 2) tepidarium, poi riempito e utilizzata in età tardo medioevale come Chiesa del Salvatore con accesso dalla via dei Mercanti. Piano terra: 3) campanile; 4) cappella di Sant’Anna.

sopra di queste ultime (Fiorillo, 2013), si veda Figura 5. Sulle antiche cappelle paleocristiane, nelle quali era ancora possibile il culto, fece corrispondere il disegno della Cappella Palatina (Peduto, 1983; Amarotta, 1989), posta in posizione elevata con il calpestio, a circa 5 metri al di sopra dell'attuale piano stradale e quindi a quasi 10 metri da quello del tessuto stradale romano e delle terme. Sulle mura antiche furono innalzate quelle longobarde per la realizzazione della reggia, murature che è stato possibile solo ora mettere in evidenza. Si tratta di un rarissimo esempio di alzato murario di fattura longobarda, in Figura 6, che definisce uno spazio architettonico concluso evidente e ancora perfettamente funzionante. La Cappella conservò l'antica dedicazione ai Santi Pietro e Paolo, in segno della adesione dei Longobardi al cristianesimo e l'abside conservò un disegno quadrangolare, modificato in catino absidale solo nel ridisegno seicentesco; nel XIII secolo, in età normanna, veniva ancora usata quale sede del Parlamento e vi si celebravano alcune pubbliche cerimonie, tra le quali il conferimento delle lauree della Scuola Medica Salernitana. Il resto della reggia doveva continuare verso il mare e probabilmente lo si ottenne superando con archi e volte il preesistente tessuto stradale che rimase inalterato; è stato possibile individuarne solo alcune tracce all'interno di abitazioni private e negozi che nel tempo hanno occupato gli spazi dell'antico palazzo.

Fig. 5 – Complesso di San Pietro a Corte, zona ipogea: uno dei pilastri in mattoni pieni realizzati da Arechi II per innalzare la quota della reggia (Foto di G. Miccio 2010).

Fig. 6 – Complesso di S. Pietro a Corte: interno della Cappella Palatina, murature longobarde (Foto di G. Miccio 2010).

Dal XVI secolo si determinò il graduale decadimento del complesso: gli ambienti ipogei erano già stati interessati da crolli ed erano abbandonati; la parte superiore degli ambienti termali sottostanti la Cappella Palatina fu occupata da locali commerciali; dal lato del vicolo fu edificata la Cappella di S. Anna addossata alla parete settentrionale delle terme. Nel 1576 l'abate Decio Caracciolo separò la Cappella Palatina dal resto della reggia, trasformando la prima in chiesa barocca e cedendo a privati il resto; in quel periodo si dovette realizzare anche la scala esterna per dare un accesso autonomo alla nuova chiesa.

Dalla conoscenza alla fruizione

Nel 2005 si iniziò a mettere insieme i risultati raggiunti fino a quel momento per restituire alla pubblica fruizione quelle testimonianze storiche tanto diverse tra loro, riportate alla luce con metodi e tecniche le più varie possibili, cercando di rendere il tutto coerente con una logica di leggibilità formale.

Le modalità di questo restauro protrattosi nel tempo avevano lasciato non pochi frammenti sparsi in svariate collocazioni, alcune allora anche ignote, e l'esigenza di rimettere insieme questi "cocci" poneva non pochi problemi per una idonea ricollocazione e risistemazione dell'insieme. Si cominciò a lavorare con l'obiettivo di rendere visibili e visitabili gli ambienti ipogei e le fondazioni della struttura longobarda con un percorso che parte dalla cappella di S. Anna, anch'essa restaurata negli affreschi dedicati alle storie della Santa, e che continua con un circuito di passerelle e di affacci che consente dall'alto di poter visionare tutti gli ambienti ipogei, risolvendo il problema dell'inaccessibilità delle quote pavimentali, per preservarne la conservazione. Ovviamente, fu ripristinata l'unitarietà della chiesetta di S. Anna eliminando la divisione dalla parte occupata dalla rivendita di carbone e anche questa operazione restituì una gradevole sorpresa: al di sotto dello spessore della parete abbattuta, in corrispondenza della volta superiore, vennero fuori tracce che rivelarono la presenza di un affresco, posto al centro della volta, raffigurante La natività della Vergine, opera di un autore del XVIII secolo (Peduto, 1989), successivamente restaurata; sulla parete verticale corrispondente al muro settentrionale delle terme romane fu rinvenuto un affresco raffigurante S. Anna con la Vergine bambina e due santi, la cui datazione è collocabile al XVI secolo. Al di sopra di questo affresco il restauro evidenziò la traccia di uno spiovente a due falde, residuo di una protezione dagli agenti atmosferici, che fece ipotizzare che originariamente il dipinto fosse una edicola votiva collocata sulla facciata, allora in esterno e protetta, appunto, dallo spiovente; con l'accrescersi del culto l'edicola fu trasformata in una chiesetta dedicata alla santa. Il fondo di questa chiesetta, dotata anche di cicli pittorici di apprezzabile qualità, era costituito dalla base del campanile che, una volta inserito nel contesto della chiesetta, fu utilizzato come absidiola della stessa.

A proposito del campanile, l'attuale configurazione ne rende difficile la datazione. La prima citazione di un campanile per la Chiesa di S. Pietro è nel *Chronicon salernitano* [1], in cui è scritto che fu fatto erigere da Guaimaro II, principe longobardo di Salerno (901-946) e che era «di mirabile bellezza» (Carucci, 1981). Proprio questa valutazione aveva lasciato qualche dubbio sull'autenticità dell'attuale campanile: infatti, dagli scavi archeologici è emerso che il muro meridionale poggia direttamente su quello delle terme romane e, quindi, può essere considerato coerente con la costruzione della Cappella Palatina; l'altro muro a nord, invece, è fondato a una quota superiore rispetto a quella delle terme e della strada romana, su uno strato alluvionale di limo e sabbia; inoltre, la consistenza muraria sembra essere più simile

a quella dell'adiacente Palazzo Fruscione, la cui datazione non è precedente al XII secolo. Pertanto, il campanile «di mirabile bellezza» dovette subire un cedimento o un crollo e al suo posto fu realizzato quello attuale, non prima del XII secolo, ma prima della costruzione della chiesetta di S. Anna, nel XVI secolo (Carucci, 1981).

I primi interventi di sistemazione

Come accennato, la chiesetta di S. Anna è stata oggetto del primo tentativo di conferire fruibilità al complesso. Fu chiuso l'ingresso alla bottega, ripristinando al suo posto la finestra quadrilobata simile a quella presente sulla stessa parete e lasciata alla parte in uso al culto; furono restaurati gli stucchi e gli affreschi e fu realizzato un solaio di calpestio leggermente distanziato dal muro delle terme per lasciare visibile l'*opus reticulatum* che caratterizza quest'ultimo. L'ingresso originario alla chiesetta è stato risistemato e costituisce oggi l'ingresso per la visita; sulla muratura in comune con l'area termale sono stati ritrovati due vani di comunicazione, uno dei quali doveva essere l'ingresso all'aula cultuale dopo l'innalzamento del piano stradale, che sono stati utilizzati per creare un percorso interno allo spazio termale costituito dalle passerelle e affacci di cui si è detto. Questi primi interventi si conclusero già alla fine degli anni '90 del secolo scorso.

La ricerca e la raccolta dell'apparato decorativo della chiesa

Nel frattempo chi scrive ha cercato di rintracciare e recuperare quanto rimasto dell'apparato decorativo della chiesa, rimosso negli anni '80 per consentire l'intervento conoscitivo sulle parti murarie. Furono recuperate tre tele del XVII secolo che dovevano trovarsi al di sopra degli altari laterali della chiesa; di una quarta tela si è persa traccia ben prima del terremoto. È stata restaurata la grande pala lignea del 1592, attribuita a Giovan Bernardo Lama e raffigurante una Madonna con Bambino e santi e Decio Caracciolo, l'abate che ordinò il rimaneggiamento del complesso (Braca et al., 2000). Furono anche individuati, ma non ricollocati, una grande cantoria e un organo in legno un tempo poste a ridosso della controfacciata.

Altro materiale lapideo fu rintracciato all'interno di alcuni depositi del comune situati nel vicino Palazzo Fruscione, lì collocato dalle imprese che avevano eseguito gli interventi del dopo terremoto e poi da tutti dimenticato. I pezzi, che facevano parte degli altari laterali della chiesa, furono recuperati, ricomposti e restaurati. In una pubblicazione del direttore dei lavori degli anni '80 si accenna a generiche "suppellettili sparse in vari depositi" e si fa anche cenno alla grande tela, opera di F. Pennino (1784-1796), che decorava la finta volta in legno al di sopra dell'intera aula (della quale esisteva un'unica immagine fotografica presso l'archivio fotografico della allora Soprintendenza alle Gallerie della Campania a Capodimonte, che la riproduceva ancora in sito, ridotta a brandelli): "di quest'opera abbiamo perso le tracce". La tela, invece, a seguito del terremoto fu rimossa e affidata in deposito a un restauratore di

Padova, Serafino Volpin, con l'incarico di restaurare la sola parte centrale, mentre le parti laterali e i raccordi semicircolari alle pareti furono considerati privi di interesse o forse non recuperabili dato il loro stato di degrado e, pertanto, destinati a rimanere in eterno deposito. In realtà, il restauratore restaurò la tela centrale, ma conservò anche i frammenti di quelle laterali, ospitando tutto in deposito in attesa che si completasse il restauro dell'aula.

Altro materiale variamente collocato era costituito dalle centinaia di frammenti musivi recuperati dallo scavo archeologico eseguito nell'ipogeo, provenienti dal crollo delle strutture superiori e appartenenti alle decorazioni pavimentali e parietali della Cappella. Si tratta di elementi fondamentali per capire l'importanza di quel luogo così riccamente decorato e per la comprensione delle vicissitudini dell'intero territorio. Il materiale, scavato dal Centro Universitario di Archeologia Medioevale dell'Università di Salerno che per anni lo aveva conservato nei suoi depositi, fu recuperato e restaurato e i frammenti musivi, alcuni dei quali contengono tessere ricoperte con foglia d'oro protetta da pasta vitrea, tecnica tipicamente carolingia, furono oggetto di attento studio a seguito del quale fu possibile ricomporre i disegni originari dei vari pannelli che decoravano pareti e pavimenti. È stato anche ricomposto il frammento del fregio marmoreo facente parte del *titulus*, l'iscrizione che decorava la parte terminale delle pareti interne della Cappella e che riporta la dedicazione dettata da Paolo Diacono in esametro invocante la protezione divina sul principe Arechi.

Non è stato possibile recuperare le quattro colonne lignee scolpite e intagliate che probabilmente dovevano essere poste ai lati del trono, vendute improvvidamente nel 1886 al Victoria and Albert Museum di Londra.

Le scelte finali

Nel 2005 rimanevano ancora completamente irrisolta la definizione finale da conferire alla Cappella Palatina e la questione dell'esposizione del materiale ritrovato: la soluzione suggerita dagli specialisti di settore era lasciare lo spazio vuoto, per offrire una lettura delle fasi storiche attraverso la presentazione delle murature, collocando in un ennesimo museo di problematica attrattività, o peggio in deposito tutto il materiale reso disponibile dai ritrovamenti e dalle varie faticose ricerche.

Andavano poi completate e definite, sia formalmente che staticamente, alcune parti della Chiesa di San Pietro che erano state portate alla piena visibilità. Infatti, a seguito delle modificazioni barocche, l'abside, pur insistendo sulla sottostante abside quadrangolare dell'aula cultuale, era stata ridotta a forma semicircolare tagliando i due spigoli con la parete e completando la parte interna semicircolare con un sottile rivestimento in muratura. Anche la copertura dell'abside, originariamente di forma semicilindrica a seguire l'andamento dell'arco trionfale, era stata modificata a forma di catino semisferico, tagliando la parte culminante dell'arco.

La chiesa

La volta originaria è stata facilmente riproposta, ma dell'originario andamento rettangolare delle pareti dell'abside si è preferito lasciare visibili unicamente i tratti murari di base coincidenti con la sottostante abside della cappella paleocristiana, leggibili anche nell'ambiente superiore, mentre sono stati eliminati i raccordi semicircolari. La messa in evidenza della struttura in mattoni dell'arco trionfale, seppur tagliato superiormente, ha determinato una leggera modifica dell'andamento della tela successivamente ricollocata, che non si raccorda più a semicirconferenza con la sottostante muratura, ma prosegue in orizzontale. La parete di fondo dell'abside fu interessata da interventi di consolidamento strutturale, anche con integrazioni murarie, stante il notevole e preoccupante stato di degrado e di dissesto statico causato dalle numerose superfetazioni che ancora sono addossate all'esterno di questa parete e che il Comune non è stato in grado di eliminare, nonostante la dimostrazione che erano il risultato di interventi abusivi, poi anche condonati, perdendo così l'ennesima occasione di restituire alla collettività testimonianze importanti e uniche della propria storia, a favore della salvaguardia di pochi interessi privati. Gli interventi di consolidamento dell'abside e le integrazioni murarie sono tutti chiaramente leggibili grazie alla diversa composizione dei materiali introdotti. La parte di muratura sovrastante la bifora sulla parete settentrionale, murata per motivi di tenuta statica, fu oggetto di un intervento di consolidamento con l'inserimento nella muratura superiore di barre in fibra di carbonio per garantire una migliore distribuzione dei carichi al di sopra della finestra; furono poi restaurate la colonnina, la sua base e il capitello, che erano fortemente inclinati, e alla fine di tali interventi sono stati liberati i due archi, scoprendo una decorazione del sottarco a fasce policrome, come mostrato in Figura 3, al centro.

Per definire lo spazio interno della Chiesa è stato deciso di privilegiare la lettura delle murature delle tre pareti che presentano la tipologia costruttiva longobarda, trattandosi dell'unico alzato che definisce una simile architettura che si conosca, non solo nella Longobardia Meridionale; pertanto queste tre pareti sono state lasciate completamente libere da ogni aggiunta o sovrapposizione, denunciando anche la sopraelevazione successiva individuabile dal cambio di tessitura muraria e dalla presenza delle monofore superiori. Per quanto riguarda la parete meridionale, costruita presumibilmente con l'intervento avviato nel 1576 dall'abate Decio Caracciolo per separare la Cappella Palatina dal resto della reggia, è stata ripresa la decorazione barocca superstite e si è approfittato di questa diversità per completarne l'allestimento con la collocazione di due altari recuperati dai depositi comunali di cui si è detto, mentre un terzo altare, quello di migliore fattura, è stato montato al centro dell'aula in posizione avanzata rispetto all'abside per conferire una degna e coerente collocazione alla importante tavola lignea cinquecentesca di Giovan Bernardo Lama. Le altre tele recuperate sono state collocate sulla parete meridionale.

Rimaneva da risolvere il problema di come definire la chiusura superiore dell'aula della Chiesa. L'idea dei progettisti degli anni '80 e '90 era quella di lasciare le nuove capriate metalliche e la struttura della falda in lamiera grecata a vista; successivamente, quando fu fatto presente che era stata individuata la tela del settecento che sembrava dispersa, gli specialisti decisero di collocare solo la parte centrale della tela, lasciando perdere le cornici esterne e i raccordi a lunetta con le murature, giudicati di non buona qualità. Nel 2004 chi scrive si recò a Padova presso il laboratorio di restauro per verificare direttamente lo stato dell'arte e, con il restauratore Volpin, decise di srotolare le decine di rotoli e di ricomporre l'enorme puzzle della tela sulla grande aia antistante il laboratorio. Nonostante lo stato di degrado dell'intera opera, conseguente alla esposizione ai danni del dopo terremoto e alla lunga giacenza in deposito, si optò di accantonare la proposta di tela isolata posta al centro di uno spazio costituito da parti di capriate e di restaurare l'intera opera. Il 28 giugno 2005, completati i lavori di consolidamento e restauro murario, la tela fece ritorno al suo sito originario, riportata e rimontata su un supporto in legno dallo stesso restauratore che l'aveva rimossa nel lontano 1981.

Altra scelta di non semplice soluzione ha riguardato la nuova pavimentazione. Quello rimosso era un pavimento moderno costituito da piastrelle di cemento o in cotto smaltato, che non consentivano una loro giustificabile ricollocazione. Quindi, in assenza di qualunque preesistenza di riferimento, bisognava pensare a un nuovo materiale che fosse conciliabile con le varie parti architettoniche e artistiche presenti nell'aula e che fosse in grado di adeguarsi alle scelte architettoniche già operate in occasione degli interventi dei decenni precedenti, quali, ad esempio, quella di creare due gradini, uno subito dopo l'ingresso e un secondo in prossimità dell'abside. È stata scelta una pietra leccese di colore neutro, la pietra di Soleto, che bene si intona con le murature longobarde che rappresentano la presenza preponderante degli interni; la pietra di Soleto, dai contorni e dalla superficie non perfettamente rifiniti, di forma rettangolare ma senza un disegno particolare, è stata messa in opera con gli elementi disposti a seguire la direzione parallela ai gradini.

Nello spazio retrostante l'altare maggiore, delimitato dall'abside, sono stati collocati alcuni dei pannelli con le ricostruzioni dei mosaici recuperati dal materiale di crollo e per i quali è stato possibile ricostruire i disegni e i motivi geometrici originali, nonché la teca contenente la parte di fregio con il frammento del *titulus* di Paolo Diacono.

L'ultimo punto era il superamento della barriera architettonica rappresentata dalla scala di accesso: non è possibile collocare un elevatore, stante l'assenza di spazi esterni e l'impossibilità di occupare ambienti all'interno del complesso. Una possibilità, rimasta tale, era stata individuata da chi scrive e consisteva nell'utilizzo dell'ascensore collocato all'interno dell'adiacente Palazzo Fruscione nell'ambito di un intervento condotto dal Comune di Salerno, proprietario del complesso normanno di

XII secolo: la comunicazione con la Chiesa di San Pietro a Corte sarebbe stata possibile mediante la realizzazione di un sovrappasso al di sopra del Vicolo Adelberga, che avrebbe messo in comunicazione un balcone a primo piano del Palazzo Fruscione con il terrazzo di copertura della Cappella di S. Anna che presenta la traccia di un vano occluso di comunicazione con l'interno dell'aula della chiesa.

Il loggiato

Molto più complessa è stata la sistemazione della parete occidentale, quella che ha restituito l'interessante loggiato, gravemente manomesso dalla creazione dell'accesso indipendente alla Cappella quando questa fu separata dal resto della reggia. In quella fase, infatti, si rese necessario un ingresso diretto dalla strada: il primo intervento è del 1567: l'abate Caracciolo realizzò un ingresso che attraversava lo spazio all'interno del primo intercolumnio; il secondo intervento avvenne alla fine del '700 a opera del rettore Pignatelli, che allargò la rampa della scala e la porta di ingresso sacrificando la prima colonna, come mostrato in Figura 1. La scala fu anche arricchita da un protiro coperto da una voltina a padiglione che copre all'esterno le ghiere degli archi del loggiato.

La prima ipotesi di sistemazione formulata era quella di eliminare il protiro per evidenziare anche dall'esterno quello che restava del loggiato, ma questa soluzione non avrebbe risolto l'assenza della prima colonna del loggiato, né l'impossibilità di liberare la successiva colonna superstite, ancora inglobata parzialmente nella muratura a causa del suo pessimo stato di conservazione, con ampie e gravi lesioni verticali, perdita di parti marmoree e con il taglio del capitello per collocare l'architrave del portone; nemmeno sarebbe stato possibile rendere visibile dall'esterno la restante parte del loggiato, a causa dell'edilizia privata che aveva occupato quasi la metà della facciata. Si è deciso di privilegiare la lettura di tutte le varie fasi costruttive, consolidando dall'alto la voltina del protiro, staccandola dalla muratura della facciata, e confermando anche la copertura a doppia falda che reca sul timpano lo stemma signorile, in Figura 7.

All'interno sono state liberate dalla muratura di chiusura le due ghiere dei primi due archetti del loggiato, restituendo delle fasce decorate del tutto simili alle decorazioni ritrovate al di sotto dei due archi della bifora della facciata settentrionale, in Figura 7. Per restituire un senso anche formale alla parte di loggiato privata della prima colonna, quest'ultima è stata ricostruita con il suo pulvino in calcestruzzo, così come la muratura sottostante, che in origine costituiva la balaustra del loggiato. È stato infine lasciato un vano largo circa 1,20 m tra la nuova colonna e quella preesistente per l'ingresso. Il portone di ingresso è stato rifatto simile al precedente, collocato verso il profilo esterno della facciata, apribile nel senso dell'uscita, in maniera da occupare lo stesso spazio del precedente, in coerenza con le dimensioni del protiro e nel rispetto delle norme di sicurezza. Dall'esterno, quindi, è rimasto inalterato l'aspetto

Fig. 7 – Complesso di S. Pietro a Corte, facciata: esterno, protiro (a sinistra); interno, durante i lavori (Foto di G. Miccio, 2010).

conseguente alle trasformazioni barocche, con le ricostruzioni facilmente distinguibili, mentre dall'interno è stata privilegiata la lettura del disegno del loggiato e la visibilità dell'impianto arechiano. La rimozione dei gradini e del sottostante strato di riempimento ha messo in evidenza le due distinte fasi costruttive della gradinata, separate da una sottostante parete intonacata che delimitava una prima rampa verso sud che doveva servire per occupare unicamente lo spazio dell'intercolumnio tra la prima e la seconda colonna; successivamente, con il rifacimento settecentesco, la larghezza della rampa è stata raddoppiata verso settentrione ed è stata raddoppiata anche la larghezza dell'ingresso alla chiesa con la eliminazione della colonna e di parte della muratura. Questa lettura degli eventi viene anche confermata dalla diversa struttura della volta che sorregge la scala, visibile dall'interno dell'adiacente condominio: la volta che sorregge la metà verso sud è a crociera, mente la metà del lato verso nord è a botte.

A proposito del condominio adiacente la Chiesa di San Pietro a Corte, è doveroso segnalare lo stretto rapporto di collaborazione che si instaurò durante il corso di questa ultima fase dei lavori. In particolare, fu consentito di effettuare saggi sulla parte interna alla corte del condominio, una volta appartenuta alla chiesa, per verificare la continuazione del loggiato, visibile solo dall'interno della chiesa, anche sulla parte esterna della stessa facciata. I saggi effettuati hanno mostrato la presenza di archi in muratura di laterizio del tutto simili a quelli presenti all'interno e la prosecuzione del loggiato lungo questa facciata in direzione sud. Purtroppo buona parte della loggia arechiana è stata distrutta per fare posto a finestre, balconi e rampe di scala del condominio, ma i rilievi consentono di affermare che il loggiato appartenente alla reggia si sviluppava verso il mare superando almeno quatto isolati preesistenti e tre assi viari sottostanti. Ulteriori saggi eseguiti sulla facciata, sul lato orientale dell'insula,

hanno messo in luce e confermato la presenza di un ulteriore colonnato in adiacenza alla cappella del SS. Salvatore, posta in adiacenza della parete sud dell'ipogeo sulla strada parallela a quella in cui si trova il complesso attuale, verso il mare. Inoltre, gli scavi eseguiti al di sotto del pavimento della chiesetta avevano già restituito il *tepidarium* delle terme, alla stessa quota del *frigidarium*: anche questo ambiente è stato sistemato e messo nelle condizioni di poter essere ispezionato sollevando alcuni pannelli del pavimento della chiesetta del Salvatore.

Bibliografia

Acocella N. 1968. Le origini della Salerno medievale negli scritti di Paolo Diacono. Rivista di Studi Salernitani, 1, 23-68.

Amarotta A.R. 1989. Le fonti nella ricerca storica: il caso di S. Pietro a Corte Rassegna Storica Salernitana, 51

Braca A., Carafa R., Pasca M. 2000. *Il centro storico di Salerno: chiese, conventi, palazzi, musei e fontane pubbliche*. Roma: Scienze e Lettere.

Carucci A. 1981. *La chiesa più antica di Salerno: l'ecclesia Dei Genitricis.* Salerno: s.n.

Delogu P. 1977. *Mito di una città meridionale: Salerno (Sec. VIII-IX).* Napoli: Liguori Editore.

Fiorillo R. 2013. Dalla Ecclesia Di Socrates all'aula della Scuola Medica Salernitana. in Salerno. In: *Una sede ducale della Langobardia meridionale* (a cura di P. Peduto, R. Fiorillo, A. Corolla). 53-68. Spoleto: Fondazione Centro Italiano di Studi sull'alto medioevo.

Galante M. 1988. Un accesso alla storia di Salerno: stratigrafia e materiali dell'area palaziale longobarda. 3. Le epigrafi. Rassegna storica salernitana, NS, 10(5), 42-45.

Peduto P. 1988. Chiesa di San Pietro a Corte. In: *Passeggiate salernitane. 3*. (a cura di E. Alfinito e A. de Martino). 20- 26. Salerno: Arti Grafiche Boccia.

Peduto P., Romito M., Galante M., Mauro D., Pastore I. 1988. Un accesso alla storia di Salerno: stratigrafie e materiali dell'area palaziale longobarda. Rassegna Storica Salernitana, 10.

Peduto P. 1989. Un sito urbano molto antico e una polemica prematura. Rassegna Storica Salernitana, 51.

Webgrafia

[1] Chronicon salernitanum
http://rm.univr.it/didattica/fonti/anto_cam/chrosalern/1-10chrosalern.htm#1-10

Ilaria Giannetti, Stefania Mornati

Fondazioni pneumatiche in Italia: sperimentazione e sicurezza in cantiere sulle sponde del Tevere

Pneumatic foundations in Italy: technical experimentation and safety on the Tiber's banks construction sites

Sommario
Il contributo affronta l'applicazione delle fondazioni pneumatiche tra XIX e XX secolo, con lo scopo di inquadrare la sperimentazione italiana, ancora trascurata dalla recente letteratura, nella storia dell'ingegneria internazionale. Attraverso l'indagine della manualistica storica in lingua italiana e di fonti di archivio, lo studio si concentra sull'evoluzione della tecnologia. Gli argomenti sono approfonditi attraverso il caso studio delle fondazioni pneumatiche dei muraglioni del Tevere a Roma. Per la costruzione dei muraglioni (1876-1926) i metodi di fondazione tradizionali sono, da subito, ritenuti inadatti allo scopo, in termini di stabilità della struttura, di tempi e di costi: nel 1878 è proposto l'uso di fondazioni ad aria compressa con cassoni metallici e, nel 1882, l'adozione di questa tecnologia, ancora pionieristica in Italia, è dichiarata obbligatoria per tutto il tratto dei muraglioni, completati negli anni '20 del '900. Lo studio costituisce gli esiti di una prima ricognizione sulla preziosa documentazione conservata nell'Archivio dell'Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano, nell'ambito di un accordo di ricerca tra il Dipartimento di Ingegneria Informatica e Ingegneria Civile (DICII) dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" e l'Archivio di Stato di Roma.

Abstract
The contribution addresses the application of pneumatic foundations, between the 1800s and 1900s. The Italian experimentation, still neglected from recent literature, is framed in the history of international engineering. Through the investigation of Italian manuals and archive sources, the study focuses on the evolution of the construction processes and on the working conditions and risks on the construction site. The topics are explored through the case study of the foundations of the Tiber walls in Rome. For the construction of the walls (1876-1926), the traditional foundation methods were immediately considered unsuitable for the purpose, in terms of stability of the structure, time and costs: in 1878 the use of compressed air foundations

with metal caissons was proposed and, in 1882, the adoption of this technology, still pioneering in Italy, was declared mandatory for the entire section of the walls, completed in the 1920s. The study is based on the documentation of the Archives of the *Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano*, as part of a research agreement between the Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering (DICII) of the University of Rome Tor Vergata and the State Archives of Rome.

Introduzione

Nel XIX secolo, la veloce espansione della ferroviaria e delle infrastrutture idrauliche delle grandi città porta un rapido sviluppo delle tecniche di fondazione. La necessità di uno spazio di lavoro all'asciutto, per la costruzione di fondazioni in scavi profondi invasi dalle acque, introduce in cantiere una serie di procedimenti, più o meno complessi, che sfruttano la compressione o la rarefazione dell'aria.

Dopo i metodi avventurosi, dei quali si ha notizia fino dal XIII secolo (Franzius,1898), la prima soluzione efficace è rappresentata dalla "campana da palombaro" proposta dall'ingegnere inglese John Smeaton (1724-1792) nel XVIII secolo come attrezzatura di scavo. Una campana di ferro, di circa 2,50 m di diametro, aperta alla base, è portata in sovrappressione per isolarne, dall'acqua, l'interno: equipaggiata da un sistema di pompe, la campana consente agli operai di scavare all'asciutto a profondità molto limitate, per il tempo molto ridotto dipendente dell'esaurimento dell'ossigeno.

Tra gli anni '40 e gli anni '50 dell'Ottocento, gli ingegneri francesi e inglesi si cimentano continuativamente sullo scavo in presenza di acqua, per l'estrazione mineraria e per la realizzazione delle fondazioni profonde dei ponti. Prendono forma due metodi alternativi: il "*vacuum method*", basato sul processo di depressurizzazione per l'affondamento di pali cavi (Pott, 1843), e il "*plenum method*", basato sulla sovrappressione della camera di scavo (Triger, 1841; Hughes, 1851). Quest'ultimo, inizialmente applicato ai pozzi minerari, si sviluppa nella nota tecnologia delle fondazioni pneumatiche o ad aria compressa.

"Aria compressa" o "aria rarefatta"?

Nel 1841, l'ingegnere minerario francese Jacques Triger (1801-1867) presenta all'*Académie des Sciences* un resoconto sull'impiego dell'aria compressa per lo scavo di un pozzo minerario nei depositi alluvionali della Loira (Triger, 1841). Il procedimento consiste nell'uso di un tubo di ferro che, aperto alla base e chiuso in testa, è portato in sovrappressione per consentire di ricavare, al suo interno, una camera di lavoro di circa un metro di diametro. Mentre gli operai scavano, il tubo affonda per gravità. Il tubo è formato da anelli sovrapposti ed è caratterizzato dalla presenza di due diaframmi orizzontali che, ciascuno dotato di un passo d'uomo, costituiscono

due camere isolate: quella superiore, funzionante come camera di compensazione o di equilibrio, è dotata di una valvola di sicurezza per controllare la pressione dell'aria nella camera di scavo posta inferiormente.

Due anni più tardi, nel 1843, il fisico inglese Laurence Holker Potts (1789–1850) brevetta il sistema delle cosiddette "fondazioni in aria rarefatta" [1]. La tecnica è suggestivamente descritta, in lingua italiana, nel 1873, nel capitolo "Fondazioni tubulari mediante il vuoto" della dissertazione esposta da Giovanni Battista Bonino per ottenere il diploma di laurea di ingegnere civile: «Se un palo cavo aperto alla sua estremità inferiore e chiuso per la sua estremità superiore, vien collocato verticalmente su un terreno bagnato e pel fondo superiore si fa comunicare l'interno del tubo con una macchina pneumatica in moto, il palo s'affonda per la pressione esterna e per lo smovimento del terreno sottostante al palo prodotto dall'entrare precipitoso dell'acqua all'interno del palo stesso» (Bonino, 1873). La rarefazione dell'aria all'interno del tubo genera un improvviso ingresso di acqua e di materiali dell'alveo: lo "scalzamento" ne permette la discesa per gravità, anche con l'aiuto di pesi sovrapposti. Dopo un primo affondamento, conseguente all'estrazione dell'aria, all'interno del tubo è ripristinata la pressione normale mentre, attraverso apposite pompe, si aspirano i detriti; si procede ripetendo le operazioni in successione fino al raggiungimento della profondità voluta; il tubo è, quindi, riempito di calcestruzzo. Il procedimento incontra il favore degli ingegneri e dei costruttori dell'epoca e, tra il 1849 e il 1850, è applicato alla costruzione delle fondazioni dei grandi ponti riportati in Tabella 1.

Nel 1850, il metodo di Potts è adottato per la costruzione delle fondazioni del ponte sul fiume Medway a Rochester, nel Kent, affidata all'impresa Fox & Henderson. Il metodo si rivela un fallimento: è infatti impossibile affondare i pali nel terreno roccioso dell'alveo, caratterizzato anche dalla presenza di antiche fondazioni in muratura. L'ingegnere dell'impresa, John D'Urban Hughes (1807-1874)[2], propone di adottare un processo molto simile al "metodo Triger" (Hughes, 1851) che prevede la presenza degli operai all'interno della camera di scavo, ricavata nel tubo

Tab. 1 – Applicazioni del sistema Potts a grandi ponti (1849-50).

Anno	*Ponte*	*Ingegnere*
1849	Britannia	Stephenson
1849	Conwy	Stephenson
1849	Black Potts	Brunel
1849	Benha	Stephenson
1849	Neuville-sur-Sarthe	Fox
1850	Rochester	Hughes

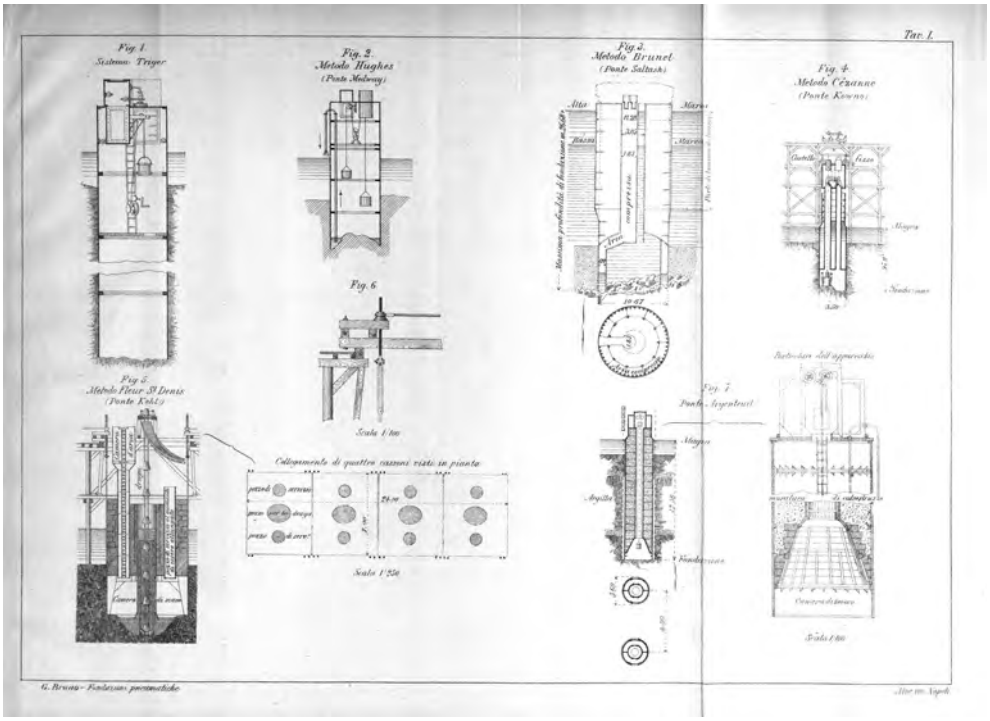


Fig. 1 – Successivi perfezionamenti del sistema Triger tra il 1850 e il 1870 (Bruno, 1895).

in sovrappressione. La soluzione di Hughes introduce alcune migliorie al metodo dell'ingegnere francese, in particolare riguardo la forma delle camere di compensazione e integra l'invenzione di Potts: la fase di scavo in aria compressa si alterna alla depressurizzazione della camera di lavoro; l'acqua entra nel tubo con il processo detto *water inflow*, scalzandone la base e contribuendo al suo affondamento per gravità (M'Alpine, 1868). Il metodo Hughes, più efficiente e versatile del Potts che è applicabile solo in particolari tipologie di terreno, diviene quindi lo standard per lo scavo delle fondazioni profonde dei ponti; negli anni '50 e '60, il sistema è perfezionato da successive modifiche, introdotte nell'uso. Un interessante quadro sinottico, prodotto alla fine del XIX secolo, è riportato in Figura 1.

Tra le modifiche tecnologiche più significative, si distingue l'uso di cassoni rettangolari per la realizzazione delle camere di scavo proposto dall'ingegnere francese Edouard Fleur Saint-Denis nel 1859. I cassoni, portati in sovrappressione, comunicano con le camere di compensazione e con l'esterno attraverso tubi per il passaggio dei materiali e degli operai. Negli anni successivi, l'uso dei cassoni si afferma con la costruzione di grandi viadotti e infrastrutture idrauliche. Alcuni esempi di applicazioni del sistema Triger e dei suoi sviluppi ai grandi ponti sono riportati nella Tabella 2.

Tab. 2 – Applicazioni del sistema Triger e dei suoi sviluppi ai grandi ponti (1850-65).

Anno	*Ponte*	*Sistema*	*Ingegnere*
1850	Rochester	Fondazioni tubolari	Hughes
1855	Torino-Novara	Fondazioni tubolari	Murray
1859	Royal Albert, Saltash	Fondazioni tubolari	Brunel
1859	Kowno	Fondazioni tubolari	Cézanne
1859	Khel	Cassoni pneumatici	Fleur Saint-Denis
1861	Argenteuil	Fondazioni tubolari	Castor
1863	Piacenza	Cassoni pneumatici	Biadego
1864	Mezzanacorti	Cassoni pneumatici	Cottrau

In Italia

In Italia, la tecnologia dello scavo in aria compressa è introdotta negli anni ’50 del XIX secolo dalle grandi imprese, francesi e inglesi, coinvolte nella costruzione della rete ferroviaria nazionale (Abita e Morganti, 2021). Il metodo si sviluppa, con il significativo contributo delle imprese e degli ingegneri italiani, solo a partire dagli anni ’70.

Per la realizzazione delle fondazioni profonde dei ponti della linea ferroviaria Torino-Genova (1848-1853), è l’impresa Fox & Henderson ad applicare la tecnologia per la costruzione degli attraversamenti dei torrenti Stura, Mallon, Orco e Agogna: qui, le fondazioni tubulari all’aria compressa permettono di raggiungere profondità superiori a 10 m, con velocità di scavo variabili, in ragione della natura dei terreni, da 0,20 a 0,60 m per ora.

Negli anni ’60 la costruzione dei grandi ponti sul Po, affidata a imprese e ingegneri italiani, determina un significativo sviluppo della tecnica: tra il 1863 e il 1864, la costruzione delle fondazioni del viadotto sul fiume Po a Piacenza è diretta dall’ingegnere Giovanni Battista Biadego (1850-1925) che ricorre all’uso dei cassoni metallici unici, di dimensioni 5 m · 11 m, per la realizzazione delle camere di scavo (Biadego, 1886). Al ponte di Piacenza, inaugurato nel 1865, segue la costruzione di tre grandi ponti sul Po, tutti caratterizzati dallo scavo delle fondazioni in aria compressa: il ponte di Mezzanacorti (1865-66), con cassoni di dimensioni 15 m · 5,60 m e una capacità di sterro di circa 6 m^3/h (Malézieux, 1874: 331), il ponte di Pontelagoscuro e il ponte di Borgoforte.

L’Impresa Industriale Italiana Costruzioni Metalliche-IIICM, diretta dall’ingegnere italiano Alfredo Cottrau (1838-1898), appaltatrice delle tre grandi opere, si specializza nell’applicazione della tecnologia, contribuendo alla sua diffusione sul territorio nazionale.

I muraglioni del Tevere a Roma (1878-1885)

Nell'ultimo ventennio del XIX secolo, la costruzione degli argini murari del Tevere nel centro di Roma richiede lo studio di particolari opere fondali. L'elaborazione del progetto esecutivo, nonché la supervisione dei cantieri, sono affidati all'Ufficio Speciale per la Sistemazione del Tevere, una costola del Genio Civile di Roma, istituita allo scopo nel 1876 (Giannetti e Casini, 2021).

I metodi tradizionali, recinti e aggottamenti, sono ritenuti inadatti, sino dai primi cantieri, per le scarse profondità raggiunte dallo scavo, da 4 a 5 m sotto il livello di magra[3]. Nel 1877 l'uso di fondazioni ad aria compressa con pile tubolari è applicato dall'IIICM per le strutture in alveo del ponte metallico di Ripetta.

Nel 1878, la tecnologia dello scavo in aria compressa è quindi proposta dall'impresa Campos per la costruzione delle fondazioni dei muraglioni in località Regola, subappaltando la realizzazione dei cassoni alla stessa IIICM[4].

Secondo il progetto, nel tratto tra il fabbricato dei "Cento Preti" e "l'Ospizio Bambino Gesù" si devono eseguire, col sistema ad aria compressa, quattro piloni di 6 m · 6,5 m, posti a distanza di 8 m, con profondità costante di 6,6 m dal livello di magra, come mostrato nella Figura 2. I cassoni, in Figura 3, ricalcano le dimensioni planimetriche dei piloni, con un'altezza di 3 m; ciascun cassone, realizzato in scampoli di lamiera uniti da ferri piatti, presenta una coppia di tubi, di 90 cm di diametro, che collega la camera di scavo alla camera di compensazione.

Secondo la procedura proposta, durante lo scavo, sul «cielo dei cassoni si andrà costruendo la muratura ordinaria di tufo e malta di calce e pozzolana, all'aria libera»[8]; in questo modo, il peso della muratura, facilita il progressivo affondamento dei cassoni.

Il cantiere si avvia il 6 agosto del 1882; i primi 57 metri, in corrispondenza della Villa Farnesina, in sponda destra, si concludono il 15 novembre dello stesso anno, come mostrato nel profilo in Figura 4.

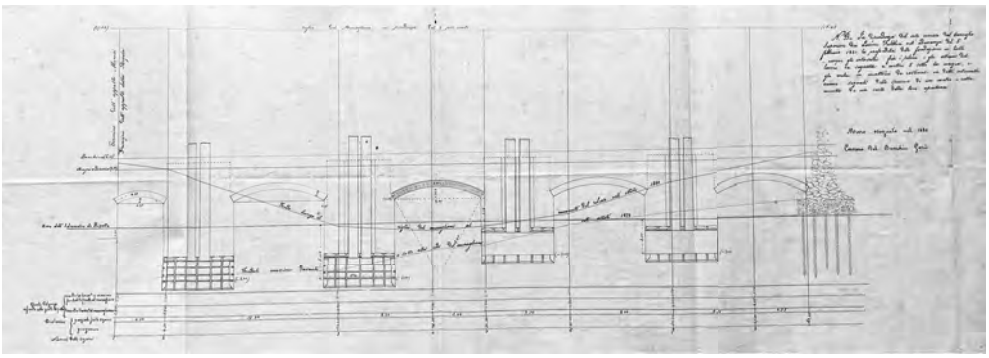


Fig. 2 – Progetto delle fondazioni dei muraglioni del Tevere in località Regola con cassoni ad aria compressa, 1878 (ASR, USTAR, I versamento, b. 61).

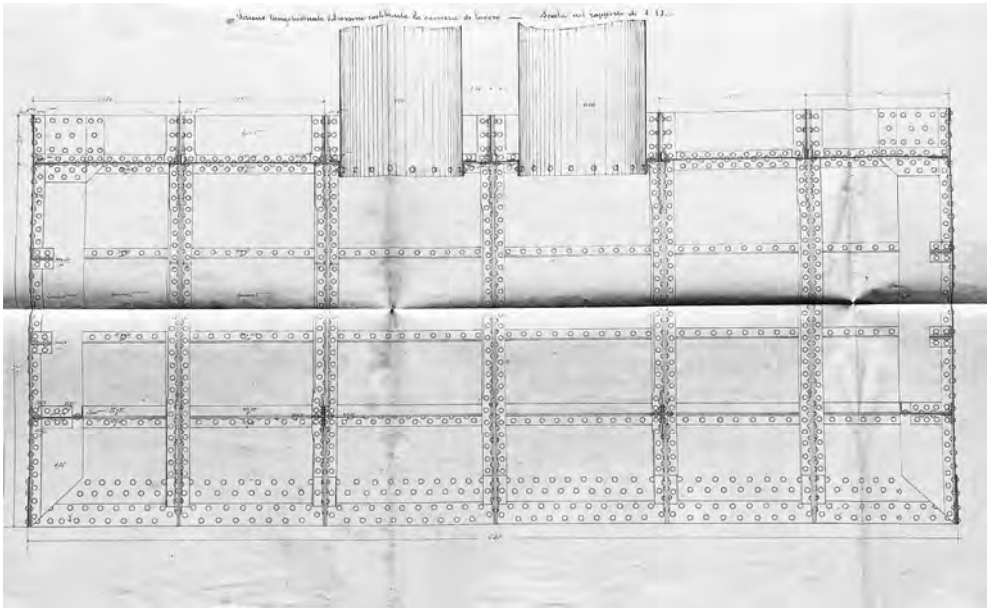


Fig. 3 – Progetto delle fondazioni dei muraglioni del Tevere in località Regola, dettaglio del cassone metallico, 1878 (ASR, USTAR, I versamento, b. 61).

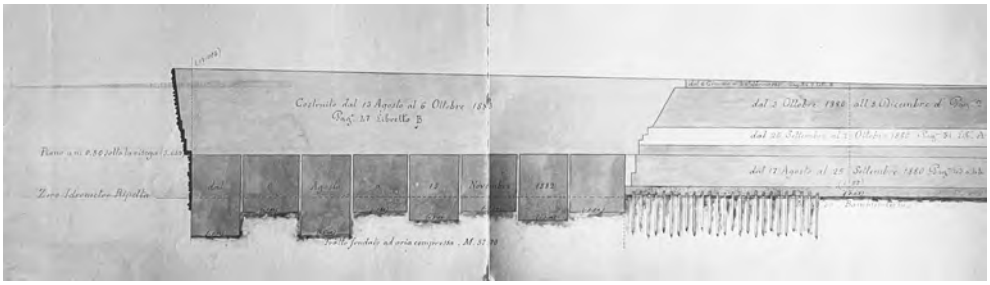


Fig. 4 – Tipologia delle fondazioni e periodi di costruzione dei muraglioni in località Regola, con indicazione del primo tratto realizzato con fondazioni ad aria compressa, 6 agosto-15 novembre 1882 (ASR, USTAR, I versamento, b. 59).

Secondo quanto riportato da Biadego nel 1886 (Biadego, 1886), l'IIICM impiega qui speciali cassoni smontabili, segnando anche un importante passo nella storia dello sviluppo del sistema delle fondazioni pneumatiche, dopo le prime sperimentazioni di questa tipologia per il ponte Saltah sul fiume Tamar (1853-1856) e dei *quais* di Anversa (Biadego, 1886). Con l'obiettivo di «ridurre al minimo la considerevole spesa del ferro che rimane perduto nelle fondazioni», i cassoni della Farnesina,

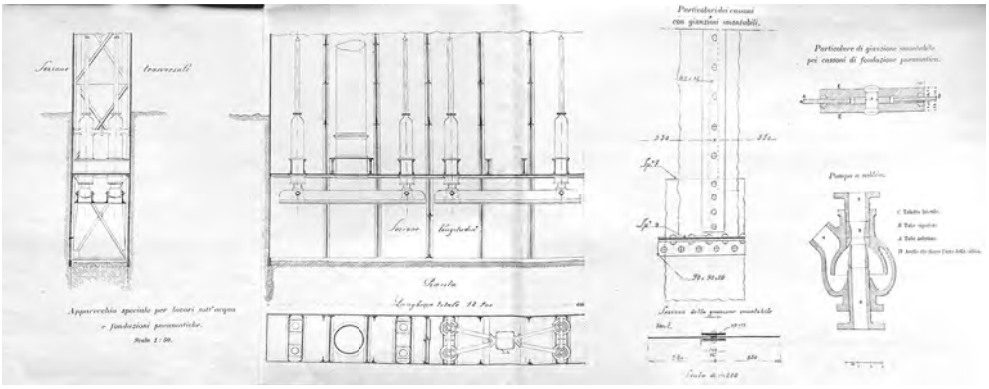


Fig. 5 – IIICM, particolari costruttivi dei cassoni smontabili (Biadego, 1886).

lunghi 20 m, larghi 4,8 m e alti 9 m, sono realizzati a protezione della muratura, costruita all'interno; successivamente, sfruttando giunti non calafatati, le pareti del cassone sono smontate e recuperate. Il cielo è realizzato con lamiera spessa 9 mm, irrigidita da un reticolo di travi ad anima piena; le pareti, come mostrato in Figura 5, sono realizzate con scampoli di lamiera (500 mm · 7 mm), congiunti da ferri piatti (140 mm · 15 mm) funzionanti come *coulisses*, fissati temporaneamente da soli 4 chiodi da 15 mm.

Durante lo smontaggio delle pareti, gli scampoli di lamiera si sfilano dalle *coulisses*, con l'aiuto di paranchi e argani montati su un castello di legno, "strappando" i chiodi senza danneggiare i ferri piatti.

Il 18 febbraio 1882, prima dell'avvio dei primi scavi in aria compressa, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici prescrive di adottare esclusivamente fondazioni pneumatiche per tutto il tratto dei muraglioni ancora da costruirsi, raggiungendo profondità di almeno 6 m sotto il livello della magra del fiume. Conseguentemente, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici si esprime anche a favore di un unico appalto per la realizzazione degli argini dell'imponente lotto compreso tra il Vicolo dello Struzzo e la Bocca della Verità, in sponda sinistra, e da San Giacomo alla Lungara ai bagni di Donna Olimpia, in sponda destra; i lavori sono quindi affidati all'impresa svizzera Conrad Zschokke che possiede mezzi d'opera d'avanguardia e comprovate esperienze di scavo in aria compressa.

Il progetto del lotto appaltato all'impresa Zschokke è approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici[5] il 21 giugno 1884; i lavori si avviano il 15 gennaio 1885.

Il progetto prevede la realizzazione di camere di scavo delimitate da grandi cassoni: come mostrato in Figura 6, i cassoni sono lunghi da 20 m a 30 m, larghi da 4,8 m a 5,8 m e alti 2 m. I cassoni sono collegati a camere di compensazione cilindriche

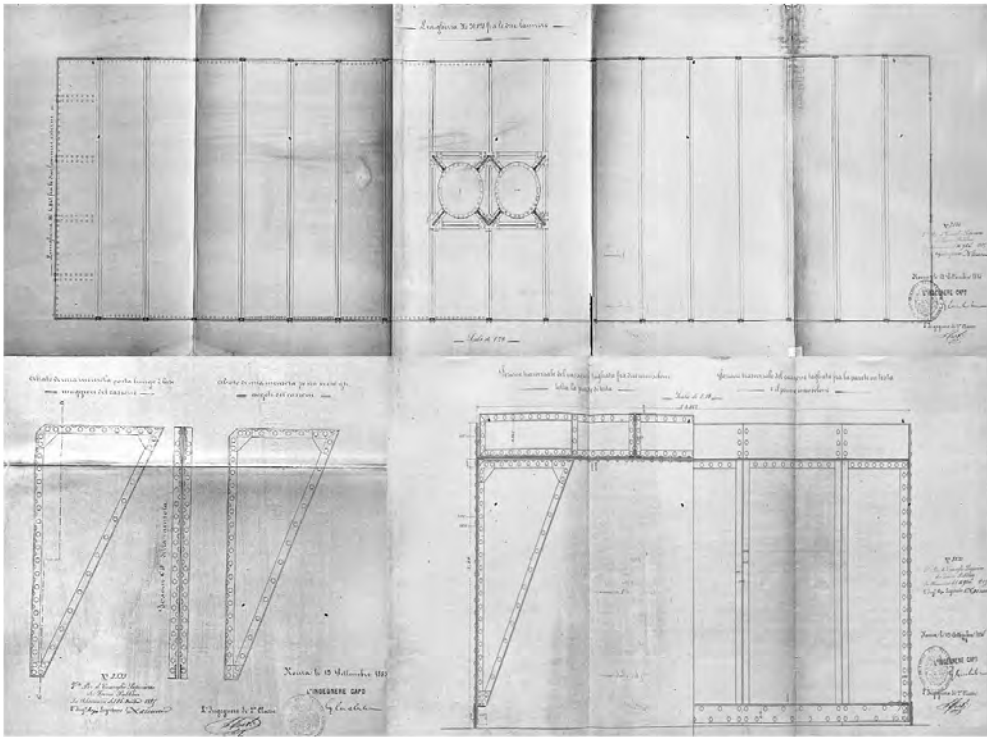


Fig. 6 – Progetto delle fondazioni dei muraglioni del Tevere a Roma, dettagli costruttivi del cassone metallico, 1885 (ASR, USTAR, I versamento, b. 116).

che, alte 4 m e con diametro di 2,2 m, presentano un'anticamera più piccola, sempre cilindrica, alta 2,2 m e con diametro di 1,4 m, e si innestano, con due appendici coniche, nei camini tubolari che permettono l'estrazione, con secchi e carrucole, del materiale di scavo e il passaggio degli operai. Ai due lati delle camere di compensazione, due ulteriori tubi permettono di riempire il cassone con calcestruzzo, una volta ultimata la costruzione del blocco di fondazione in muratura. Le pareti del cassone sono realizzate con lamiere di 8 mm di spessore, rinforzate da costole verticali triangolari, disposte con passo di 1,1 m; il cielo del cassone è rinforzato da un reticolo di travi con anima a parete piena, alte 35 cm.

Il cassone si allestisce con l'aiuto di un castello in legno e di un argano a carrucola per la movimentazione dei pezzi[6], come mostrato in Figura 7.

Per erogare aria compressa durante lo scavo sono impiegati compressori a due cilindri, mossi da motrici con potenza compresa tra 25 e 35 cavalli: ciascun compressore fornisce 150 m^3/ora di aria compressa, portando la pressione nel cassone a 1 atmosfera. Come riportato nei manuali dell'epoca «nelle camere di escavo gli operai

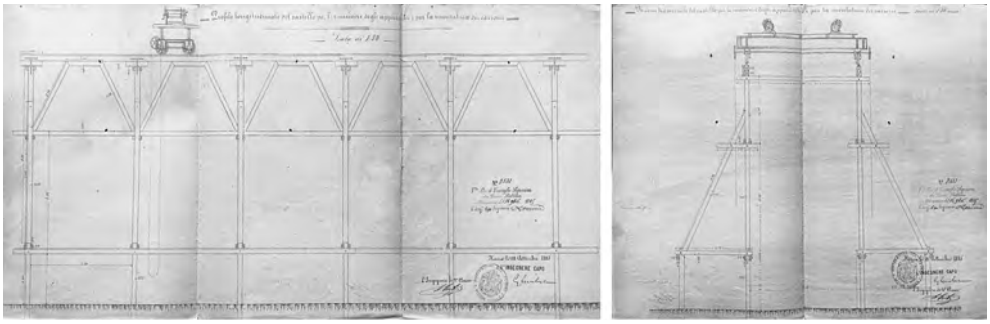


Fig. 7 – Progetto delle fondazioni dei muraglioni del Tevere, il castello in legno per l'allestimento dei cassoni metallici, 1885 (ASR, USTAR, I versamento, b. 116).

sono in numero vario, in via ordinaria ve ne solo da 8 a 12, a seconda della natura del terreno, che di solito è di sabbia pura, ma talvolta si incontrano ruderi di antichi muri, durissimi» (Pozzi, 1892). Durante l'affondamento, che viene misurato ogni 15 m^3 di terra estratta, sul cielo del cassone è eseguita, all'aria aperta, la muratura di fondazione, in pietrame di tufo e malta di calce e pozzolana. Raggiunta la profondità di fondazione e spianato il terreno, gli operai che si trovano ancora nella camera di scavo riempiono il cassone con calcestruzzo, formando strati orizzontali, poi battuti per saturare gli angoli della camera. Il calcestruzzo, al fine di rendere monolitico il blocco di fondazione, è quindi impiegato per saturare gli interstizi tra cassoni contigui, posti a una distanza media di 40 cm.

In seguito alle prime applicazioni degli anni '80, le fondazioni pneumatiche sono realizzate per tutto il tratto urbano dei muraglioni, la cui costruzione si conclude negli anni '20 del XX secolo. I cantieri più impegnativi, compresi i lavori di costruzione dei ponti progettati a corredo della nuova inalveazione del fiume, sono ritratti dal servizio fotografico del Genio Civile di Roma, offrendo una straordinaria testimonianza iconografica dello sviluppo della tecnica, di cui un esempio è mostrato in Figura 8 (Giannetti e Mornati, 2021).

Sicurezza in cantiere

I cantieri del Tevere, oltre a costituire un osservatorio privilegiato dello sviluppo della tecnologia di scavo in aria compressa in Italia negli ultimi decenni del XIX secolo, offrono speciale testimonianza degli alti rischi per la salute degli operai e dei primi provvedimenti per garantire la sicurezza in cantiere.

Nel 1885, i capitolati speciali di appalto per la realizzazione delle fondazioni nel lotto affidato all'impresa Zschoccke sono corredati da specifici accorgimenti per tutelare la salute degli operai e prevedere indennizzi per gli eventuali incidenti sul lavoro: «gli operai stessi verranno giornalmente visitati da un medico, il quale potrà

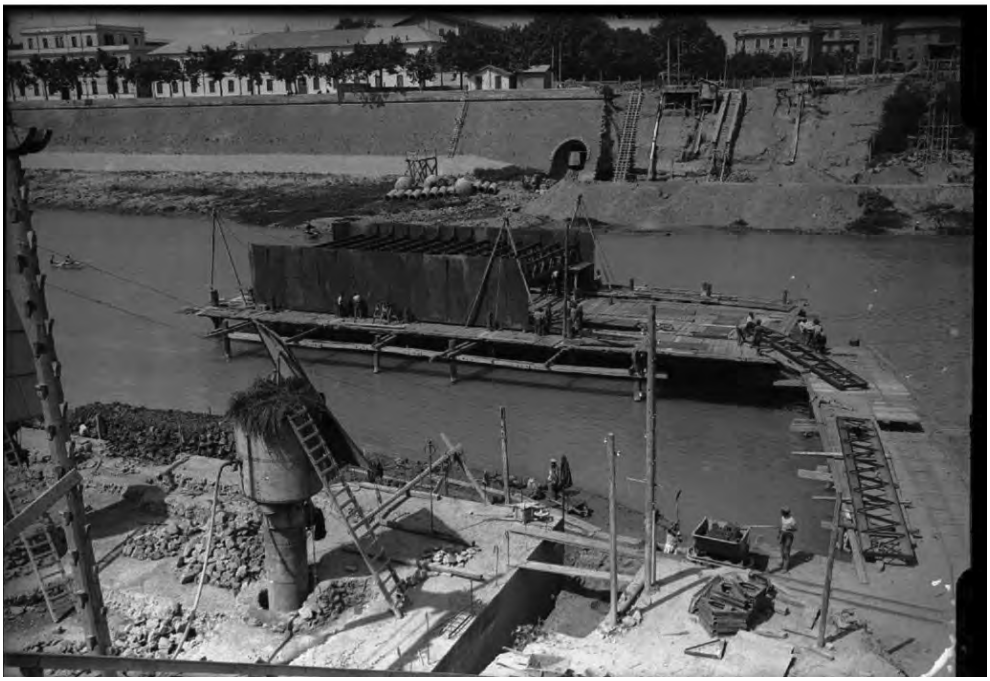


Fig. 8 – Cantiere delle fondazioni in alveo del ponte Littorio, oggi ponte Matteotti, sul Tevere a Roma, 1927; in primo piano una camera di compensazione e un camino del cassone in golena, sullo sfondo il cassone metallico in allestimento (ASR, USTAR, II versamento, lastre, scatola 272).

ordinare la sospensione o la cessazione del lavoro nell'aria compressa a quelli operai che crederà non possano sostenere la pressione dell'aria compressa senza inconvenienti o sconcerti della loro salute senza che l'Impresa possa rifiutarsi o pretendere indennizzi»[7].

I disturbi che regolarmente si manifestano nelle maestranze coinvolte in questa tipologia di lavori, quali leggere emorragie, fitte assai acute e dolorose ai timpani, difficoltà nel parlare e paralisi degli arti, sono riportati dalla letteratura di settore, in lingua italiana, dagli anni '70 del XIX secolo. Afferma Bonino nella sua dissertazione di laurea nel 1873: «gli operai che lavorano nell'aria compressa si stancano molto e si è riconosciuto che non possono resistere allorquando si arriva a una profondità maggiore di 25 metri sotto la superficie dell'acqua. Entrati nella camera d'aria a misura che si stabilisce l'uguaglianza di pressione fra una parte e l'altra dell'apparecchio provano un certo malessere, al quale la maggior parte si abitua, e per liberarsene aspirano fortemente l'aria compressa che li circonda, chiudono dopo la bocca ed operano una specie di compressione mediante i muscoli del torace e della guancia;

allora si stabilisce una specie di equilibrio fra due lati del timpano, e si sente in questo momento una specie di sottil sibilo in seguito al quale sparisce ogni malessere. La respirazione si fa presso a poco nell'aria libera, la vista non rimane impressionata, ed il suono perde solamente un po' di intensità. I lavori per fondazioni ad aria compressa si fanno senza interruzioni, gli scavatori si ripartiscono per squadre, ed ogni squadra lavora ordinariamente 2 volte in 24 ore e per quattro ore ogni volta» (Bonino, 1873). Nel 1892 Pozzi riporta nel suo trattato effetti molto più gravi: «congestioni cerebrali e polmonari ed a sincopi mortali negli individui di temperamento sanguigno» (Pozzi, 1892).

Oltre il consiglio generale di impiegare «operai giovani, sani e di regime assai regolare» (Jorini, 1905), perché «l'alta pressione [...] è in generale dannosa alla salute degli operai, e solo pochi e robusti possono sopportarla senza danno» (Biadego, 1886), reali cause dei disturbi e prescrizioni per la sicurezza in cantiere cominciano a essere annotate in modo più sistematico nei trattati dei primi del '900. Se nel 1886, per mitigare gli effetti dannosi dell'attività è considerato efficace contro gli attacchi di paralisi l'uso di fasce e braccialetti galvanici, indossati dagli operai intorno ai polsi, alle caviglie e alle piante dei piedi con funzione di generatori di correnti terapeutiche che migliorano il trofismo dei tessuti (Biadego, 1886), il tempo di permanenza nella camera di compensazione, in relazione alla profondità di scavo, dove avviene il passaggio ai diversi valori di pressione, diventa un parametro fondamentale per la riduzione dei rischi legati agli effetti dell'aria compressa (Jorini, 1905).

Bisogna arrivare agli anni '50 del '900, perché attraverso gli strumenti normativi e studi specialistici si manifesti in Italia una più incisiva sensibilità per le condizioni di lavoro in cantiere: il 20 marzo 1956, il D.P.R. n. 321, con 45 articoli e due allegati, disciplina specificamente "la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro nei cassoni ad aria compressa". Il decreto, in vigore ancora oggi, prescrive i requisiti dimensionali, funzionali e di controllo del sistema, i volumi minimi di ricambio di aria (almeno 40 m^3/h), i tempi di compressione e di decompressione e le procedure di emergenza. Il decreto prescrive, inoltre, specifici limiti di età per l'operaio "cassonista", tra 20 e 40 anni, elevabile a 50 per i capi squadra ritenuti idonei, i tempi massimi dei turni di lavoro in funzione dei valori di pressione ai quali il lavoratore è sottoposto e la durata minima del riposo obbligatorio.

Conclusioni

Nella seconda metà del XIX secolo, la tecnologia delle fondazioni pneumatiche diviene condizione necessaria per lo sviluppo della rete ferroviaria e delle infrastrutture idrauliche delle grandi città. Nel settore edile italiano, tecnologicamente ed economicamente arretrato rispetto all'Europa del nord, dove si realizzano le pionieristiche applicazioni, il trasferimento della conoscenza avviene attraverso l'opera delle imprese straniere coinvolte nella realizzazione della rete ferroviaria nazionale.

In questo contesto, le microstorie dei cantieri del Tevere, ricostruite attraverso la lettura della preziosa documentazione prodotta dall'Ufficio Speciale per la Sistemazione del Tevere, raccontano il contributo degli ingegneri, delle imprese e delle istituzioni italiane allo sviluppo della tecnica.

In particolare, i cantieri per la costruzione dei muri di sponda testimoniano soluzioni progettuali e soluzioni realizzative diverse per l'uso dei cassoni metallici, dai "cassoni smontabili" proposti dall'IIICM, con notevole vantaggio economico, all'ingegnoso castello in legno, con argani e carrucole, progettato dall'impresa Zschoccke per il rapido allestimento dei grandi cassoni.

Inoltre, dalla lettura documenti, al ruolo di primo piano detenuto delle imprese e dei progettisti nello sviluppo della tecnologia, si affianca quello meno noto dei tecnici dell'Ufficio Speciale, come l'ingegnere capo Giacomo Zucchelli, nel fornire il supporto istituzionale alla sperimentazione in cantiere.

Ringraziamenti

Le indagini di archivio sono svolte nell'ambito di una convenzione tra Archivio di Stato di Roma e Dipartimento di Ingegneria Informatica e Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" per la valorizzazione del Fondo Genio Civile di Roma. Si ringrazia il dott. Vincenzo De Meo per la preziosa collaborazione. Le ricerche sono supportate dal progetto "Tiber'S: analisi geotecnica, monitoraggio satellitare, indagine storica", A0375-2020-36632, Gruppi di Ricerca 2020, Lazio Innova.

Fonti

ASR: Archivio di Stato di Roma.

USTAR: Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano.

Bibliografia

Abita M., Morganti R. 2021. Pneumatic foundation in the bridges of the first Italian railways. In: History of Construction Cultures, Proceedings of the 7th International Congress on Construction History (M. Mateus, P. Pires Eds.). 122-129. Lisbona.

Biadego G.B. 1886. Delle fondazioni ad aria compressa. Memoria VII. In: *Fondazioni ad aria compressa. Ponti metallici*. Torino: Tip. e Lit. Camilla e Bertolero Editori.

Bonino G.B. 1873. *Brevi cenni sulle fondazioni idrauliche*. Napoli: Stabilimento tipografico A. Trani.

Bruno G., Amato F. 1895. *Le fondazioni pneumatiche e quelle profonde. Appendice al corso di costruzioni idrauliche*. Napoli: Pallerano.

M'Alpine W.J. 1868. "he supporting power of piles: and on the pneumatic process for sinking iron columns, as practised in America. In: *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 27, 275-293.

Franzius L. 1898. Macchine ed apparecchi per lavori subacquei. In: *Enciclopedia dell'ingegnere* (a cura di L. Loria). IV(3). Milano: Società Editrice Libraria.

Jorini A.F. 1905. *Teoria e pratica della costruzione dei ponti*. Milano: Ulrico Hoepli.

Malézieux M. 1874. Fondations a l'air comprimé. Annales des Ponts et Chaussées lavori subacquei. In: *Enciclopedia dell'ingegnere* (a cura di L. Loria). IV(3). Milano: Società Editrice Libraria.

Giannetti I., Casini F. 2021. The construction and the collapse of the Tiber retaining walls in Rome, Italy (1870–1900). In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering History and Heritage*. London: ICE Publishing.

Giannetti I., Mornati S. 2021. *In cantiere sulle sponde del Tevere. Le lastre fotografiche dell'Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano*. Roma: Gangemi.

Malézieux M. 1874. *Fondations a l'air comprimé*. Annales des Ponts et Chaussées". 5° serie, 1er semestre, 331.

Pozzi L. 1892. Ponti e viadotti in muratura. In: C*ostruzione ed esercizio delle strade ferrate* (a cura di S. Fadda). I , parte 3°. Milano: Unione tipografico editrice torinese.

s.a. 1875. Obituary. John D'Urban Hughes, 1807-1874. Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 40, 255-258.

Note

1. Laurence Holker Potts, 'Certain improvements in the construction of piers, embankments, breakwaters, and other similar structures', Brevetto inglese n. 9975, depositato il 5 dicembre 1843
2 Il necrologio di John D'Urban Hughes riporta importanti cenni sul metodo e sulle applicazioni (s.a., 1875).
3 Cfr. Archivio di Stato di Roma, Fondo Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano, I versamento, b. 61, Ufficio Speciale per la sistemazione del Tevere, Proposta di opere addizionali a quelle in appalto alla Impresa Campos alla Regola pella fondazione del tratto di muraglione lungo la fronte dei Cento Preti in sostituzione ed aggiunta di quella prevista dai Contratti 11 aprile 1877 e 10 maggio 1878, 14 giugno 1882.
4 Ibidem.
5 Cfr. ASR, USTAR, I versamento, b. 116, Ufficio Speciale per la sistemazione del Tevere, Progetto di appalto dei lavori di sistemazione del Tevere mediante muraglioni di spallatura e Lungo-Tevere, nel tratto compreso tra l'asse del quarto di cono a valle del ponte Elio e Vicolo dello Struzzo, per una lunghezza di m 685 misurata sul ciglio del muraglione, Parte I, Pezza I, Relazione spiegativa, 19 settembre 1885.
6 Cfr. ASR, USTAR, I versamento, b. 116, Ufficio Speciale per la sistemazione del Tevere, Progetto di appalto dei lavori di sistemazione del Tevere mediante muraglioni di spallatura e Lungo-Tevere, nel tratto compreso tra l'asse del quarto di cono a valle del ponte Elio e Vicolo dello Struzzo, per una lunghezza di m 685 misurata sul ciglio del muraglione, Parte I, Pezza IX, Descrizione del cassone e delle opere provvisionali per la fondazione del muraglione col sistema dell'aria compressa, 19 settembre 1885.
7 Ibidem.

Marcello Zordan

Le grandi coperture metalliche realizzate in Italia alla fine dell'Ottocento

Large metal roofs in Italy at the end of the 19th century

Sommario
Le origini delle costruzioni in ferro e vetro risalgono ai primi dell'ottocento quando, parallelamente ai cambiamenti che investono il mondo della produzione edilizia, si evolvono le tecnologie dei materiali e le tecniche costruttive. Il settore delle costruzioni, influenzato dalle nuove scoperte, sperimenta nuovi sistemi costruttivi basati sulla combinazione di ferro e vetro, materiali fino ad allora poco utilizzati in edilizia, realizzando strutture in cui "leggerezza e trasparenza" giocano un ruolo fondamentale sia dal punto di vista tecnologico che architettonico. Il tema delle grandi coperture, in particolare, si è sviluppato progressivamente in questi anni, trovando la sua naturale applicazione soprattutto nelle gallerie cittadine e nelle stazioni ferroviarie.
La natura di questi edifici, caratterizzati da ampi spazi aperti e grandi superfici trasparenti, si presta a sperimentazioni tecnologiche, ingegneristiche e formali con strutture metalliche combinate con grandi coperture in vetro. Opere di notevole interesse si trovano nei maggiori capoluoghi di provincia come Milano, Napoli, Genova, Firenze, ecc. Questo contributo si propone di mettere in luce gli aspetti significativi e innovativi delle costruzioni in ferro e vetro realizzate in Italia nella seconda metà dell'Ottocento, anche attraverso l'analisi di alcune opere rappresentative.

Abstract
The origins of iron and glass construction date back to the early 19th century when, in parallel with the changes affecting the world of building production, material technologies and construction techniques evolved. The construction sector, influenced by new discoveries, experimented with new building systems based on the combination of iron and glass - materials which until then had been little used in construction - creating structures in which "lightness and transparency" played a fundamental role in both technological and architectural choices. Many of the experiments carried out in Italy from the mid-19th century onwards belong to this

approach. The theme of large roofs, in particular, developed progressively in these years, finding its natural application mainly in city tunnels and railway stations. The nature of these buildings, characterized by large open spaces and large transparent surfaces, lends itself to technological, engineering and formal experimentation with metal structures combined with large glass roofs. Works of considerable interest can be found in the major provincial capitals such as Milan, Naples, Genoa, Florence, etc. This paper aims to highlight the significant and innovative aspects of iron and glass constructions built in Italy in the second half of the 19th century, also through the analysis of some representative works.

Introduzione

Il settore delle grandi coperture in ferro e vetro si sviluppa progressivamente intorno alla metà dell'Ottocento trovando la sua naturale applicazione nelle serre, nelle gallerie cittadine e nelle stazioni ferroviarie.

Una delle prime opere, tra le più significative di questa nuova espressione, il Crystal Palace, è realizzata nel 1851 a Londra su progetto di Joseph Paxton.

Sorto con lo scopo di ospitare l'Esposizione Internazionale dei prodotti dell'industria, l'edificio in ferro e vetro diviene luogo di sperimentazione di nuove concezioni costruttive e formali. È assemblato a partire da un sistema ripetitivo composto da colonne in ghisa di sezione circolare cava sulle quali poggiano travi a struttura reticolare in ferro o ghisa. L'involucro esterno, totalmente trasparente, trasmette un'immagine di assoluta novità per il periodo.

Sulla scia del Crystal Palace le molteplici opere realizzate negli anni successivi si incentrano principalmente sulla costruzione di giardini d'inverno, strutture estremamente flessibili, sulle quali viene portata avanti una inarrestabile sperimentazione.

Parallelamente, in Francia, la costruzione metallica trova nuovi spazi e si inserisce all'interno di importanti edifici pubblici. Nella *Bibliothèque Nationale* di Parigi (1857-1867), progettata da Labrouste, la sala di lettura è costituita da un unico ambiente a pianta centrale, le cui strutture portanti in ferro sono lasciate in vista, ma solo all'interno, mentre sul perimetro permane il tradizionale apparecchio murario.

In Italia, i riflessi di questi sviluppi a livello internazionale si riscontrano con notevole ritardo anche se, già a partire dalla prima metà dell'Ottocento e negli anni immediatamente seguenti, è possibile rilevare i primi isolati esempi di costruzioni in ghisa e ferro, come la galleria De Cristoforis di Milano o la chiesa di San Leopoldo a Follonica.

È poi, con le grandi coperture, come quelle progettate da Filippo Basile e Giuseppe Damiani a Palermo per le cupole in ferro dei teatri Massimo e Politeama, e soprattutto con le gallerie cittadine e con le stazioni ferroviarie, realizzate per le principali linee di collegamento, che si concretizzano le opere più paradigmatiche.

Dall'esame delle gallerie cittadine e delle stazioni ferroviarie costruite in Italia negli ultimi decenni del XIX secolo, emerge infatti la volontà, espressa dai progettisti, di confrontarsi con il panorama internazionale.

I progressivi sviluppi dell'industria siderurgica e di quella del vetro, nonché la maggiore conoscenza delle caratteristiche tecnologiche del metallo, e quindi delle sue potenzialità costruttive, spingono i progettisti a cimentarsi nell'uso dei nuovi materiali e delle relative tecnologie per la costruzione di grandi opere.

L'analisi dei vari esempi di seguito riportati non pretende di spiegare tutta la complessità del fenomeno, ma di evidenziare i tratti più appariscenti e paradigmatici allo scopo di mettere in luce le caratteristiche e le molteplici valenze dell'architettura del ferro e vetro, applicata alle grandi coperture, negli anni di maggior sviluppo in Italia.

Le gallerie cittadine

Le gallerie cittadine italiane vengono realizzate a partire dagli anni Sessanta del XIX secolo sulla scia delle esperienze francesi dei passages parigini. Ma, a differenza di quest'ultimi, solitamente di dimensioni ridotte, le gallerie, nel nostro paese, svolgono una funzione di maggior rilievo diventando delle vere e proprie cerniere urbane.

A partire dalle prime esperienze la galleria assume, quindi, il ruolo di spazio emblematico della città e della società ottocentesca.

La Galleria Vittorio Emanuele II a Milamo

Esempi di notevole interesse sono presenti nei grandi capoluoghi di provincia come Milano dove, tra il 1863 e il 1867, viene realizzata la Galleria Vittorio Emanuele II, una delle opere più rappresentativa per l'architettura del ferro e vetro in Italia.

Affidata all'esperienza di Giuseppe Mengoni[1], ingegnere architetto di Bologna, la Galleria, in Figura 1, diviene luogo di forte sperimentazione per l'utilizzo di materiali nuovi, secondo quella che appariva essere la logica della modernità.

L'organismo studiato da Mengoni presenta notevolissimi motivi d'interesse non solo per quello che riguarda la copertura in ferro e vetro, in Figura 2, ma anche per l'utilizzo di una struttura mista (ferro, laterizio, legno) per gli edifici perimetrali dell'organismo viario coperto. L'impianto murario, infatti, è armato da montanti, irrigidimenti, catene e staffe metalliche.

In corrispondenza dei risvolti dei fabbricati verso piazza Duomo, a sostenere i piani sopra i portici sono disposte colonne in ghisa binate e a fasci di quattro, collegate da travi in ferro a doppio T. Queste, che sostengono la soletta del primo piano e la massa muraria superiore, ripartiscono il peso alle estremità mediante un arco di scarico. Il tutto è poi reso solidale attraverso staffe di ferro verticali e orizzontali che ancorano l'arco di scarico alla trave e ne irrigidiscono la sezione orizzontale agganciandosi alle imposte in conci di granito[2].

Fig. 1 – Milano: la Galleria Vittorio Emanuele II, Mengoni (1863-1867), immagine d'epoca (Selvafolta, 1983).

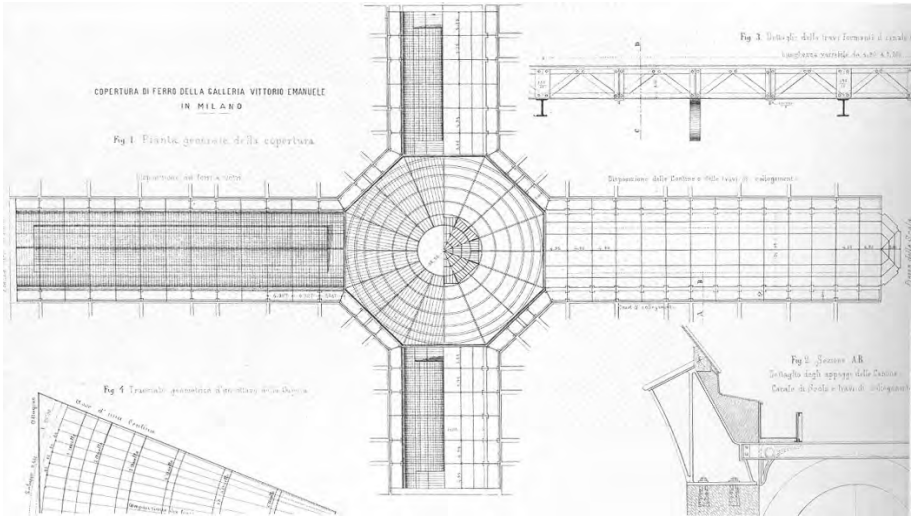


Fig. 2 – Milano: la Galleria Vittorio Emanuele II, Mengoni (1863-1867), pianta generale della copertura e dettagli costruttivi (Jodice, 1985).

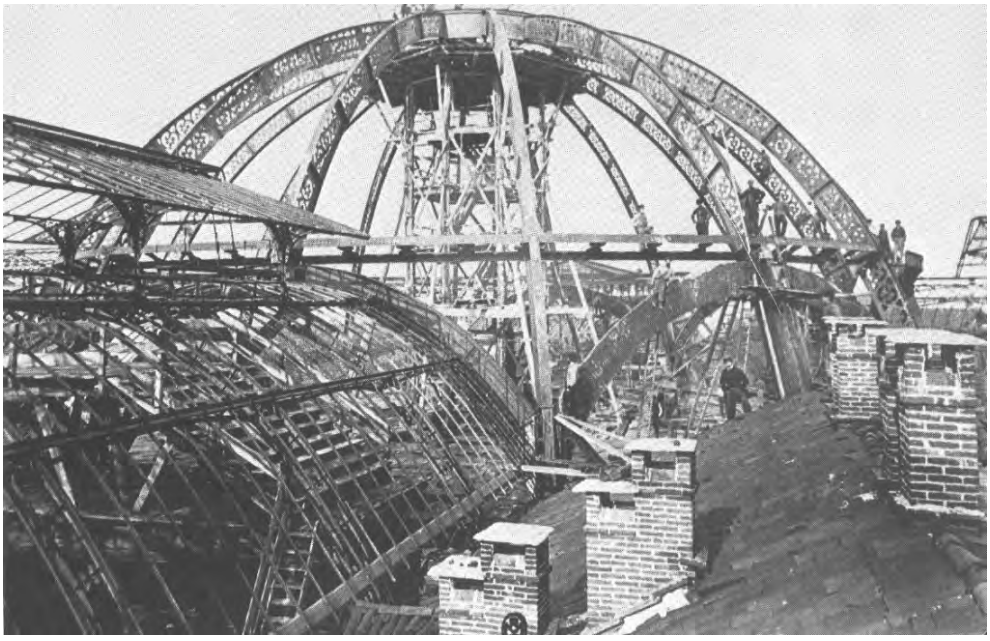


Fig. 3 – Milano: la Galleria Vittorio Emanuele II, Mengoni (1863-1867), foto di cantiere (Selvafolta, 1983).

Il ferro viene usato anche per gli elementi non strutturali, quali serramenti per vetrine, porte e finestre e scale a chiocciola che collegano i piani terreni agli ammezzati, per i quali vengono impiegati prodotti industriali. Escludendo la copertura e le sue parti accessorie si arriva a 82 tonnellate di metallo tra ferro e ghisa.

Il sistema costruttivo, di notevole interesse in quanto integra la costruzione di mattoni con quella in metallo, si configura come un ibrido fra tradizione e innovazione che, pur avendo già avuto esiti notevolmente più avanzati all'estero, dimostra, per quanto si riferisce al contesto locale, volontà di aggiornamento tecnologico e attenzione alle opportunità offerte dai nuovi materiali.

Senza dubbio, la parte più interessante di tutto l'edificio è la copertura in ferro e vetro, in particolare la cupola, in Figura 3, sia per la sua configurazione che per il sistema costruttivo adottato.

Alta, in chiave, 42 metri e larga 40 la cupola è descritta nelle cronache come la più grande ed eccezionale realizzazione in ferro dell'epoca. Le sedici centine, con un raggio di intradosso di 20 metri, che la compongono poggiano sulle imposte e sulla chiave di volta di otto "arconi" perimetrali i quali coronano in alto l'ottagono in corrispondenza dell'incrocio centrale dei bracci.

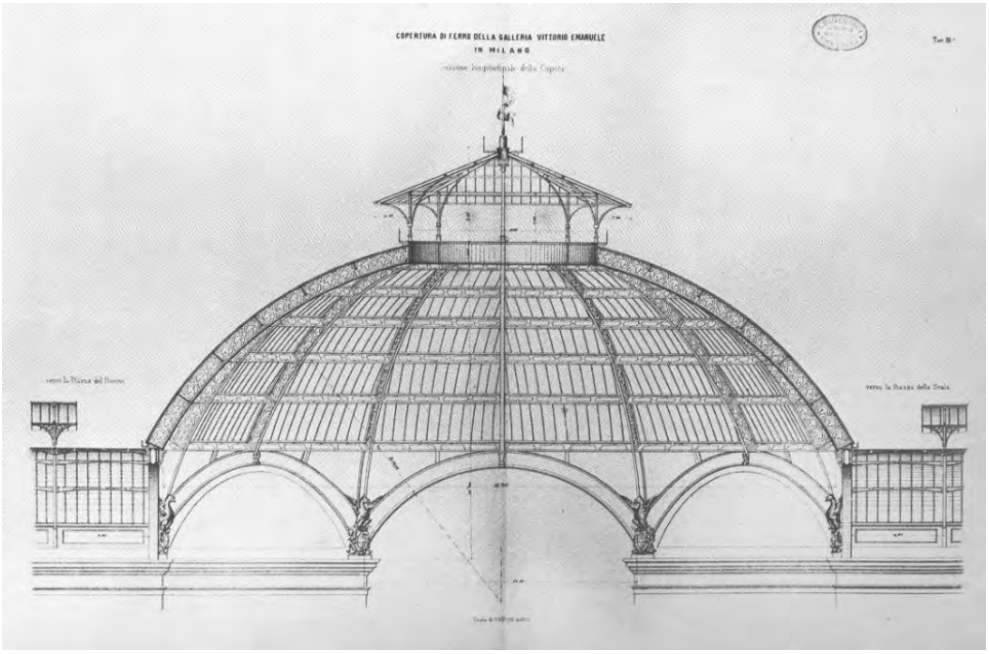


Fig. 4 – Milano: la Galleria Vittorio Emanuele II, Mengoni (1863-1867), sezione longitudinale della cupola e degli appoggi delle centine sui muri perimetrali (Selvafolta, 1983).

Ai sedici appoggi delle centine sull'imposta degli archi ne corrispondono altrettanti in corrispondenza delle mensole a questi collegate, le quali sostengono la maggior parte del peso della cupola, ripartendo il carico in modo da non gravare ulteriormente sui fabbricati e conferendo alla copertura un particolare slancio verticale.

Le centine, legate da 6 anelli progressivamente più sottili e distanziati, convergono alla sommità nell'ultimo cerchio di sostegno per la lanterna, che ripropone la forma "a spicchi" dell'ottagono sottostante in una alternanza di figure geometriche poligonali e circolari, come mostrato in Figura 4.

I sistemi di imposta delle sedici centine sono differenziati in tre gruppi, di cui otto si collegano ai vertici dell'ottagono e poggiano su cuscinetti in ghisa, quattro sulle chiavi di volta degli arconi, e altre quattro attraversano le lunette cieche dei lati pieni dell'ottagono, su cui vengono successivamente inseriti i dipinti dell'Asia, Africa, Europa ed America, andando ad impostarsi, a pari livello delle prime otto, su supporti in ghisa sostenuti da travi in ferro doppio T.

Ogni tipo di collegamento presenta soluzioni differenti, tutte di notevole complessità[2]. Nelle Figure 5 e 6 sono riportati rispettivamente alcuni particolari della cupola e il dettaglio di uno degli spigoli decorati.

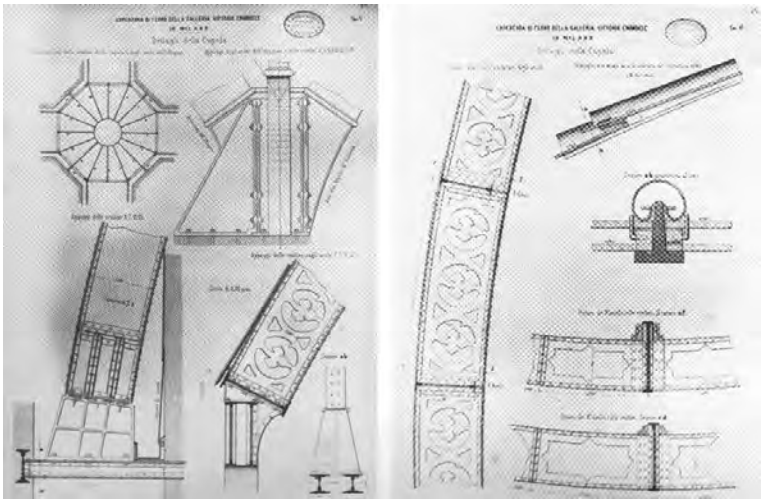


Fig. 5 – Milano: la Galleria Vittorio Emanuele II, Mengoni (1863-1867), particolari della cupola: pianta e appoggi degli arconi e delle centine (a sinistra); struttura metallica delle centine (a destra) (Jodice, 1985).

Fig. 6 – Milano: la Galleria Vittorio Emanuele II, Mengoni (1863–1867), dettaglio di uno degli spigoli decorati (Selvafolta, 1983).

La superficie delle volte e della cupola si pronuncia all'esterno con ulteriori elementi, quali ferri speciali per l'ancoraggio dei vetri, lucernari e lanterne, scale, ballatoi, che rendono praticabile la superficie di cristallo grazie a una rete di percorsi aerei articolati nei corridoi laterali inseriti negli spessori dei fabbricati.

Il giorno dell'inaugurazione, il 15 settembre 1867, lo spazio teatrale della Galleria si presenta come un recinto pedonale racchiuso tra pavimento e copertura, che assume così il carattere di un grande salone ottocentesco.

A completare lo spettacolo manca tuttavia l'arco di ingresso da piazza del Duomo realizzato dieci anni dopo[3].

Grandi opere, come la Galleria di Milano, per il sapiente uso di materiali tradizionali e materiali nuovi, secondo i canoni delle tecniche "nuove", rappresentano, inoltre, elemento di grande stimolo per lo sviluppo della costruzione metallica nella cosiddetta "architettura corrente". Da questo momento, infatti, il ferro tenderà ad acquisire sempre maggiore importanza nel settore dell'edilizia, sia per la realizzazione di infrastrutture urbane sia per la soluzione di temi costruttivi minori.

Molti altri esempi, in effetti, sono significativi per questa nuova cultura architettonica, ma la Galleria di Milano, proprio per la nota arretratezza italiana nel settore delle costruzioni metalliche in quel periodo, oltre che per imponenza e rilievo tecnico-architettonico, segna il raggiungimento di un vero e proprio traguardo.

Altri esempi di gallerie di rilievo: i casi di Napoli e Genova

L'esempio milanese assume di fatto il ruolo di modello di riferimento per le gallerie realizzate successivamente in Italia.

Nel 1885 viene costruita a Napoli la galleria Umberto I (Carughi e Guida, 2003: 173-186), in Figura 7, progettata da Emanuele Rocco e realizzata dall'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche di Alfredo Cottrau. Essa presenta uno schema molto simile a quello adottato da Mengoni a Milano. Anche in questo caso, infatti, i bracci sono coperti da volte a botte in ferro e vetro e in corrispondenza della loro intersezione si genera uno spazio ottagonale sormontato da una cupola, la cui struttura metallica è costituita da sedici archi a traliccio decorati con elementi in ferro.

A queste grandi opere, complesse e articolate sotto vari aspetti, si affiancano, nello stesso periodo, interventi di dimensioni più ridotte ma ugualmente interessanti.

Nella Galleria Mazzini (1875-80) di Genova in Figura 8, ad esempio, il progetto nasce dalla necessità di collegare due parti di città poste a quote differenti.

Il progettista, Giovanni Argenti, fortemente condizionato dal notevole dislivello che separa le due piazze, realizza un piano di calpestio in pendenza, evitando in questo modo l'inserimento di scale, elementi che avrebbero inevitabilmente interrotto lo spazio interno della galleria, unitario e contiguo.

Dal punto di vista architettonico, la galleria presenta soluzioni originali rispetto ad analoghe costruzioni sia italiane che straniere. La copertura, in ferro e vetro, è costituita da una struttura principale di centine ad arco ribassato sulle quali poggia l'ordito secondario, sempre di ferro, che funge da supporto per le lastre in vetro. All'intersezione delle ali laterali con il passaggio principale, sono collocate cupole piramidali a pianta ottagonale che permettono di raccordare le volte, aventi piani

Fig. 7 – Napoli: La Galleria Umberto I, E. Rocco (1887 – 1890), vista interna della cupola (Jodice, 1985).

Fig. 8 – Genova: La Galleria Mazzini, G. Argenti (1875-1880), vista d'insieme dall'interno (Jodice, 1985).

d'imposta differenti, dal momento che la configurazione della copertura varia nel suo sviluppo longitudinale.

Oltre a questi esempi molti altri potrebbero rappresentare a pieno la tendenza architettonico-costruttiva caratteristica degli ultimi vent'anni dell'Ottocento. In molte città sorgono, infatti, diverse costruzioni interessanti per soluzioni tipologiche, costruttive e figurative, che testimoniano l'ormai consolidata esperienza italiana nel campo delle coperture metalliche.

Le stazioni ferroviarie

Negli anni che seguono l'Unità d'Italia si verifica, come è noto, un'enorme espansione della rete ferroviaria nazionale. Questa, infatti, nel giro di pochi decenni quadruplica la sua consistenza sviluppandosi, in un primo momento, nel settentrione e interessando, successivamente, tutto il resto del Paese.

Dal punto di vista delle costruzioni, questo fenomeno costituisce un valido incentivo alla diffusione della strutture in ghisa e del ferro. La necessità di provvedere alla rapida realizzazione di opere infrastrutturali, quali stazioni ferroviarie e ponti, spinge, infatti, i progettisti a prediligere il materiale metallico sia per ragioni di carattere costruttivo e figurativo, che per motivi più propriamente legati agli aspetti economici.

Per le stazioni ferroviarie, in particolare, caratterizzate dalla necessità di coprire spazi di notevole luce con un numero limitato di appoggi, la scelta diffusa dell'adozione di strutture metalliche trova, inoltre, spiegazione nelle superiori capacità di resistere alle sollecitazioni che le contraddistinguono rispetto ai materiali tradizionali.

Inoltre, l'impiego delle strutture in ferro, grazie alla possibilità di realizzazione dei manufatti mediante l'utilizzo di elementi standardizzati, sembra il più idoneo a soddisfare i requisiti propri di costruzioni speciali quali le stazioni ferroviarie e i mercati coperti.

Come nelle gallerie l'importanza attribuita alle soluzioni del dettaglio costruttivo, al modo di organizzare gli spazi architettonici e alla ricerca di nuove soluzioni mettono in luce l'importanza che queste opere rivestono nell'evoluzione costruttiva e formale delle strutture metalliche. Un vero e proprio "pezzo speciale" di storia della costruzione italiana che, nonostante il ritardo rispetto agli altri paesi europei, si concretizza con la sperimentazione di sistemi, per il periodo storico in cui si collocano, assolutamente innovativi.

La stazione di Genova Porta Principe

Nella stazione di Genova Porta Principe, ad esempio, progettata da Alessandro Mazzucchetti tra il 1858 e il 1962 (Zorgno, 1995), la soluzione applicativa proposta riguarda lo spazio centrale, che risulta coperto da una struttura metallica in ferro e vetro costituita da una serie di centine metalliche a traliccio, conformate ad arco ribassato e irrigidite con catene dello stesso materiale in Figura 9. Un ampio lucer-

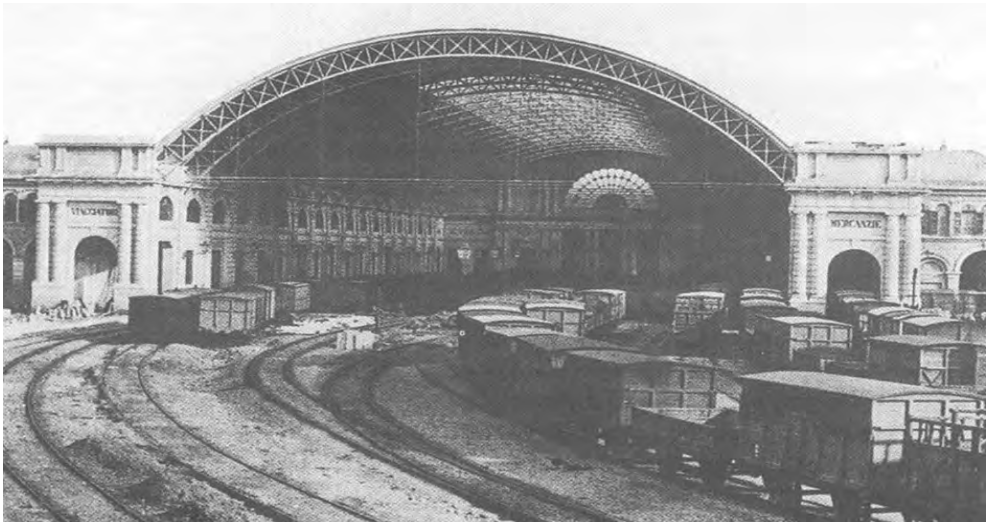


Fig. 9 – Genova: la stazione Porta Principe, A. Mazzucchetti (1858-1862), vista d'insieme (Jodice, 1985).

nario posto in corrispondenza della zona centrale garantisce l'illuminazione dello spazio interno[4].

Il progetto elaborato per la stazione di Genova propone, in verità, una soluzione già sperimentata all'estero. Con l'inserimento delle catene metalliche composte, destinate a bilanciare la spinta orizzontale esercitata dall'arco sui muri perimetrali di appoggio, Mazzucchetti conferisce all'edificio un'immagine di notevole leggerezza, dovuta sia alla riduzione di sezione degli elementi in ferro puddellato sia alla scelta di una tipologia ad arco, anche se ribassato, per la copertura.

La stazione di Torino Porta nuova

Il progetto elaborato per la stazione di Genova propone, in verità, una soluzione già sperimentata all'estero. Ulteriori sviluppi si rilevano negli anni successivi con un'ulteriore elaborazione di questo schema costruttivo che vede sempre Mazzucchetti protagonista della realizzazione della stazione di Torino Porta Nuova (1861-1871) in Figura 10. In questo caso le centine, costituite da archi a tutto sesto con struttura metallica reticolare, sono realizzate con ferri a T chiodati tra di loro. Ogni elemento è alto 2 metri e copre una luce di 48 metri. In corrispondenza degli appoggi Mazzucchetti predilige, anche questa volta, il vincolo a incastro in ghisa che consente di collegare la struttura metallica alle robuste spalle realizzate in muratura.

Inoltre, grazie all'adozione di uno schema ad arco a tutto sesto, vengono eliminate le catene metalliche consentendo di raggiungere una soluzione migliore anche dal punto di vista dello spazio interno, libero da ingombri[5].

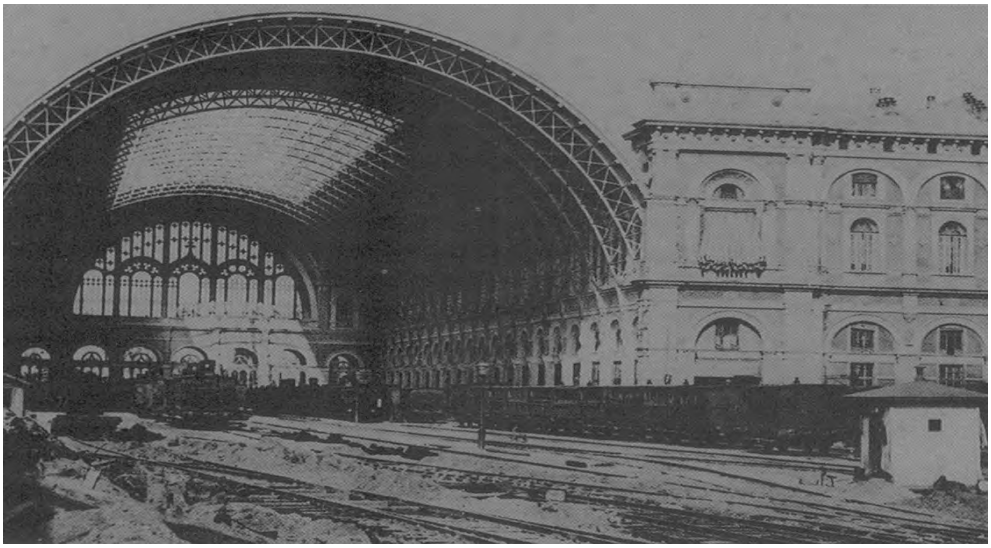


Fig. 10 – Torino: stazione di Porta Nuova, A. Mazzucchetti (1861-1871), vista d'insieme (Mattone, 2000).

La stazione di Monza

Pochi anni dopo la costruzione dei due edifici di Mazzucchetti, nel 1879, viene realizzata a Monza una stazione ferroviaria, di dimensioni minori rispetto alle precedenti, ma di notevole valore sia costruttivo e architettonico. Essa è progettata con riferimento ad una tipologia ormai consolidata per il periodo di riferimento: si tratta di un edificio in muratura, parallelo ai binari e destinato a ospitare i passeggeri in attesa, al quale viene addossata una copertura che copre i binari. Quest'ultima è costituita, nel caso di Monza, da 13 centine a traliccio, munite di un sistema di tiranti inseriti per contrastare la spinta in corrispondenza degli appoggi, come mostrato in Figura 11.

Le centine metalliche sono vincolate, da un lato, sui muri dell'edificio, dall'altro su colonne in ghisa binate solo in corrispondenza degli estremi della copertura in modo da rinforzare la struttura nei punti di maggior carico. Sono inoltre collegate da elementi secondari, anch'essi a traliccio, su cui è fissato l'impalcato realizzato in fogli di lamiera di zinco supportati da un tavolato ligneo.

Nella parte centrale della copertura è inserito un lucernario di dimensioni ridotte, il quale, oltre a consentire l'illuminazione dello spazio interno, è predisposto per l'areazione necessaria all'eliminazione dei fumi prodotti dalle locomotive.

Le parti metalliche sono realizzate con profilati di tipo standardizzato a sezione aperta e sono collegate mediante chiodatura.

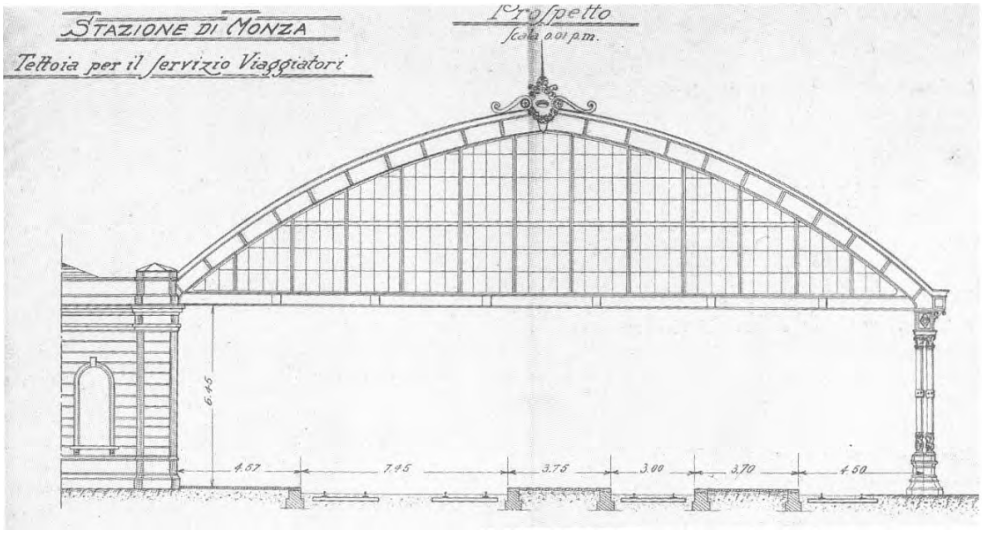


Fig. 11 – Monza: stazione di Monza, 1879, prospetto della tettoia in ferro: elaborato grafico di rilievo realizzato in occasione dei lavori di riparazione del 1930 (Carughi e Guida, 2003: 109).

Conclusioni

Le sperimentazioni con il ferro e vetro avviate in Italia alla fine dell'Ottocento si concretizzano esclusivamente in veri e propri pezzi di bravura, spesso inseriti in opere a struttura mista, i quali mettono in evidenza il singolare rapporto che intercorre tra la costruzione metallica e il più generale panorama edilizio italiano di quegli anni. Una vicenda che, seppur temporalmente contenuta, contraddistingue un capitolo decisamente paradigmatico della storia della costruzione italiana.

I casi analizzati, inoltre, mettono in luce un fatto importante: alla contenuta numerosità in termini quantitativi delle opere realizzate, se paragonate all'edilizia tradizionale, corrisponde una elevata qualità delle soluzioni tecniche proposte.

Bibliografia

Alisio G. 1975. Aspetti della cultura architettonica dell'800 a Napoli: la gallerie in ferro. L'architettura. Cronache e storia, 237, 520-533.

Brino G. 1995. *Crystal Palace, Cronaca diun'avventura progettuale*. Genova: Sagep.

Carughi A. Guida E. 2003. *Alfredo Cottrau 1839-1898, L'architettura del ferro delle grandi trasformazioni*. Napoli: Electa.

Dassori E. 1997. *La copertura metallica nella Francia del XIX secolo.* Milano: BE-MA.

De Fusco R. 1980. *L'architettura dell'800*. Torino: Utet.

Jodice R., Roisecco G., Vannelli V. 1972. *L'architettura del ferro. L'Inghilterra (1688-1914).* Roma: Bulzoni.

Jodice R. Roisecco G., Vannelli V. 1973. *L'architettura del ferro. La Francia (1715-1914).* Roma: Bulzoni.
Jodice R. 1985. *L'architettura del ferro. L'Italia, 1796-1914.* Roma: Bulzoni.
Mattone M. 2000. *Ferro e architettura, l'uso del ferro e della ghisa in territorio piemontese.* Torino: Celid.
Rappini E. 1982. L'evoluzione del materiale e dei processi siderurgici dalla ghisa al ferro, all'acciaio. In; *Contributi alla Storia della costruzione metallica* (a cura di V. Nascè). Firenze: Alinea.
Selvafolta O. 1983. La Galleria Vittorio Emanuele II. In: *Costruire in Lombardia, Aspetti e problemi di storia edilizia* (a cura di A. Castellano e O. Selvafolta). Milano: Electa.
Trivellin E. 1998. *Storia della tecnica edilizia dall'Unità ad oggi*. Bologna: Alinea.
Zordan M. 2006. *L'Architettura dell'Acciaio in Italia.* Roma: Gangemi.
Zorgno A.M. 1988. *La materia e il costruito.* Firenze: Alinea.
Zorgno A.M. 1995. *Materiali tecniche progetto. La cultura del progetto nel Piemonte del secondo Ottocento.* Milano: Franco Angeli.

Note

1. «Mengoni [...] deve la sua fama al progetto per la nuova sistemazione di Piazza Duomo a Milano e, soprattutto, all'interno di quella più vasta proposta, alla successiva realizzazione della Galleria Vittorio Emanuele II. L'architetto emiliano, il quale aveva preso parte al concorso bandito dall'amministrazione milanese nel 1861, l'anno successivo, assieme ad altri due progettisti, fu invitato a partecipare ad una gara di secondo grado; e, pur se gli furono mosse non poche critiche (tra gli altri, in special modo da Camillo Boito), ne risultò vincitore. Il successo ottenuto da Giuseppe Mengoni fu dovuto al fatto che il progetto da lui proposto, oltre che rispondere nella maniera ritenuta più adeguata alla richiesta della committenza in merito all'aspetto particolarmente scenografico da conferire all'intervento, presentava il maggior carattere di fattibilità» (Trivellin, 1998: 40-41).
2. Il costo dell'intera copertura (543.000 kg di ferro) ammonta, secondo le perizie svolte, a 816.000 lire, in cui sono comprese varie opere accessorie oltre a 102.000 lire per i 7.800 m^2 di vetri rigati forniti dalla Saint-Gobain (Selvafolta, 1983).
3. La costruzione dell'arco costò la vita a Mengoni. Tra le molte ipotesi intorno alla sua morte, la più probabile sembra essere quella dell'incidente di cantiere dovuto al cedimento di una delle impalcature.
4. Tale copertura «[…] debutta nel panorama nazionale ed europeo con caratteri di viva originalità rivendicando - per la concisa potenza espressiva del congegno strutturale dovuta anche all'uso inedito di centine ad arco ribassate di elegante essenzialità - un suo preciso primato nella definizione dei grandi spazi coperti della seconda metà dell'Ottocento» (Jodice, 1985: 198).
5. È interessante sottolineare la singolare soluzione adottata da Mazzucchetti per il modello di calcolo della struttura di copertura in ferro. Alla maggiore complessità statica della soluzione da lui proposta non corrisponde, infatti, l'adozione di schemi di calcolo in grado di tenere in conto il notevole numero di incognite che influiscono sul funzionamento statico dell'intera struttura. All'epoca, infatti, gli studi relativi alla teoria elastica dell'arco non sono ancora tali da garantirne una sicura applicabilità. Mazzucchetti, così come tutti i progettisti di questo periodo, si riferisce ancora alle formule e agli schemi adottati e sperimentati per l'arco rigido (Mattone, 2000: 88-89).

Danilo Capecchi

John Smeaton. A civil engineer

John Smeaton. Un ingegnere civile

Abstract
John Smeaton, one of the foremost engineers of the 18th century, also gained a reputation as a man of science. Early in the 1750s Smeaton began experiments on mills that constituted his chief contribution to science and shortly after was involved in an intense activity as a professional engineer both as consultant and as designer in the civil and mechanical field. Though he did not receive a regular education in natural philosophy and mathematics, Smeaton attended regularly meetings at the Royal society of London. Under Charles Cavendish's proposal he was elected in 1753 a fellow of this Society and not only for his skill in mathematics, mechanics and natural philosophy, but also for his excellence as an instrument maker. Smeaton considered himself as an independent engineer and began to call himself (among the first) a civil engineer. Smeaton's career provides an early example of the interaction of modern engineering and science.

Sommario
John Smeaton, uno dei più importanti ingegneri del XVIII secolo, ha anche la reputazione di uomo di scienza. All'inizio degli anni '50 Smeaton iniziò le sperimentazioni sui mulini che costituirono il suo principale contributo alla scienza e poco dopo fu coinvolto in un'intensa attività di ingegnere professionista sia come consulente che come progettista in campo civile e meccanico. Sebbene non avesse un'istruzione regolare in filosofia naturale e matematica, Smeaton partecipava regolarmente agli incontri della Royal Society di Londra. Su proposta di Charles Cavendish fu eletto nel 1753 membro di questa Società e non solo per la sua abilità in matematica, meccanica e filosofia naturale, ma anche per la sua eccellenza come costruttore di strumenti. Smeaton si considerava un ingegnere indipendente e iniziò a definirsi, tra i primi, un ingegnere civile. La carriera di Smeaton fornisce un primo esempio dell'interazione tra ingegneria moderna e scienza.

Introduction

At his beginning John Smeaton (1724-1792) was encouraged to follow a legal career and after a sound elementary education, with element of mathematics also, at Leeds Grammar school, he was sent to London for further employment and training in the courts. An early inclination toward mechanical arts soon prevailed, however, and he became a maker of "philosophical (scientific) instruments", a pursuit that allowed ample scope for both his scientific interests and his mechanical ingenuity.

Early in the 1750's Smeaton began experiments on mills that constituted his chief contribution to science; and during this period he also was busied with several technical innovations, including a novel pyrometer with which to study the expansive characteristics of various materials. By the end of the decade it had become evident that engineering works were more profitable than making scientific instruments, thus Smeaton established himself as a consultant in these fields. During the last thirty-five years of his life he was responsible for many engineering projects, including bridges, steam engine facilities, power stations run by wind or water, mill structures and machinery, river and harbor improvements. He was a charter member of the first professional engineering society, the Society of civil engineers (not to be confused with the later Institution of Civil Engineers), which, founded in 1771, after his death became known as the Smeatonian Society. Though he did not receive a regular education in natural philosophy and mathematics, Smeaton attended regularly meetings at the Royal society. Under Charles Cavendish's proposal he was elected in 1753 a fellow of the Royal society and not only for his skill in mathematics, mechanics and natural philosophy, testified by his publications, but also for his excellence as an instrument maker.

Smeaton considered himself as an independent engineer and began to call himself (among the first) a "civil engineer" (to be set against military engineer, the usual acceptation for engineer). The first official mention of the term civil engineer appeared in a 1763 London directory addressed to Smeaton and Thomas Yeoman (1709?-1781). As a pioneer, Smeaton was self-taught. For his design work he usually prepared sketches that were elaborated by his draughts men.

Smeaton's career provides an early example of the interaction of modern engineering and science. His technical interests influenced the direction of his scientific research and *vice versa*; for instance he used the results of his research in his own waterwheel designs, consistently favoring breast wheels and overshot wheels and almost never using the undershot system. There is reason to believe that Smeaton's work led other designers to forsake the long-preferred undershot wheel.

A theoretical engineer

With his memoir *An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion* of 1759,

Smeaton opened up a substantially new perspective for experimentation. His paper was so well received to award the author with the Copley Medal, the highest honor of the Royal society. Until then, at least in most cases, the experiments had the role of verifying, or discovering, directly or indirectly, laws or principles of a general nature, that is valid in every situation. Smeaton carried out experiments on artifacts, on machines, with the aim of discovering or verifying laws of a particular nature, valid only for the machine with which he was experimenting or machines similar to it. Experimentation was necessary because the use of general laws was too complex for the computation capability of the times to be used and also because some general laws, for example those of fluid dynamics, were not yet well known; at least in most scientific and technical environments.

With no knowledge of the theory of models, which will be developed only in the 20th century, Smeaton still realized that the situation for real machines could be very different from that of models and a thing that does very well in a model, could not answer satisfactory in large. It is for this reason, that he deferred offering his results obtained in 1752-1753, by using models, till he had an opportunity of putting the deductions made therefrom in real practice, in a variety of cases, and for various purposes (Smeaton 1759: 101).

The execution of experiments on models was not new at the time, for example Desaguliers made intensive use of them in his lessons of 'physics', but they were on very idealized models, only useful to illustrate the validity of some laws. Machine builders and engineers of the past had also resorted to scale models; but no one before Smeaton had carried out a rigorous and systematic approach, certainly influenced by the new conceptions of experimental philosophy, and few had the manual skill to make models with the accuracy like that of Smeaton for his past as an instrument maker.

Smeaton's memoir is divided into two parts, the former dedicated to water wheels and the latter to windmills. Although he gave very few bibliographical references – only Euler is cited for the first part and Antoine Parent (misprinted as Parint) (1666-1716) and Colin Maclaurin (1698-1746) for the second – Smeaton showed to know well the state of the art about mills, even if it is unlikely he knew the theoretical works of hydrodynamics by Euler, the Bernoullis and d'Alembert.

Wind mills

The part of Smeaton's memoir dedicated to wind mills, is generally considered as less interesting than that dealing with the water wheels. The judgment, however, derives from the fact that the last is the one that most influenced the technology of the time. In reality, from a strictly theoretical point of view, the memoir on windmills is richer and more original; for this reason it is presented first and with more care. The precise references to Parent and Maclaurin, who had written on the subject a few years earlier, are important both because they reveal the reading of recent literature

by Smeaton, and because they suggest that Smeaton's knowledge of mathematics must have been good, sufficient at least to read works in which modern Calculus was used. Even if in his memoir he did not use it.

The paper opens with the presentation of the model used. According to Smeaton wind can be obtained in two ways; either to make the air move toward the machine, or to make the machine to move against the air. But moving the air against the machine, in a sufficient volume, with steadiness and required speed, was not easily put in practice at the time. And carrying the machine forward in a right line against the air, would require a larger room than one could conveniently meet with. What is most practicable, therefore, was, to carry the axis, whereon the sails were to be fixed, progressively round in the circumference of a large circle, as shown in Fig. 1.

Smeaton confessed that the idea of this model was not his and named (Samuel?) Rouse and John Ellicott as predecessors (Smeaton 1759: 139). However he perfected the model, for instance by introducing the pendulum XV to regulate the rhythm with witch the hand in Z has to pull the rope ZH and consequently maintain a constant rotation speed. The rotation of the rotor support arm (FG) was accomplished by the hand (Z) at the left, pulling the cord that turned the barrel on the shaft (DE). Speed was adjusted so that the support arm made one tum in the time the pendulum (VX) made two vibrations. Thus even though the whirling-arm apparatus was not a new idea, in his customary manner Smeaton improved on others' work in its construction.

The rotor had a sail-tip radius of 53 cm, a sail length of 46 cm, and a sail breadth of 14 cm. The maximum "wind" speed developed appears to be about 2.7 m/s; hence, the Reynolds number – an index to measure turbulence – for these tests was very low, about 25 000; less than in the field (Shepherd 1990: 29). This may have affected the conclusions quantitatively, but qualitative behavior is saved.

Experiments Smeaton carried out regarded the evaluation of what he called the "effect "measured by the product of the weight *p* raised by the wheel multiplied by its turns in a given interval of time (for an assigned model the number of turns is proportional to the vertical displacement of the weight *p*, but more simple to measure). The tests can be divided into two groups. In the first the magnitudes to be varied were the configuration of the sails, the value of the weight to raise and the duration of the experiment; in the second group the speed of wind was varied.

Results regarding the first group of tests showed that the optimal angle of the plane of the blades with respect to the plane perpendicular to the axis of rotation was not 35^0 as calculated by Parent (Smeaton 1759: 150) but much lower, precisely 15^0. The results also showed that the effects obtained with sails designed with empirical criteria were superior to those designed with the existing mechanical theories; for example those suggested by a Maclaurin's theorem, which furnished a formula for the angle with which the plane of the sail must vary along the radius of the blade to take into account the different speeds of its points (Smeaton, 1759:149).

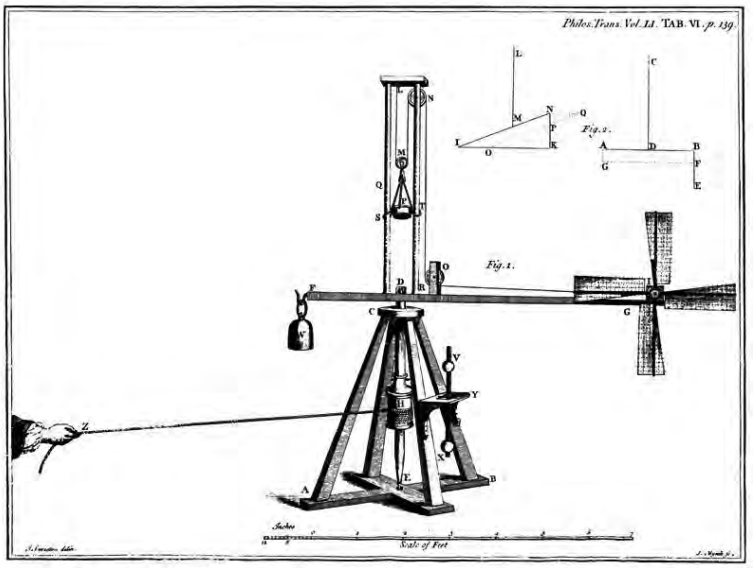


Fig. 1 – Model of the wind mill. Redrawn from (Smeaton, 1759: 174).

Water wheels

The most interesting part of Smeaton's memoir on the water wheels concerns the determination of overshot wheels performance. He found that using the same wheel with plane blades, the efficiency was double than that of the undershot wheels and confirmed the results obtained by Antoine Deparcieux (1703-1768) before him, that the efficiency of the wheel increased by slowing its speed (Capecchi, 2013). He explained the phenomenon by considering the particles of water as non-elastic soft bodies that deform and because of this deformation some mechanical power is lost: «The effect therefore of overshot wheels, under the same circumstances of quantity and fall, is at a medium double to that of the undershot: and, as a consequence thereof that non-elastic bodies, when acting by their impulse or collision; communicate only a part of their original power; the other part being spent in changing their figure in consequence of the stroke» (Smeaton, 1759: 130). The mechanism of dissipation proposed by Smeaton though fascinating, was forgotten after Joule's researches that attributed the lost of mechanical power in the water to the production of heat because of the turbulent motion.

Thanks to Smeaton, the overshot wheels reached a high efficiency and contrasted the success of new-born steam machines.

Maxims and observations

After presenting his experiments Smeaton summarized the results with some rules that could be used by other engineers who did not have the time or the skill

to repeat his experiments. He referred to these rules as “maxims”; a term that has a broad meaning but that in technical applications refers to practical rules, the “rules of thumb” that summarize the shared knowledge on the various aspects of design. The term maxims was used for example by Belidor, in the *Architecture hydraulique* of 1737, a text that Smeaton knew. «My design having been to ensure that this work became useful to all those who read it, I took care to set out in the form of a maxim all the rules which I have deduced from ordinary analysis and new calculations; […] So that they are made more familiar & used with the same confidence […] although they ignore the theory which provided them» (Belidor, 1737: preface V).

Smeaton’s maxims are obtained not by calculations but by careful experimentation. They are named maxims and not physical laws probably for two reasons. First because they have a very limited range (the behavior of a specific machine) while in general the laws of physics have a general character. Second, and I believe mainly, because they are not precise (the term “nearly” is frequent) due to experimental errors and also because the results obtained on models are not fully valid in the real scale. They are shown in Tab. 1.

Maxims II and VIII of the windmills in conjunction give what is today known as Smeaton law (Wood, 1999) for which the force F on the sail is proportional to the square of the wind speed v and its surface S:

$$F = k \cdot S \cdot v^2$$

with k known as “Smeaton coefficient”.

Actually Smeaton did not calculate such a coefficient, even though it could be extrapolated from his data, The value obtained in such a way is much higher than the value currently used; this notwithstanding k is still named Smeaton coefficient.

Not all the results found by Smeaton are translated into maxims; some of them are called observations or conclusions. It is not clear how Smeaton distinguished between maxims and observations, perhaps referring to the former when there is an approximate mathematical formulation? Below an example of observation: «Observ. 1st […]. The virtual head bears no certain proportion to the head of water; but that when the aperture is greater, or the velocity of the water issuing therefrom less, they approach nearer to a coincidence: and consequently in the large openings of mills and sluices, where great quantities of water are discharged from moderate heads, the head of water, and virtual head determined from the velocity, will nearly agree» (Smeaton, 1759: 122).

An experimental scientist

In 1776 and 1782 Smeaton wrote two interesting memoirs, *An experimental examination of the quantity and proportion of mechanic power necessary to be employed in giving different degrees of velocity to heavy bodies from a state of rest* (1776) and

Tab. 1 – Some Smeaton's maxims.

Watermills		
Maxim I	That the virtual or effective head being the some, the effect will be nearly as the quantity of water expended.	p. 116
Maxim II	That the expense of water being the same, the effect will he nearly as the height if the virtual or effective head.	p. 117
Maxim III	That the quantity of water expended being the same, the effect is nearly as the square if its velocity.	p. 118
Maxim IV	The aperture being the some, the effect will be nearly as the cube of the velocity of the water.	p. 120
Windmills		
Maxim I	The velocity of windmill sails, whether unloaded, or loaded so as to produce a maximum is nearly as the velocity of the wind, their shape and position being the same.	p.154
Maxim II	The load at the maximum is nearly but somewhat less than, as the square of the velocity of the wind, the shape and position of the sails being the same.	p. 154
Maxim IV	The load of the same sails at the maximum is nearly as the squares, and their effect as the cubes, of their number of turns in a given time.	p. 156
Maxim VII	The load at a maximum that sails of a similar figure and position will overcome, at a given distance from the center of motion will be as the cube of the radius.	p. 159
Maxim VIII	The effect of sails of similar figure and position, are as the square of the radius.	p. 160

New fundamental experiments upon the collision of bodies (1782), both more or less directly related to the way of measuring the force. He recognized that his conclusions were in opposition to those favored by the disciples of Newton, but diplomatically, and correctly from a modern point of view, specified that both mv and mv^2 were useful when properly interpreted. He explicitly said that his two memoirs took inspiration from his experimental work on mills, which furnished results in contrast with many theoretical analysis, that of Parent for the water wheels for instance.

Mechanical Power and Living Force

In his paper of 1776 Smeaton faced directly the problem of the correct measure of force, intended as capacity of acting, that is if it should be given by mv (referred to as old opinion) or by mv^2 (new opinion). Smeaton cited some authors that wrote about mills: Parent, Maclaurin, Belidor, Desaguliers by remembering that for the latter ‘‘the dispute was a dispute about the meaning of words”; in any case the meaning of words has to be explained (Desaguliers, 1734: VII). A similar statement can be found

in the *Discours préliminaire* to the *Traité de dynamique*, written by d'Alembert one year before.

Smeaton's memoir was published in a prestigious journal, the Philosophical Transactions of London, and thus considered possessing a certain degree of originality at the time. This originality does not appear very evident to a modern reader, who is tempted to consider the results found by Smeaton experimentally as an obvious consequences of the theorem of the conservation of living forces; a theorem already widely known and applied – but not proved – for example by Johann Bernoulli in 1727 and demonstrated satisfactorily at least by Lagrange in 1763 (Capecchi, 2021: 507).

The empirical validation of a principle in mechanics is a rather rare event. Galileo had done this to checking if the speed of a heavy body increases with the space traveled or with the time passed (Capecchi, 2018: 286-289). If he had known Calculus, Galileo could have dissolved his doubt theoretically. Even if Smeaton had had a greater mathematical and/or physical skill he could have avoided experimentation. However at a time when Lagrange's demonstrations were not consolidated and could even be challenged in some way, showing that the principle of conservation of the living forces holds and in its most complete form, in which the static mechanical power is transformed into mechanical kinematic power, could have had a sense.

At the beginning of the memoir Smeaton maintained it useful to clarify the correct use of the term "mechanical power", or simply power (Smeaton, 1776: 458). Less emphasis had the meaning assigned to the "effect", which is simply identified with the speed assumed by bodies under observation. The experimental set used by Smeaton is illustrated in Fig. 2. The weight *s* by its fall makes the two masses, K and L, of 3 pounds (1.35 kg) each, rotate around the axis BN. The rotation is due to the action of the rope connected to the plate of the scale that wounds on two barrels of diameter one the double of the other, large in M and small in N; clearly in the two cases there is a different relationship between the value of the descent of the weight and the number of turns (one turn of the smaller barrel gives a descent of 2.525 inches (≃ 6.5 cm) while one turn of the larger barrel gives a double descent).

The rope connected to the weight *s* has a fixed length; once it has reached the end the weight comes off and the two masses K and L continue to rotate by inertia, at a more or less constant speed for a certain number of revolutions, until the friction brings the whole to rest.

The results of the experiment are reported in Tab. 2. The first column shows the value of the weight *s* in ounces, in the second the barrel used, the large (M) and the small (N). The third column reports the distance of the rotating masses from the center of the axis, one equal to 8.25 inches (≃ 21 cm) (W), the other to 3.92 inches (≃ 10 cm) (H), more or less one half. The fourth column is relative to the turns the rope wounds on the barrel, the fifth the time (*t*) of the descent of the weight *s* in second and the latter column the time (*T*) for the rotating masses make 20 turns in their free

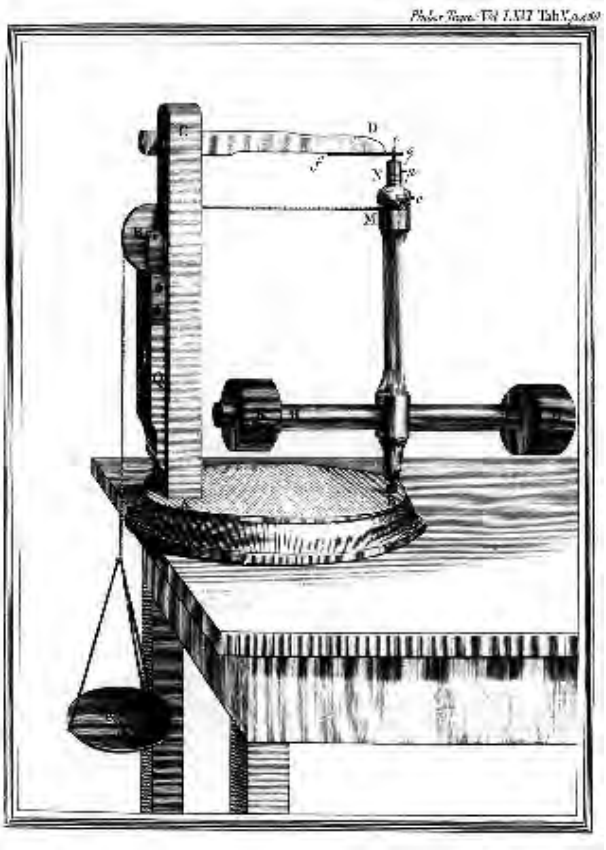


Fig. 2 – Machine for experiments on mechanical power (Smeaton, 1776: 460).

rotation, still in second. This value is inversely proportional to the angular velocity of the axis, and, for a given arrangement of the rotating masses, to their speed.

The examination of the first two rows of Tab. 2 shows how the same mechanical power (in both the two rows the weight of 8 ounces descends of 25.25 inches) is capable of producing the same final effect (that is speed) in a given body, whether it is applied in a greater (row 2) and lesser time (row 1). In the third row a half effect is obtained by 1/4 of the mechanical power (that is for 8 ounces descending only 1/4 of the former descent): «We may conclude, in this instance that the mechanic power, employed in producing motion, is as the square of the velocity produced in the same body» (Smeaton, 1776: 466).

In rows 4, 5 and 6 experiments as in row 1, 2, 3, are presented, only quadrupling the weight *s*, 32 ounces instead of 8. A double effect is obtainined, thus confirming the rule

Tab. 2 – Experiments on mechanical power. s: weight in ounces; type: barrel used (M=large, N=small); d: distance of the rotating masses from the center of the axis (W≃21 cm, H≃10 cm; turns: turns the rope wounds on the barrel; t: time of the descent of the weight s in second; T: time for the rotating masses make 20 turns in their free rotation, still in second.

	s (oz)	*type* (-)	*d* (-)	*turns* (-)	*t* (s)	*T* (s)
1	8	M	W	5	14.25	29.00
2	8	N	W	10	28.25	29.25
3	8	N	W	2.5	14.25	58.50
4	32	M	W	5	7.00	14.00
5	32	N	W	10	14.00	14.75
6	32	N	W	2.5	7.00	28.75
7	8	M	H	5	7.00	14.75
8	8	N	H	10	14.00	15.00
9	8	N	H	2. 5	7.00	30.25

that power varies as the square of speed. Rows 7, 8, 9 differ from the others because the rotating masses have an arm of a reduced value (one half, about). The effect is apparently doubled with respect to rows 1, 2 and 3, as the angular velocity is double.

A modern reader by browsing the Tab. 2 is surprise for finding a quite perfect agreement of the theory he knows and Smeaton experimental results. Indeed a refined theoretical analysis, by using for instance the theorem of living forces, is quite complex. Besides the magnitudes considered by Smeaton one could take into account the weight of the scale, the inertia of the axis and the arm, the kinetic energy acquired by the weight *s*, friction.

Smeaton was quite conscious of these problems and furnished some justifications for the agreement between theory and experiment. Friction is reduced to a minimum by his ability as an instrument maker, the living force of the weight *s* is very small. Even the inertia of the axis and the arms is taken in to account when deciding to locate the masses in their closest position to the axis at a distance of 3.92 inches instead of 8.25/2 = 4.125 inches, with the following reasoning, more or less verbatim taken from Smeaton: When the bodies are at the smallest distance from the axis of rotation, all goes as they were at half the greater distance from axis; for since the axis itself and the cylindric arms of wood, keep an unvaried distance from the center of rotation, the bodies themselves must be moved nearer than half their former distance, in order that, compounded with the invariable parts, they may be virtually at the half distance (Smeaton, 1776: 461-462).

A professional engineer

Little is known about Smeaton's professional life (as well of his life in general), a part from short notes in (Smeaton, 1812: vol. 1). In particular no information is available about his apprenticeship in engineering. As a pioneer, Smeaton was self-taught, developing ideas from his theoretical knowledge and refining them over time or with the input of additional information. He optimized results by introducing incremental changes and monitoring outcomes. For his design work, Smeaton usually prepared a sketch that was turned into working drawings by his draughts men; only two indeed.

In 1760 he based at Austhorpe in a tower of his property. The basement of the building contained his forge; the first floor his lathe; the second his models; the third was his drawing-room and study; and the fourth was a sort of lumber-room and attic. He made astronomical observations from the roof. He used the morning for professional studies and the afternoon for experiments or practical activities. Once in the tower, no one was allowed to disturb him.

Smeaton was a prolific engineer and worked in many fields. His activity is partially testified by Tab. 3 which reports a list of some meaningful works which saw him as a designer or as an essential consultant in the field of civil engineering (mills designs are not reported for the sake of space). In all, Smeaton completed 12 bridges. Two were of brick, the rest of stone – he did not embrace the use of cast iron when it came along in the 1770s. All Smeaton's masonry bridges were far less massive, more elegant and therefore more economical than those of his contemporaries. He was active as inland waterways and fen drainage. In the first half of the 18th century, continental engineers dominated hydraulics research and Smeaton was familiar with their work through books. To learn more, he visited what is now Belgium and Holland. Smeaton performed extensive tests on the Newcomen engine, optimizing its design and significantly increasing its efficiency and was unquestionably the greatest of Newcomen's successors. These studies, however, though very interesting were soon overshadowed by James Watt's invention of the separate condenser, and for this little explored by historians.

Probably the most known Smeaton's design in the field of civil engineering was the Edystone Rock lighthouse, carried out at the beginning of his career as an engineer. Smeaton mapped the surface of the rock where the lighthouse should be built in April 1756 by means of an early theodolite. He used the existing contours and set about constructing the lighthouse substructure by dovetailing the stonework into the existing rock. The tower made with stone, with a circular section had a tapered hyperbolic profile to offer as little resistance to the sea as possible, taking inspiration from the shape of an oak tree trunk; the building was finished in 1759. The lower part of the light house was massive, the upper hollow with four chambers, one above the other.

Smeaton should have had little experience with hydraulic mortar, the critical ingredient for the foundation of the lighthouse, when he began the Edystone lighthouse; for this reason he started a systematic research using both the information he

Tab. 3 – Some relevant Smeaton's works in civil engineering as a designer or as an essential consultant.

Inland navigation	
River Calder	1757
River Calder	1767-69
Forth and Clyde	1764-68
River Lea	1766-67
River Ure	1770-72
Potterick Carr	1762-64
Hatfield Chase	1776
Harbors	
Rye	1763
Eyemouth	1767
Port Patrick	1770-74
Ramsgate	1791

Lighthouses	
Edystone Rock	1756-59
Spurn Point	1767-78
Docks	
Hull	1773
North Shields	1775
Plymouth Dockyard	n.d.
Bridges	
London Bridge	1763-67
Coldstream	1763-66
Cardington	1778
Banff	1772
Hexham	1777-80

knew from books and by carrying out experimental tests. He used the same methodology and care he will use to study the operation of the mills, a combination of rigor and systematicity that probably no one before him had campaigned in this matter, by criticizing clichés that had existed for centuries.

Smeaton immediately confronted two maxims widespread among masons:

i) «Maxim 1. The harder or stronger the limestone was, the stronger would be the lime» (Smeaton, 1791:103).

ii) «Maxim 2. The best lime for land [the purest one] was seldom the best for buildings» (Smeaton, 1791: 108).

The first maxim soon proved unsubstantiated following a series of experiments carried out by forming balls of mortar and immersing them in salt water: the successful mortar was that for which the ball became hard. The second maxim turned out to be correct. Smeaton found that the limestone rocks that give rise to (quick) limes that are most effective are those obtained after burning the rocks of Alberthaw, upon the coast of Glamorganshire; more generally all strata of stone with impurities like that of Alberthaw, named Lyas blue stones, would give satisfactory hydraulic mortars. To understand the nature of the impurities in Lyas rocks, Smeaton asked for help from a chemical friend, Mr. Cookworthy.

The analysis carried out on the rocks was very simple; it involved dissolving them with aqua fortis (nitric acid). Very pure rocks, such as marble for example, dissolved

Tab. 4 – Composition and price of various hydraulic mortars obtained by Smeaton.

	lime	*pozzolana*	*common sand*	*shillings cube feet*
Water lime with Pozzolana				
Edystone mortar	2	2	0	3.66
Stone mortar	2	1	1	2.91
Face mortar	2	1	3	1.33
Water lime with minion				
Face mortar	2	2	1	1.42
Baking mortar	2	1/4	3	0.75

completely giving rise to a colorless liquid; the less pure ones gave rise to an opaque liquid and a residue, which turned out to be clay. Smeaton tried to add clay to the limestone rocks, but he did not get an appreciable result; that one present in natura was much more effective (notice that this result most probably depended on the burning process used by Smeaton; modern concrete can be obtained by burning limestone added with clay. Also to notice that the content of clay of Alberthaw limestone ($\simeq 5\%$) was much lower that the content of clay ($\simeq 20\%$) found in Portland limestone, used later by Joseph Aspdin in 1812 to produce something like modern concrete).

After having identified the best lime, Smeaton went on to search for the best rocks to be used as aggregates, that is sand, for the formation of mortars. The material producing the best mortars was pozzolana, in particular the one coming from Civitavecchia (Italy), which for a lucky circumstance was not difficult for him to obtain. A fairly satisfactory result was achieved by using a cheaper inert, “minion”, that is the sifting of the iron stones, after calcination, which is deemed too small and light to go into the furnace. Sand derived from a rock referred to as Dutch Tarras, a kind of pozzolana used in Holland, was also found to be quite good.

Tab. 4 shows some of the main types of mortar (for a richer case series see Smeaton, 1791: 122), with composition and unitary price in shillings from cube feet (decimal values). The mortar obtained by Smeaton represents an improvement of the hydraulic mortars with respect to that produced by the ancient Romans (Smeaton, 1791: 111) with lime and *pozzolana*.

Smeaton ended his research on the optimal mortar with the following (curious) observation: «Having thus ascertained the leading facts with respect to the making a composition of water mortar for various uses, it remains a *curious* [emphasis added] question, which being myself unable to resolve, I must leave to the learned Naturalist and Chemists […]» (Smeaton, 1791: 120).

Conclusions

As late as the 18th century, mathematicians and philosophers of nature, or using a modern term, scientists, were active in engineering. It can be said that there were scientists full time engaged in engineering in their spare time, usually acting as consultants. But since the early years of the 19th century the new science began to spread also among the class of technicians, that is of those who worked as an engineer as a profession, in a similar way to what had happened in the Renaissance, but in a much more widespread way because the technicians were much more numerous than then. Smeaton was a child of this age; with a self-taught scientific background, he soon mastered the methodologies of (Newtonian) science based on theories and experiments. Since he had to make a living, he devoted himself full time to consulting and designing, but in his spare time he devoted himself to scientific research. One of the greatest engineers of all time, a good scientist.

References

Belidor B.F. 1737. *Architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les differens besoins de la vie*. Tome premier. Paris: Jombert.

Capecchi D. 2013. Over and undershot waterwheels in the 18th century. Science-technology controversy. Advances in Historical Studies, 2(3), 131-139

Capecchi D. 2021. *Epistemology and natural philosophy in the 18th century*. Cham: Springer

Desaguliers J.T. 1734–1744. *A course of experimental philosophy* (2 vols). London: Longman.

Morris A.M.A. 2021. English engineer John Smeaton's experimental method(s): Optimisation, hypothesis testing and exploratory experimentation. Studies in History and Philosophy of Science, Part A, 89, 283-294.

Shepherd D.G. 1990. Historical development of the windmill. Technical Report 4337, NASA.

Smeaton J. 1759. An experimental enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills, and other machines, depending on a circular motion. PTRS, 51, 100-174.

Smeaton J. 1776. An experimental examination of the quantity and proportion of mechanic power necessary to be employed in giving different degrees of velocity to heavy bodies from a state of rest. PTRS, 66, 450-475.

Smeaton J. 1782. New fundamental experiments upon the collision of bodies. PTRS, 72, 337-354.

Smeaton J. 1791. A Narrative of the Building and a Description of the Construction of the Edystone Lighthouse with Stone. London: Hughs.

Smeaton J. 1812. *Reports of the late John Smeaton: made on various occasions, in the course of his employment as a civil engineer* (3 vols). London: Longmans.

Wood D.H. 1999. Smeaton laws? Wind Engineering, 23(6), 373-375.

Andrea Lizza

Isambard Kingdom Brunel: un indiscusso protagonista dell'ingegneria vittoriana

Isambard Kingdom Brunel: An undisputed protagonist of Victorian engineering

Sommario
La memoria ripercorre la vita e le opere di una icona dell'ingegneria vittoriana, Isambard Kingdom Brunel, considerato un genio assoluto per la lungimiranza delle sue idee e delle opere realizzate, ancora oggi, a distanza di oltre duecento anni dalla nascita, è una delle figure più rappresentative ed influenti del Regno Unito. La sua storia tra l'altro si intreccia in modo significativo con quella della Great Western Railway, una delle maggiori compagnie ferroviarie britanniche, e delle Officine ferroviarie di Swindon, da lui realizzate per segnare il passo e garantire in modo significativo lo sviluppo nell'ambito dei trasporti ferroviari, contribuendo alla massima espansione delle linee occidentali nel Regno Unito. Questo poliedrico ingegnere ha operato nei campi più disparati portando notevoli innovazioni in molti settori della scienza e della tecnica, suscitando ammirazione oltre che nella sua epoca anche in quelle successive in cui ha rappresentato di essere un notevole punto di riferimento per generazioni di ingegneri e tecnici.

Abstract
This paper traces the life and works of a Victorian engineering icon, Isambard Kingdom Brunel, considered an absolute genius for the foresight of his ideas and works, still today, more than two hundred years after his birth, is one of the most representative and influential figures in the United Kingdom. Among other things, his history is significantly intertwined with that of Great Western Railway, one of the largest British railway companies, and the Swindon Railway Works, which he built to mark the pace and significantly guarantee development in the area. rail transport, contributing to the maximum expansion of western lines in the UK. This multifaceted engineer has worked in the most disparate fields bringing notable innovations in many fields of science and technology, arousing admiration not only in his time but also in later ones in which he represented a notable point of reference for generations of engineers and technicians.

Isambard Kingdom Brunel: la vita e le opere

Isambard Kingdom Brunel nacque a Portsmouth il 9 aprile 1806, figlio di Sir Marc Isambard Brunel e di Sophie Kingdom. Sin dalla tenera età, Isambard si mostrò molto incline al disegno, alle tecniche di osservazione e alla geometria; incoraggiato dal padre Marc, francese naturalizzato statunitense, che contribuì moltissimo alla sua formazione apprese i primi principi fondamentali dell'ingegneria. Fu dapprima avviato agli studi letterari e successivamente in Francia a quelli ingegneristici.

Nel 1822, dopo essere stato non ammesso alla *École Polytechnique* perché cittadino inglese: iniziò a lavorare come assistente del padre Marc, che in quegli anni era ingegnere capo per la costruzione di una galleria sotto il Tamigi, a Londra, realizzata utilizzando innovative tecniche di scavo da lui progettate. Nonostante una serie di allagamenti, che causarono la morte di alcuni lavoratori e in uno dei quali lo stesso Isambard fu ferito, la galleria fu inaugurata il 25 marzo 1843 ed è tutt'ora in uso, in quanto fa parte della metropolitana londinese. Questa esperienza lavorativa fu estremamente formativa per il giovane Isambard, anche perché la galleria costituì un passo avanti nelle tecniche di perforazione.

Con questo background, in un contesto storico in cui iniziava l'epopea dei ponti sospesi, dello sviluppo ferroviario, dei collegamenti transoceanici con navi sempre più veloci, il giovane Brunel ebbe modo di fornire un contributo non indifferente allo sviluppo di nuove tecniche per la costruzione dei ponti e delle infrastrutture per i trasporti ferroviari e navali, trovando in ogni campo soluzioni che, oltre ad essere innovative, diedero un impulso al progresso e alla grandezza dell'Inghilterra.

Nel 1836 Isambard sposò Mary Elisabeth Horsley e si trasferì a Duke Street a Londra. La coppia ebbe tre figli; il secondogenito Henry Marc Brunel (1842-1903) diventò anche egli un ingegnere e progettò, insieme a Sir John Wolfe Barry, il Blackfriars Railway Bridge a Londra, continuando cosi la lunga tradizione familiare.

Isambard Kingdom Brunel soffrì per molti anni di precarie condizioni fisiche e morì a seguito di un ictus a soli 53 anni, a Londra, il 15 settembre 1859 ed è sepolto nella tomba di famiglia, nel Kensal Green Cemetery di Londra.

La realizzazione dei ponti

Nel 1831 il giovane Brunel aveva appena 25 anni, Thomas Telford ne aveva 74 e Luigi Giura 36. Nel 1826 Telford aveva realizzato il primo ponte sospeso sul Menai, lungo 176 metri e nel 1832 Luigi Giura realizzò il primo ponte sospeso in Italia, il Real Ferdinando, costruito per l'attraversamento del fiume Garigliano, con una luce di 128 metri. Brunel propose quattro suoi progetti per l'attraversamento dell'Avon, un ponte sospeso che attraversa la gola fluviale del fiume e collega Bristol a Leigh Woods nel Nord Somerset, ma vennero tutti scartati da una Commissione presieduta da Telford, il cui progetto risultò vincitore: una forte protesta popolare portò ad annullare il concorso. Venne nominata una nuova Commissione e Brunel vinse il concorso,

realizzando un ponte che ha una lunghezza di 214 metri, è largo 9,5 metri e si eleva a ben 75 metri sopra il fiume e che è il ponte a campata unica più lungo del mondo, più lungo di 38 metri di quello sul Menai e di 86 metri di quello sul Garigliano. I lavori iniziati, nel 1831 vennero sospesi per mancanza di fondi, furono ripresi nel 1862 e terminarono nel 1863 dopo la morte di Brunel. Il ponte a tutt'oggi è in uso.

Brunel progettò molti ponti ferroviari, tra questi i più rappresentativi sono il Royal Albert Bridge sul fiume Tamar a Saltash, nei pressi di Plymouth, il Winsdor Railway Bridge a Bridgewater ed il Maidenhead Railway Bridge sul Tamigi nel Berkshire.

Il celebre Royal Albert Bridge fu progettato nel 1855 per le ferrovie della Cornovaglia. Ha due campate principali di 139 metri e 30 metri sopra il livello medio di alta marea e 17 piccole campate molto più piccole di accesso ai due capi del ponte. La struttura fu inaugurata dal Principe Alberto, consorte della Regina Vittoria, il 2 maggio 1859 e venne completato nell'anno della morte di Brunel.

I nove ponti ferroviari realizzati da Brunel , a seguito della elettrificazione delle linee per la Great Western Railway, andavano incontro alla demolizione, ma il County Council del Buckinghamshire ha trovato delle soluzioni alternative per poterli conservare.

La progettazione e costruzione delle infrastrutture ferroviarie

La figura di Isambard Kingdom Brunel è ricordata per aver introdotto una serie di miglioramenti negli ambiti realizzativi del trasporto ferroviario, che proprio in quegli anni si stava sviluppando nel Regno Unito.

Come accennato, la vita di Brunel è legata allo sviluppo della Great Western Railway (GWR), che aveva sede a Bristol: infatti nel 1833, a soli 27 anni, fu nominato Ingegnere Capo di questa importante compagnia ferroviaria che collegava Londra inizialmente a Bristol e poi, successivamente, a Exeter. La compagnia, fu fondata nel 1833 e fu riconosciuta con una legge del parlamento due anni dopo nel 1835.

Una delle prime innovazioni introdotte da Brunel fu l'adozione di uno scartamento ferroviario più largo rispetto a quello standard, introdotto da Stephenson e utilizzato praticamente ovunque fino a quel momento: 2,140 mm contro 1,435 mm. Le motivazioni di tale scelta furono quelle che adottando uno scartamento largo era possibile viaggiare anche con elevate velocità in condizioni di comfort all'interno delle carrozze, cosa che non avveniva con lo standard di Stephenson, concepito per i carrelli da miniera e non per il trasporto di passeggeri. Lo scartamento largo consentiva inoltre il passaggio di carri merci più larghi, con conseguente maggiore capacità di trasporto. Da queste discussioni nacquero spesso molte controversie che determinarono la cosiddetta "guerra dei calibri", ovvero una competitività molto forte tra le varie compagnie ferroviarie esistenti. La Great Western Railways adottò quindi lo scartamento lungo che mantenne fino al maggio del 1892, anno in cui fu abolito per adottare quello standard per tutte le linee ferroviarie del Regno Unito.

A seguito della scelta della standardizzazione, che comportò l'innegabile vantaggio di poter fruire del materiale rotabile proveniente da ogni parte dell'Inghilterra, la GWR iniziò a mettere in opera lungo le sue linee ferroviarie una terza rotaia, consentendo così di poter utilizzare con questo sistema a tre rotaie entrambi gli scartamenti. Infatti, le due rotaie esterne consentivano di utilizzare lo scartamento largo, mentre una rotaia esterna e la rotaia interna consentivano di utilizzare quello standard. Brunel progettò e controllò personalmente i lavori della linea da Londra a Bristol, facendo in modo che il tracciato fosse quanto più rettilineo possibile; a questo proposito si narra che per progettare la linea percorse a piedi la distanza tra queste due città.

Nel 1854 fu ufficialmente inaugurata la stazione di Paddington, progettata da Brunel insieme a molte altre stazioni della GWR.

L'influenza di Brunel e delle sue scelte tecniche, in aperto contrasto con le teorie di Stephenson, si fece comunque sentire per molti anni, anche dopo la sua morte.

La Great Western Railway (GWR)

La Great Western Railway fu costituita per lo sviluppo della rete ferroviaria nella parte occidentale dell'Inghilterra, per consentire il collegamento tra Bristol e Londra. In quei tempi Bristol era il secondo porto del paese e il primo per il commercio con l'America, si rendeva quindi necessaria la realizzazione di una linea ferroviaria che l'avrebbe collegata a Londra. Questa compagnia ferroviaria ha da sempre gestito i collegamenti a partire dalla stazione londinese di Paddington con l'Inghilterra sud occidentale e il Galles Meridionale e il servizio locale con la valle del Tamigi. È stata una delle più prestigiose compagnie ferroviarie del Regno Unito. Nel 1948 fu nazionalizzata per dare origine insieme ad altre compagnie alla British Railways, che successivamente nel 1987 fu poi privatizzata.

Come detto, Isambard Kingdom Brunel fu nominato Ingegnere Capo della compagnia e adottò subito delle scelte rivoluzionarie rispetto al resto delle altre compagnie ferroviarie. Nel 1837 Brunel assunse il giovane ingegnere meccanico Daniel Gooch (1816-1889), che fu poi nominato Ingegnere Capo della GWR dal 1837 al 1864 e Presidente dal 1865 al 1889 e che ebbe un importante ruolo nello sviluppo della GWR, in cui si occupò personalmente anche della progettazione delle locomotive. Tale nomina fu voluta dallo stesso Brunel che a causa dei suoi molteplici impegni si era dedicato alla progettazione navale in cui darà un significativo contributo innovativo per lo sviluppo della navigazione transatlantica.

Le Officine di Swindon e lo Swindon Steam Railway Museum

Le prestazioni delle prime locomotive prodotte dalla GWR furono insoddisfacenti: solo la North Star, progettata da Stephenson diede buoni risultati. Era quindi necessario progettare e costruire locomotive efficienti e produrre il materiale rotabile e per far ciò bisognava individuare un sito in cui impiantare nuove e più grandi Officine,

anche a seguito dell'espansione e dello sviluppo della compagnia ferroviaria. Il sito fu individuato da Brunel e Gooch nel 1840 nel villaggio di Swindon.

Le locomotive prodotte nelle Officine di Swindon sono state innumerevoli, grazie alla fervida e attenta opera progettuale di Brunel e successivamente di Daniel Gooch, che curava e sorvegliava direttamente tutte le nuove realizzazioni tra cui la GWR Iron Duke Class, una locomotiva in grado di raggiungere nel 1840 i 110 km/h.

Grazie a Brunel la città di Swindon diventò in breve una delle città a maggior crescita demografica ed economica nell'Europa del 1800. Intorno alle Officine nacquero ben presto alloggi, chiese, complessi residenziali, ospedali che migliorarono notevolmente le condizioni di vita dei lavoratori, lasciando una forte impronta anche nello sviluppo sociale. Si pensi che l'attuale Ospedale di Swindon si chiama ancora oggi Great Western Hospital.

Le Officine hanno chiuso definitivamente nel 1986. Un edificio attualmente è stato destinato ad ospitare lo Swindon Steam Railway Museum, dedicato a conservare la memoria della GWR, nel quale è possibile ammirare oltre a interessantissime locomotive a vapore e cimeli vari anche una statua di cera di Isambard Kingdom Brunel.

Le innovazioni nella navigazione transatlatica

Anche nel campo della navigazione transatlantica Isambard Kingdom Brunel ha lasciato un segno indelebile.

Uno dei sogni di questo eclettico ingegnere era quello che qualsiasi viaggiatore acquistando un biglietto alla stazione ferroviaria di Paddington potesse arrivare direttamente a New York, in America. Si dedicò quindi con passione alla progettazione di una nave, la Great Western, che fece il suo viaggio inaugurale nel 1838. Rispetto alle costruzioni navali tradizionali, la nave presentava, oltre al sistema di propulsione con ruota a pale, anche un sistema di propulsione a elica. Il piroscafo, la cui struttura era in legno, presentava una lunghezza di 72 metri ed era in grado di percorrere la Tratta da Bristol a New York in 15 giorni e 5 ore. Successivamente Brunel progettò la SS Great Britain, antesignana delle moderne navi, realizzata nel 1843 completamente in metallo e dotata esclusivamente di propulsione a elica. Nel 1852 iniziò la costruzione della SS Great Eastern, destinata ai collegamenti su lunga distanza tra l'Inghilterra, l'India e l'Australia, L'iniziativa si rivelò in questo caso un insuccesso sotto il profilo commerciale; venendo meno le aspettative sui profitti previsti, la nave fu successivamente riconvertita e utilizzata per la posa del primo cavo sottomarino per le comunicazioni telegrafiche tra Europa e Stati Uniti d'America.

Le sperimentazioni nella trazione a propulsione atmosferica

Tra i tanti contributi innovativi nell'ambito tecnologico, Brunel sperimentò anche la possibilità di applicare alla trazione ferroviaria un ingegnoso sistema a propulsione atmosferica.

Purtroppo questo sistema realizzato lungo una tratta della South Devon Railway Company, tra il 1847 ed il 1848, presentò vari inconvenienti dovuti al deterioramento di alcuni componenti utilizzati con conseguenti elevati costi di manutenzione. Brunel ben presto pose fine a questo progetto, riconoscendone l'insuccesso e riuscendo così ad evitare dei costi di esercizio proibitivi. Si deve dare atto della onestà intellettuale di questo grande ingegnere che sapeva ammettere anche gli insuccessi.

Le innovazioni nell' ambito della prefabbricazione ospedaliera

La Gran Bretagna nel 1854 era impegnata nella guerra di Crimea e a causa delle precarie condizioni igieniche dell'Ospedale militare di Istanbul, i feriti spesso contraevano colera, tifo, dissenteria, per questo motivo Florence Nightingale inviò un appello al giornale The Times per sollecitare il governo a trovare una soluzione al problema. L'anno successivo Brunel accettò l'incarico, di progettare un ospedale prefabbricato da inviare in Crimea, commissionato dal Dipartimento della Guerra.

Anche in questo caso la progettazione fu estremamente accurata e furono privilegiati gli aspetti relativi all'igiene con una serie di accorgimenti tali da ridurre il tasso di mortalità tra i ricoverati. La costruzione di ospedali con moduli prefabbricati è una pratica ancora diffusa al giorno d'oggi ed anche in questo campo si può dire che l'intuito di Brunel fu davvero geniale e provvidenziale, ed a tutti gli effetti fu anche un precursore dell'ingegneria clinica.

Conclusioni

Isambard Kingdom Brunel rappresenta una indiscussa icona dell'ingegneria vittoriana, nella sua breve ma intensa vita è stato un protagonista e un innovatore nei più disparati campi dell'ingegneria, dando un contributo non solo al progresso tecnico scientifico ma anche allo sviluppo socio economico dell'Inghilterra realizzando efficienti e innovative infrastrutture. Ancora oggi, nel Regno Unito, viene considerato come una della personalità più influenti di tutti i tempi. Oltre a rappresentare una delle figure più leggendarie che si siano mai avute in tutti i campi dell'ingegneria britannica.

Bibliografia di riferimento

Jones R. 2020. *Isambard Kingdom Brunel*. Barnsley: Pen & Sword.

Lizza A. 2020. Sir Nigel Gresley e la leggenda del Flying Scotsman. In: *Atti del 8° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria – 4th International Conference*, Napoli, dicembre. Napoli: Cuzzolin Editore.

Roden A. 2012. *Great Western Railway*. London: Aurum Press Ltd.

Rolt. L.T.C. 1989. *Isambard Kingdom Brunel*. London: Penguin Books Ltd.

Tomkins R., Sheldon P..1990. *Swindon and the GWR*. Stroud: Alan Sutton Publishing Ltd.

Williams A., Percival D. 1999. *British Railways Locomotives*. London: Ian Allan Ltd.

Marina D'Aprile

Apparecchi murari "irregolari" storicizzati: le tessiture "a cantieri" di area campana

Historic "irregular" stonelaying: masonry walls "a cantieri" in Campania's region

Sommario
Le tessiture "irregolari", più propriamente da definire "complesse", cioé confezionate in prevalenza con pietre solo spaccate, dette "rustiche", nell'insieme delle loro varianti, sostanziano una tradizione di lungo periodo nella storia della costruzione muraria. Il rilievo di paramenti di antica costituzione filologicamente datati, dove possibile indagati nelle sezioni verticali e orizzontali, coordinato alla lettura stratigrafica dei competenti elevati e all'analisi delle fonti coeve, iconografiche e documentarie, in alcune realtà spazio-temporali ha evidenziato il persistere in questa tipologia di una tecnica detta "a cantieri", contraddistinta da allettamenti orizzontali all'incirca equidistanti. In Campania, questo repertorio ricorre, ad esempio, almeno dal Medioevo alla fine dell'era moderna. Partendo dall'inquadramento di metodo che definisce tale campo di studi, il contributo esamina la tecnica in discorso nelle sue declinazioni temporali e territoriali, in particolare nell'areale campano, rimarcandone i possibili nessi con le soluzioni architettonico-costruttive e le competenti realtà socioeconomiche e culturali.

Abstract
The "irregular" masonry walls, better qualified as "complex" ones – i.e., mostly made by rough stones – substantiate a long-term phenomenon in walling history. The survey of philologically dated, congener wall faces – possibly, investigated at their vertical and horizontal sections – coordinated with stratigraphic readings of the building facades they belong and researching of historic sources, in some areas highlighted the long-term use of a type of this masonry denoted by horizontal coursed rough stones set in mortar, approximately, at a periodic size ("*a cantieri*"). For example, in Campania this practice lasted from Middle Ages to the end of Modernity, at least. Starting from the methodology defining this field, the paper focused the territorial and chronological variations of this masonry technique - in particular, looking at the Campania's

built heritage - and the possible nexuses with the coeval architectural and constructive solutions and socioeconomic and cultural scenarios.

Introduzione

Dati gli oltre quarant'anni di esperienza, lo studio delle tecniche costruttive "tradizionali" invera oggi un campo pluridisciplinare consolidato. Storia, archeologia, restauro, scienze fisico-chimiche e cultura materiale convergono, difatti, nel comune interesse per questi temi. Nella conservazione, ad esempio, l'argomento ha acquisito, da tempo, una centralità condivisa (Della Torre, 2008). Almeno dagli anni Settanta, la necessità di comprendere, per proteggere, i manufatti trascurati da una tutela volta prevalentemente ai valori figurali, insieme all'attenzione crescente per la materia del costruito, frutto del declino neoidealistico a opera del materialismo storico e dello strutturalismo, hanno spinto progressivamente questo settore all'analisi degli aspetti materiali e tecnici, anche mutuando strumenti e approcci da altri saperi. Ulteriori discipline, infatti, hanno approfondito le questioni in oggetto, sebbene di rado, come in altri contesti, gli apporti pluridisciplinari siano poi confluiti in un discorso epistemologico transdisciplinare[1]. Laddove le finalità, i metodi, i parametri e le scale di lettura autorizzano un fondato esercizio comparativo è possibile, però, strutturare alcuni quadri d'insieme come, con le dovute cautele, le note che seguono hanno cercato di restituire.

La conoscenza dell'arte muraria: metodi, strumenti e apporti disciplinari

Lo studio dei registri murari di storica costituzione filologicamente datati ha avuto origine in ambito archeologico. Questo studio prevede l'applicazione coordinata di metodologie investigative indirette, la ricerca iconografica e documentaria, e dirette, il rilievo e la schedatura delle testimonianze materiali, per individuare i parametri caratterizzanti e, quindi, attraverso la stima delle loro invarianze e declinazioni, definire su basi temporali e territoriali le seriazioni tipologiche corrispondenti. I primi studi sugli apparecchi murari, segnatamente romani, con finalità tassonomiche agirono nel solco di una cultura tardopositivista della quale, in base a una concezione evoluzionistica della storia, la discretizzazione tipologica del reale in applicazione di approcci logico-deduttivi costituì un ingrediente costante[2]. Nei successivi sviluppi, invece, un importante supporto all'evoluzione di questi studi è stato svolto dall'analisi stratigrafica, funzionale alla comprensione della processualità storica del costruito. Decodificando in senso temporale, anteriore, posteriore e coevo, i rapporti fisici (stratigrafici) tra le parti (strati) componenti un manufatto, se ne ottiene infatti, in modo relativo, la sequenza costruttiva, o "messa in fase", la quale, grazie agli "elementi datanti", può essere, poi, attribuita in senso assoluto, datando conseguentemente le componenti murarie.

Un altro rilevante strumento e corollario dell’indicato campo di studi è rappresentato dalla cronotipologia. Metodo induttivo *par excellence*, fondato sul riconoscimento di invarianze e affinità fra elementi congeneri distinguibili in base alla loro forma, il processo consente la costruzione di classi di dati, ordinati temporalmente, all’interno di spazi connotati da caratteri geofisici e storico-culturali di sostanziale omogeneità, gli “areali”. La cronotipologia può anche essere assunta come autonomo mezzo di datazione, purché il suo ricorso sia contestuale ad altri metodi attributivi, constatata la natura probabilistica, dunque perfettibile, del suo approccio (Mannoni, 1997: 24)[3]. All’interno di ogni areale il cronotipo sostanzia, insomma, una «chiave cronologica locale», espressione di uno «standard di comportamento delle variabili di materiali, tecniche, dimensioni e forme» (Ferrando Cabona, 1998: 76).

Il perfezionamento dell’applicazione agli alzati della lettura stratigrafica, concepita inizialmente per le strutture ipogee, segnatamente, attraverso gli apporti forniti a tali elaborazioni dagli studiosi del restauro, dalla fine degli anni Ottanta, ha contribuito sostanzialmente all’affinamento del metodo cronotipologico. Sull’esempio di quanto codificato da Tiziano Mannoni per i registri in pietra d’area ligure e, in seguito, per quelli laterizi (mensiocronologia)[4] di altri contesti, un’articolata messe di studi si è progressivamente focalizzata sulle tecniche murarie, specie medievali, in particolare negli ambiti toscano (Parenti, 1987), lombardo (Brogliolo, 1989), laziale (Fiorani, 1996; Esposito,1998) e campano (Fiengo e Guerriero, 1999), facendo registrare, insieme alla crescente attenzione per i repertori moderni, il consolidarsi di un campo di ricerca costantemente aggiornato[5].

Il magistero “a cantieri”: stato dell’arte, caratteri e declinazioni

Per formulare un quadro di sintesi sulle tessiture “a cantieri” sono necessarie alcune avvertenze. La prima concerne la perfettibilità delle letture proposte, da verificare sia in rapporto all’acquisizione di nuovi dati reperiti in altri areali, sia in confronto a ulteriori prospettive disciplinari. L’altra, correlata altresì alla non uniformità degli impianti di metodo approntati nelle diverse ricerche, riguarda le lacune temporali e territoriali che caratterizzano le conoscenze sinora raccolte.

In generale, le murature “a cantieri”, tipiche opere “da muratore” (Mannoni, 1993: 15; Mannoni, 1997), si connotano per le superfici esterne e interne del setto composte, quasi unicamente, da pezzature “irregolari” ricavate dal sito stesso di costruzione o nelle sue vicinanze. Queste pietre, spaccate con la mazzetta secondo il “verso” della formazione rocciosa, pietre “rustiche”, nei volumi maggiori sono appena regolarizzate nel piano di posa, in media, coincidente con la faccia più estesa. Diversi sono i modi di disporre le pezzature che, in ragione della caratterizzazione petrografica, possono recare forme e grandezze più o meno assortite. A prescindere da tali modalità di allestimento, questi registri presentano però uniformemente ricorsi orizzontali pressappoco equidistanti, i “cantieri”. Anche per qualità litiche

molto differenziate, a meno delle oscillazioni generate da contingenze costruttive, come all'imposta di bucature e orizzontamenti, questa misura assume caratteristiche d'invarianza per intervalli cronologici di diversa estensione, sebbene non sia raro riscontrarne sensibili variazioni anche in manufatti coevi e, soprattutto negli esemplari più antichi, persino nella stessa parete.

Gli allettamenti orizzontali che definiscono i bordi superiori dei "cantieri" sono ottenuti mediante ringrossi di malta inzeppati con scaglie, frammenti, scarti della coltivazione e/o della lavorazione lapidea, nonché con prodotti delle raccolte superficiali, troppo piccoli per essere spaccati. Le "zeppe", sempre infisse col martello, cioè "messe in tiro" nello strato di malta, si rinvengono sovente anche nei vuoti generati dal mancato parallelismo delle facce verticali delle pietre[6].

L'analisi del patrimonio edilizio in diverse aree italiane ha evidenziato il progressivo abbandono, a partire dal tardo Medioevo, delle tecniche a filari in conci e/o in bozze e di quelle a corsi ondulati, sdoppiati e convergenti, sostituite da registri "complessi", generalmente dotati di periodici ricorsi di orizzontamento. In merito, è opportuno sottolineare che la muratura si definisce a filari quando ogni allettamento, perfettamente orizzontale da un capo all'altro del muro, è apprestato con un'unica fila di pietre, ovviamente "lavorate": conci e/o bozze ben spianate, almeno negli assetti orizzontali. Nei corsi ondulati, sdoppiati e convergenti, invece, la geometria degli allettamenti consegue all'uso di litici di forme, lavorazioni e grandezze eterogenee; di conseguenza, per pareggiare l'altezza delle pezzature più grandi, spesso vi si affiancavano due elementi sovrapposti minori, sdoppiando così il corso.

Registri "complessi" con ricorsi di orizzontamento all'incirca periodici sono stati rilevati, ad esempio, nel Medioevo Senese, soprattutto, dalla seconda metà del XIV sec. (Parenti, 1992: 58). Nel basso Lazio, seppure utilizzata in precedenza, si direbbe che questa tecnica si sia affermata, invece, in particolare nel XV sec. (Fiorani, 1996: 118-135). Sulla base di tali evidenze, i magisteri complessi sono stati spesso anche definiti "alla moderna", riconoscendo nel tipo "a cantieri" una forma di transizione tra le opere "dello scalpellino" e quelle propriamente "del muratore". Molti areali, però, specie nel XIII e XIV sec., fanno registrare un'adozione contestuale delle tipologie murarie citate, evidentemente selezionate in ragione delle soluzioni architettoniche da sviluppare e/o delle disponibilità finanziarie della committenza. Del resto, i cosiddetti "bassi cantieri", caratterizzati da una distanza tra gli allettamenti particolarmente ridotta, inferiore a 40 cm, si rinvengono sin dal XII sec., soprattutto nelle aree interne, montane e pedemontane, e nelle zone segnate da formazioni calcaree o, comunque, di mediocre lavorabilità (D'Aprile, 2001).

Oltre che in Campania, secondo declinazioni differenziate, sono stati riscontrati registri "a cantieri" in Sardegna, Liguria, Toscana, basso Lazio e Calabria. Del resto, benché ne siano stati rilevati pochi esemplari, murature "complesse" con «livellamenti orizzontali ogni 50-60 cm, che corrispondono, verosimilmente, alle "giornate"

di cantiere», per lo più attribuite all’era moderna e ritenute conseguenza della coeva affermazione dei rivestimenti a intonaco, sono state registrate anche nella val d’Intelvi, regione natia dei noti *magistri antelami*, che tanta parte ebbero nella diffusione di soluzioni architettoniche e costruttive, segnatamente, nel nord Italia dal Medioevo alla tarda Modernità (Cagnana, 1997: 453).

In Sardegna (Giannattasio, 2020; Pintus, 2017; Pirisino, 2017), le architetture difensive dal XII al XV sec., in diverse regioni, mostrano murature in pietrame di varia litologia con ricorsi orizzontali a distanze pressoché costanti. A sud, sebbene a volte più simili alle tessiture in corsi sdoppiati e convergenti, questi apparecchi recano “cantieri” di circa 39÷64 cm, ricorrendo, in prevalenza, nelle strutture datate «al dodicesimo e al tredicesimo secolo, riconducibili alla presenza pisana» (Pintus, 2017: 162). In questo repertorio è stato riconosciuto, inoltre, un sensibile incremento nel tempo della distanza tra i ricorsi e un significativo «peggioramento nell’apparecchiatura», pure associato al ricorso a una maggiore quantità di malta (Pintus, 2017: 162). Nel nord dell’isola, per un’altezza dei “cantieri” da 20 a 50 cm, questo magistero ricorre «con continuità dal XII al XV secolo» nelle parti di fabbrica di più semplice morfologia, le cortine murarie, e di carattere funzionale, le cisterne (Pirisino, 2017: 184). Molto più diffusa appare, invece, l’adozione di questa tecnica in Sardegna nelle torri costiere moderne, tra il XVI sec. e la prima metà del XVII sec. (Giannattasio et al., 2017). In questi casi, la distanza fra i ricorsi orizzontali si attesterebbe nell’intervallo 47÷64 cm, con una prevalenza di valori di circa 50÷55 cm negli esemplari della seconda metà del XVI sec. Seppure in un numero limitato di fabbriche concentrate nelle pertinenze settentrionali, anche nelle torri costiere è stato rilevato, in progresso di tempo, un sensibile incremento dell’altezza dei “cantieri”, che, tra la fine del XVI e il terzo decennio del XVII sec., assume valori di circa 66÷85 cm (Giannattasio et al., 2017: 91-99).

Nella Calabria normanna la tecnica, in questo caso detta “a giornata”, come nelle altre realtà, come già affermato, tipicamente impiegata con qualità litiche autoctone, anche di differente caratterizzazione, reca moduli di altezza di 25÷35 cm nell’intervallo più esteso. La ricerca ha evidenziato, inoltre, la mancata costanza, persino nello stesso paramento, di questa misura con variazioni medie nell’ordine di circa 5 cm (Cuteri, 2003: 100, 103, 121).

Nel Lazio meridionale il magistero «irregolare con ricorsi d’orizzontamento» distanti, in media, 70÷100 cm o poco più, si caratterizza «per la notevole variabilità», tanto da rendere «assai complessa l’individuazione di una precisa epoca storica di riferimento» (Fiorani, 1996: 124). Discretizzandone le variazioni in funzione della grandezza, specie e assortimento dei lapidei e delle modalità di realizzazione dei nuclei, è stato verificato, in particolare, l’impiego di questo magistero nelle aree periferiche, nei complessi di altura e nei cantieri meno raffinati, sin dalla prima metà del XII sec. Connotata da spessori incastrati, questa tipologia di registri, soprattutto

nell'edilizia "povera", è stata utilizzata all'incirca fino alla metà del XIII sec., poi soppiantata da tessiture più "regolari". Come osservato, con interessanti collegamenti specie con le vicende congeneri dell'areale campano, tecniche "a cantieri" si sono osservate anche in numerose architetture della prima metà del XV sec., contestualmente al citato declino degli apparecchi in conci e in bozze. Confezionati, probabilmente, separando la confezione delle facce del muro da quella del masso, costruito dunque "a sacco" o secondo modalità "costipate", oltre a una importante quantità di "zeppe", questi registri mostrano il frequente utilizzo di frammenti laterizi, in genere indicatori di reimpieghi e rifacimenti (Fiorani, 1996: 124-129, 195-197).

Anche in Liguria, particolarmente a levante, sebbene alcuni esempi siano stati registrati pure a Genova e in altre province, i muri "a cantieri" si direbbero rappresentare un magistero di lunga tradizione. Soprattutto nelle fortificazioni, il loro impiego si attesterebbe, difatti, almeno dalla metà del XIII sec. alla prima era moderna. Tale concentrazione territoriale è da rapportare alla formazione di una cultura costruttiva locale, sviluppatasi in forza delle connessioni stabilite con la vicina area toscana della Lunigiana, dove murature siffatte sono state rilevate in alcuni circuiti murari del XIV-XV sec. (Boato, 2021).

In Campania, dove fu coniata l'espressione "a cantieri"[7], alcuni studiosi di Restauro si sono da tempo dedicati alla conoscenza dei registri murari e alle tecniche costruttive "tradizionali", restituendo un panorama articolato di dati, in particolare, per le province napoletana e casertana e per parte del Salernitano[8]. Basando su approcci standardizzati di rilevamento e schedatura, ripetutamente perfezionati nel corso del tempo, il censimento delle qualità macroscopiche di centinaia di campioni murari datati filologicamente[9], dal basso Medioevo alla diffusione delle procedure industriali di coltivazione e lavorazione lapidea nei primi decenni del XX sec., contestualmente ad altre tipologie murarie e, in particolare, ai registri a "corsi con zeppe" o "sdoppiati" e a quelli a filari di conci e/o di bozze[10], ha evidenziato che, con alcune varianti, nei contesti indicati l'opera "a cantieri" ha rappresentato la modalità esecutiva di maggior diffusione e durata. Un tale successo, verificato a prescindere dalle tipologie architettoniche e dalla caratterizzazione dei litici, confermerebbe l'efficacia delle prestazioni offerte da queste costruzioni, come evidenziato da alcune prove sperimentali, dalle quali è emerso un miglior comportamento a compressione dei paramenti "a cantieri" in tufo giallo napoletano, affini agli esemplari moderni per magistero e materiali, rispetto a quelli a filari di blocchi, ricostruiti in laboratorio riproducendo i caratteri correnti del tardo XIX sec. (Calderoni et al., 2010).

Come già negli altri areali, anche in Campania un parametro qualificante queste tessiture, funzionale al mantenimento dell'orizzontalità dei ricorsi da un capo all'altro del muro, è la coincidenza dei "cantieri" con gli spessori delle pezzature poste sulle angolate. Questi elementi, in progresso di tempo, rivelano un perfezionamento crescente sia della loro stereotomia, sia della loro disposizione, più attenta a realiz-

Fig. 1 – Avella (AV): castello, circuito murario di età normanna, fronte esterno del tratto ovest, particolare (Foto di M. D’Aprile).

zare una buona cucitura del solido murario. Tra l’XI e il XII sec., le fortificazioni mostrano, infatti, cantonali confezionati mediamente con una singola pietra di forma allungata, dello stesso litotipo adoperato sui paramenti, alternatamente disposta di punta e di fascia sulle due facce e, non di rado, superiormente inzeppata, come mostrato in Figura 1. La coincidenza dello spessore di questi elementi con i “cantieri” è, quindi, spesso approssimata, tanto che è possibile riscontrarne l’allineamento anche con due pezzature sovrapposte, anziché con una.

Nelle architetture fortificate del XIII-XIV sec. i lapidei sulle angolate sono, al contrario, veri e propri “pezzi speciali”. Di qualità differenti dalle pietre da muro, essi sono sovente di provenienza alloctona e, dunque, oggetto di apposite forniture. Ridotti in conci dai lapicidi, non è raro riscontrarne anche lavorazioni più raffinate, come a “cordellina” e “pelle rustica”, come accade nelle fabbriche federiciane e primo-angioine (D’Aprile, 2001). Questi fattori sono, ovviamente, indice di una struttura e un’organizzazione del cantiere più complessa ed evoluta. Soprattutto in relazione alle risorse tufacee, i blocchi di cantonale, disposti da due a cinque su ogni filare e alternati “di fascia” e “di punta”, nelle opere di maggior impegno presentano, difatti, anche dimensioni semi-standardizzate, pressappoco costanti specialmente in altezza, attestata su valori di circa un palmo napoletano, pari a 26-27 cm nel primo periodo angioino, e di circa un palmo e mezzo o poco meno, circa 39÷40 cm, nel XIV sec., come visibile in Figura 2.

Oltre alla distanza tra gli allettamenti orizzontali, altri indicatori funzionali alla discretizzazione di questi apparecchi sono l’assortimento, omogeneo o eterogeneo, delle pezzature, il loro ingranamento, serrato o largo, e il modo di metterle in opera. In gene-

Fig. 2 – Cancello (CE): castello "Matinale", torre sud-est della prima metà del XIII sec. (Foto di M. D'Aprile).

rale, potremmo definire il "cantiere", detto anche "giornata" o "bancata"[11], «un'unità lavorativa, forse giornaliera, di altezza variabile», in media, da circa 25 a 100 cm o poco più, confezionata prevalentemente con materiali "spaccati", quasi unicamente autoctoni, disposti in un certo numero di strati «senza eccessiva preoccupazione per la loro orizzontalità e, soprattutto, per lo sfalsamento dei giunti verticali» (Russo, 1996: 87). Questo allestimento, detto "a fasce" (D'Aprile, 2001: 268-271), è la modalità più diffusa e, con alcune varianti, anche più duratura. Combinando le murature complesse "a secco" al tipo a filari o, comunque, a corsi, ogni "cantiere" sulle superfici del muro, fino all'allettamento superiore, è qui predisposto mettendo in opera da due a cinque strati irregolari di pezzature, solitamente, di grandezza via via decrescente dal basso verso l'alto, come mostrato in Figura 3. Tutti i registri "a cantieri", in verità, collocano le pietre più grandi alla base dei ricorsi e i volumi maggiori alla base del manufatto, non diversamente dalle altre tipologie murarie "storiche", lasciando alle sezioni superiori gli elementi e le specie litoidi più facili a sollevarsi e più leggeri.

Quando le morfologie e i volumi lapidei più grandi sono tendenzialmente omogenei, anziché poggiare ogni elemento su due pietre distinte, le tessiture "a fasce", dette pure "a corsi ripianati", sovente impilano le pezzature, contravvenendo così a quella chiara regola dell'arte muraria, funzionale a una più uniforme distribuzione delle sollecitazioni, sempre in Figura 3.

Nelle murature angioino-aragonesi in Terra di Lavoro si è riscontrata anche un'altra modalità di allestimento dei "cantieri", definita "a incastro" (D'Aprile, 2001: 268-271), mostrata in Figura 4. Tipica di una materia prima in forme e volumi eterogenei, priva di superfici parallele di origine naturale, questa tecnica, verificata

Fig. 3 – Pontelatone (CE): torre Marzano, della prima metà del XIV sec., particolare del corpo cilindrico (Foto di M. D’Aprile).

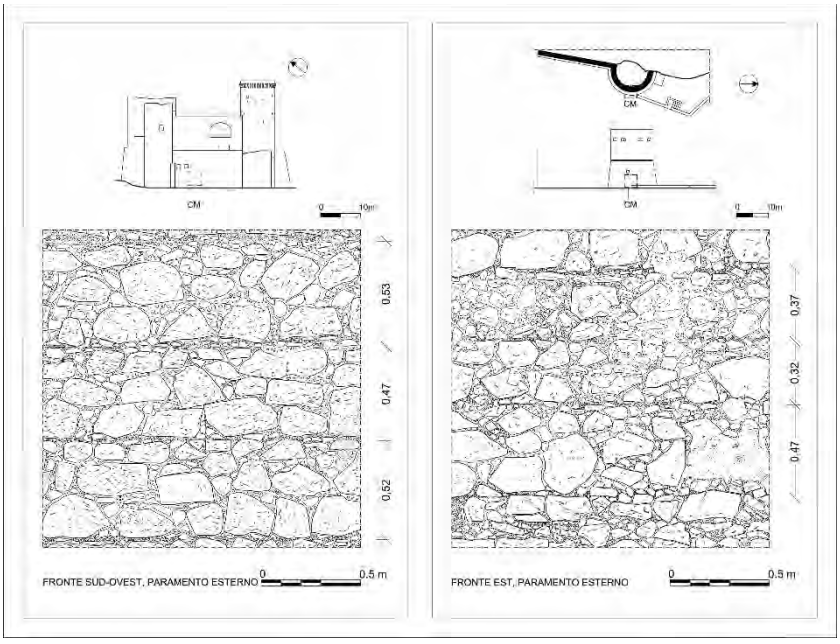


Fig. 4 – Confronto tra paramenti a cantieri “a fasce” (a sinistra) e “a incastro” (a destra). Campioni rilevati rispettivamente presso il castello di Riardo (CE) e le mura urbiche di Cava dei Tirreni (SA) (D’Aprile, 2008b).

poi in altri areali (Giannattasio et al., 2017; Pintus, 2017), si direbbe ispirata tanto all'antica "opera poligonale" quanto all'*opus incertum* romano. L'espressione "a incastro" sottolinea che ogni partita di fabbrica sulle superfici del muro, a paragone dell'apprestamento "a fasce", reca un significativo incremento dei punti di contatto tra le pietre, detto "ingranamento serrato". In misura maggiore di quanto richiesto dal procedimento a strati, per allestire questi "cantieri" i fabbricatori dovevano scegliere, di volta in volta, le pezzature le cui facce meglio corrispondessero alla morfologia degli elementi a contatto, ricorrendo anche agli strumenti a percussione per adattarne le superfici. La preselezione del materiale lapideo, probabilmente effettuata dagli aiutanti, i *manipoli*, dei mastri murari, che, secondo numerose fonti tardomedievali, nei cantieri maggiori erano presenti in numero almeno da quattro a otto per ogni *magistro*, è in realtà un'operazione indispensabile per predisporre qualsiasi tipo di tecnica "complessa". Del resto, questa appare un'ulteriore conferma del fatto che queste pratiche non sono né "semplici" né "irregolari", presupponendo una ricostruzione mentale preliminare della struttura da implementare.

Il confine tra le due modalità di apparecchio però è, a volte, labile (Boato, 2021: 326). In Campania, infatti, non sono rari i casi in cui si rilevano le pietre rustiche più grandi apprestate in fila alla base della partita muraria che, fino all'allettamento orizzontale, procede poi "a incastro" Definita pure «opera indeterminata a giornate» (Mannoni e Boato, 2009: tav. I), oltre che in alcuni esempi della prima metà del XII sec., la tecnica "a incastro" sembra ricorrere in Campania più decisamente in età aragonese e, in prevalenza, nei manufatti difensivi (D'Aprile, 2008b). Sempre nelle fortificazioni, in Sardegna l'adozione della tecnica a incastro riguarderebbe, invece, più propriamente le torri costiere cinquecentesche (Giannattasio et al., 2017: 91-99). Del resto, quando la materia prima non è squadrata, è evidente che possono esistere, al più, alcune modalità per un suo uso appropriato e duraturo. «Ogni società che esperimenti nel tempo il suo impiego, arriva, infatti, prima o dopo a scoprire tali modi» (Mannoni, 1997: 21). Nel caso della modalità "a incastro" si potrebbe, dunque, dedurre di essere in presenza del «segno evidente di esperienze condotte autonomamente, che possono servire a riconoscere i gruppi etnici, le scuole e talora i singoli muratori in territori vicini» (Mannoni, 1997: 21).

L'incremento dell'inerzia delle masse murarie a seguito dell'evoluzione subita dalle armi da fuoco che, com'è noto, insieme ad altri elementi segnò particolarmente le strutture difensive nel passaggio dal XIV sec. alla cosiddetta "età della transizione", tra la metà del XV e l'inizio XVI sec., per quanto possa apparire una sollecitazione non sembra potersi correlare all'affermazione del tipo "a incastro". In Campania e nelle zone meridionali del basso Lazio, i manufatti cinquecenteschi "a cantieri", a prescindere dalla tipologia architettonica, fanno registrare, difatti, costantemente un allestimento "a fasce", confermato altresì nelle fabbriche realizzate con risorse di buona lavorabilità, quali tufi e arenarie, e anche nelle produzioni

seicentesche. Le chiavi di lettura vanno ricercate, allora, nel convergere di fattori tecnici e socioculturali. Sul piano economico, tanto per i costi di costruzione quanto per i tempi di esecuzione è, in generale, la tecnica “a cantieri” a garantire buone prestazioni a confronto delle tessiture “dello scalpellino”. Solo con l’archeologia sperimentale, ricostruendo cioè concretamente, con gli stessi strumenti, procedure e materiali, identiche quantità di fabbrica “a cantieri”, “a fasce” e “a incastro”, si potrebbero avanzare letture più pertinenti verificando, tra l’altro, le relazioni vigenti, ad esempio, con le coeve tipologie di ponteggi, indipendente e dipendente. In Campania, nei registri tre-quattrocenteschi la sequenza verticale dei “fori d’andito” coincide, per esempio, mediamente con l’altezza di due “cantieri”, per valori compresi tra circa 80 e 120 cm, verificati anche nei manufatti a filari. Senz’altro pertinente sarebbe, dunque, verificare i possibili nessi esistenti tra la definizione dell’altezza dei ricorsi e, quindi, tra le “bancate”, e la predisposizione delle strutture provvisionali.

Sulla diffusione in Campania della tecnica “a incastro” potrebbe forse aver pesato la generalizzata affermazione dei *magistri* cavesi alla direzione delle più importanti opere del periodo aragonese che, in molti casi, verificano appunto l’adozione di questa modalità di allestimento (D’Aprile, 2021). Dal momento che la loro importanza come architetti e costruttori si accrebbe però, com’è noto, almeno per tutto il XVI sec., si dovrebbe ritenere che l’esperienza accumulata in poco più di un cinquantennio, a parità di condizioni, dovette far loro ritenere più appropriata la ripresa dell’apprestamento “a fasce”, a prescindere dalla tipologia architettonica da implementare. Le loro produzioni “a cantieri” cinque-seicentesche sono difatti costantemente connotate da quest’ultima modalità esecutiva (Russo, 1999; Giannattasio, 2003; Guerriero, 2016); un esempio è in Figura 5. Senza sperimentare concretamente la confezione di questi magisteri e senza estendere l’indagine, su una base metodologica unitaria, ad altri areali, queste valutazioni restano, però, semplici ipotesi.

Sulla durata delle tecniche “a cantieri” benché, come osservato, esse si attestino almeno dal Medioevo a tutta l’era moderna, va sottolineato, infine, che diffusi esemplari si rinvengono anche in epoche seriori. In Campania, ad esempio, nel XVIII-XIX sec. apparecchi di questo tipo ricorrono comunemente in presenza di litotipi di scarsa lavorabilità e in fabbriche di prevalente carattere funzionale, mantenendo, come in età moderna, il tipico allestimento “a fasce”.

Conclusioni

Nel descrivere i caratteri regionali e nel compararli con le varianti riscontrate in altri areali, queste riflessioni hanno evidenziato la complessità di temi e narrazioni che l’analisi di una tecnica muraria di lunga durata intrinsecamente comporta. Insieme al contributo gnoseologico specifico si spera, dunque, che queste note possano almeno sollecitare una più attenta protezione dei caratteri materiali del costruito storico nella loro singolare identità.

Fig. 5 – Napoli, Monastero delle Trentatré: particolare della muratura datata al 1538 su via Anticaglia (Foto di M. D'Aprile).

Bibliografia

Boato A. 2021. Murature "a cantieri": osservazioni e prospettive di ricerca in Liguria. In: *Tiziano Mannoni. Attualità e sviluppi di metodi e idee* (a cura di ISCUM). I, 321-328. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Brogiolo G.P. 1989. *Architettura medievale del Garda Bresciano*. Brescia: Grafo Edizioni.

Burattini E., Fiengo G., Guerriero L. 1994. Murature tradizionali napoletane: problemi di datazione e formazione di una "base di conoscenza". In: *Multimedia. Beni culturali e formazione* (a cura di A. Gisolfi). 186-194. Salerno: s.n.

Calderoni et al. 2010. Metrological definition and evaluation of some mechanical properties of post-medieval Neapolitan yellow tuff masonry. Journal of Cultural Heritage, 11(2), 163-171.

Cagnana A. 1997. Le tecniche murarie nelle valli del Ceresio: evidenze archeologiche e problemi interpretativi. In: *Magistri d'Europa. Eventi, relazioni, strutture della migrazione di artisti e costruttori dai laghi lombardi* (a cura di S. Della Torre, T. Mannoni, V. Pracchi). 447-459. Como: NODO Libri.

Cuteri F.A. 2003. *I normanni in finibus Calabriae*. Cosenza: Rubettino Editore.

D'Aprile M. 2001. *Murature angioine e aragonesi in Terra di Lavoro*. Napoli: Arte Tipografica.

D'Aprile M. 2003. Murature campane in calcare di età aragonese. In: *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Lo stato dell'arte, i protocolli della ricerca. L'indagine documentaria.* (a cura di G. Fiengo L. Guerriero). 260-274. Napoli: Arte Tipografica.

D'Aprile M. 2008a. Lo studio delle tecniche costruttive tradizionali nella produzione scientifica dell'ultimo trentennio in Campania. In: *Lo studio delle tecniche costruttive storiche: stato dell'arte e prospettive di ricerca* (a cura di V. Pracchi). 45-48. Como: NODO Libri.

D'Aprile M. 2008b. Murature tardomedievali in calcare di Terra di Lavoro. In: *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Lo stato dell'arte, i protocolli della ricerca. L'indagine documentaria* (a cura di G. Fiengo e L. Guerriero). I, 55-84. Napoli: Arte Tipografica.

D’Aprile M. 2021. Organizzazione e conduzione dei lavori nelle fortificazioni regie di età alfonsina: il castello di Gaeta nelle poste della Real Camera della Sommaria (1449-1453). In: *Tiziano Mannoni. Attualità e sviluppi di metodi e idee* (a cura di ISCUM). I, 329-332. Firenze: All’Insegna del Giglio.

De Cesare F. 1855. *La scienza dell’architettura applicate alla costruzione, alla distribuzione ed alla decorazione degli edifici civili*. Napoli: Giovanni Pellizzone..

Della Torre S. 2009. Gli studi sulle tecniche costruttive: un bilancio. In: *Muri parlanti* (a cura di C. Varagnoli). 7-14. Firenze: Alinea.

Esposito D. 1998. *Tecniche costruttive murarie medievali. Murature a tufelli in area romana*. Roma: L’Erma di Bretschneider.

Ferrando Cabona I. 1998, Problemi di datazione in archeologia dell’architettura. Archeologia dell’architettura, III, 75-79.

Fiengo G., Guerriero L. (a cura di). 1999. *Murature tradizionali napoletane. Cronologia dei paramenti tra il XVI e il XIX secolo*. Napoli: Arte Tipografica.

Fiengo G., Guerriero L. (a cura di). 2003. *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Lo stato dell’arte, i protocolli della ricerca. L’indagine documentaria.* Napoli: Arte Tipografica.

Fiengo G., Guerriero L. (a cura di). 2008. *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Napoli, Terra di Lavoro (XVI-XIX)*, 2 Voll. Napoli: Arte Tipografica.

Fiorani D. 1996. *Tecniche costruttive murarie medievali. Il Lazio meridionale*. Roma: L’Erma di Bretschneider.

Fiorani D. 2005. Murature medievali in Italia, spunti di riflessione da una ricerca. In: *Tecniche costruttive dell’edilizia storica. Conoscere per conservare* (a cura di D. Fiorani, D. Esposito). 31-45. Città di Castello: Viella.

Fiorani D., Esposito D. (a cura di). 2005. *Tecniche costruttive dell’edilizia storica. Conoscere per conservare*. Città di Castello: Viella.

Giannattasio C. 2003. Fonti per l’edilizia cinquecentesca di Sessa Aurunca. In: *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali. Lo stato dell’arte, i protocolli della ricerca. L’indagine documentaria.* (a cura di G. Fiengo e L. Guerriero). 229-239. Napoli: Arte Tipografica.

Giannattasio C., Grillo S., Murru S. 2017. *Il sistema di torri costiere in Sardegna (XVI-XVII sec.). Forma, materia, tecniche murarie*. Roma: L’Erma di Bretschneider.

Giannattasio C. 2020. *Arte muraria tradizionale in Sardegna. Conoscenza Conservazione Miglioramento/The art of traditional masonry construction in Sardinia. Knowledge Preservation Recovery*. Roma: Gangemi International.

Guerriero L. 1996. Note sugli apparecchi murari della costiera amalfitana: il caso di Pontone. In: *Scala nel Medioevo*. 231-249. Amalfi: Centro Cultura Storia Amalfitana.

Guerriero L. 2016. *Di tutta bontà, perfettione et laudabil magistero. Murature in tufo giallo e in tufo grigio a Napoli e in Terra di Lavoro (XVI-XIX).* Napoli: Fabrica.

ISCUM (a cura di). 2021. *Tiziano Mannoni. Attualità e sviluppi di metodi e idee*, vol. I. Firenze: All’Insegna del Giglio.

Mannnoni T. 1997. Il problema complesso delle murature storiche in pietra. 1, Cultura materiale e cronotipologia. Archeologia dell’architettura, II, 15-24.

Marino L., Pietramellara C. 2007. *Tecniche edili tradizionali: contributi per la conoscenza e la conservazione del patrimonio archeologico*. Firenze: Alinea.

Miraglia F. 2012. *Atlante delle tecniche costruttive di Terra di Lavoro. Murature in tufo grigio (XIII-XV). Agro Falerno, litorale Domizio, area del Monte Maggiore*. Marina di Minturno: Armando Caramanica.

Parenti R. 1987. Una proposta di classificazione tipologica delle murature postclassiche. In: *Conoscenze e sviluppi teorici per la conservazione di sistemi costruttivi tradizionali in muratura* (a cura di G. Biscontin, R. Angeletti). 49-61. Venezia: Arcadia Ricerche.

Parenti R. 1992. Fonti materiali e lettura stratigrafica di un centro urbano: i risultati di una sperimentazione "non tradizionale". Archeologia Medievale, XIX, 7-62.

Pintus V. 2017. Architettura fortificata nella Sardegna meridionale. Cronotipologia delle strutture murarie (XII-XV sec.). ArcHistoR, IV(8), 132-173.

Pirisino M.S. 2017. Percorsi di conoscenza per il patrimonio fortificato della Sardegna settentrionale (XII-XV se.). Architettura, materiali e tecniche murarie. ArcHistoR, IV(7), 154-189.

Pracchi V. (a cura di). 2008. *Lo studio delle tecniche costruttive storiche: stato dell'arte e prospettive di ricerca*. Como: NODO Libri.

Russo M. 1995 Apparecchi murari «a cantieri» del XVI secolo in Napoli. In: *Storia delle tecniche murarie e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo* (a cura di S. Della Torre). 83-96. Milano: Guerini Studio.

Russo M. 1999. Magisteri murari "a cantieri" nell'età del viceregno spagnolo. In: *Murature tradizionali napoletane. Cronologia dei paramenti tra il XVI e il XIX secolo*. (a cura di G. Fiengo e L. Guerriero). 71-151. Napoli: Arte Tipografica.

Note

1. Per lo stato dell'arte sulla produzione muraria medievale, (Fiorani, 2005).
2. I primi interessi dell'archeologia medievale per le murature datano agli anni Settanta, in particolare, a Tiziano Mannoni, per il territorio ligure e, per l'ambito toscano, a Riccardo Francovich e Roberto Parenti (Mannoni e Poleggi, 1974).
3. La datazione degli elementi architettonici può avvalersi di valutazioni formali (cronotipologia), dimensionali (mensiocronologia) e materiche (caratterizzazione degli impasti e analisi naturalistiche come la dendrocronologia, la termoluminescenza e il radiocarbonio).
4. La mensiocronologia consente, su base statistica, di costruire delle curve, espressioni della relazione tra il variare delle dimensioni dei laterizi nel tempo all'interno di determinati areali.
5. Un puntuale resoconto dell'ampia letteratura di settore esula dalle finalità di questo studio. Per un quadro aggiornato, (Giannattasio, 2020: 220-244).
6. Ancora nel XIX sec., la trattatistica di settore asseriva che, laddove le tessiture mancano «di pietre dolci facili a riquadrarsi si costruiscono con pietre poligonali messe a malta, […] bene incassate con piccole schegge» (De Cesare, 1855: I, 141).
7. La prima definizione del magistero "a cantieri" è in (Burattini et al., 1994).
8. Per la tecnica "a cantieri" in Campana cfr., in part., (Russo, 1995; Russo, 1999; D'Aprile, 2001, D'Aprile, 2003; D'Aprile, 2008b; D'Aprile, 2021; Giannattasio, 2003; Guerriero, 1996; Guerriero, 2016: 17-36; Miraglia, 2012). Per un quadro degli studi regionali precedenti (D'Aprile, 2008a).
9. In generale, il rilevamento di paramenti e nuclei ha almeno considerato: litotipi, pezzature (morfologia e dimensioni medie), lavorazioni, leganti, giunti e letti (spessori medi), rapporti stratigrafici, elementi datanti, magisteri, datazioni e fonti.
10. Il tipo a corsi con zeppe sopperisce alla mancata regolarità degli assetti orizzontali superiori e delle dimensioni delle pezzature, sovrapponendovi il materiale minuto ("zeppe").
11. Il termine "bancata" sottolinea la coincidenza dei "cantieri" con la sequenza delle giornate lavorative (Marino e Pietramellara, 2007).

Enzo Siviero, Alberto Zanchettin, Michele Culatti

Aspetti estetici e di durabilità nella realizzazione di ponti prefabbricati ad arco di piccola e media luce

Aesthetics and durability aspects in the realization of precast small and medium span arch bridges

Abstract
Bridges often represent one of the main marks left on the territory by man and determine the visual aspect of the surrounding areas. It is then important to pay great attention to the formal aspects of the bridge itself and to its good insertion in the environment. The use of precast concrete elements is functional to achieve high durability standards, reduced time of construction and high aesthetic quality. Some examples of bridge realizations are presented, which show the possibility of erecting a pleasant structure respecting times and costs expected by clients, guaranteeing also a long lasting durability.

Sommario
La realizzazione dei ponti ad arco nella storia è sempre stata condizionata dall'uso delle centine soprattutto negli attraversamenti più impervi. Tra fine '800 e inizi '900 con l'avvento del cemento armato, le tecniche costruttive di sono sempre più evolute anche con il ricorso alla prefabbricazione. La memoria tratterà alcuni esempi significativi del passato: Hennebique, Maillart, Danusso, Krall, Miozzi e Morandi, solo per citarne alcuni, aprendo nel contempo nuove prospettive per il futuro a partire da qualche opera, realizzata dal primo autore, la cui concezione è stata ispirata dai maestri del passato. Ancora una volta è la nostra Storia che ci indica il cammino da percorrere.

Introduction
After the Second World War and until the Sixties Italy has experienced a period of continuous economic development, which contributed to an important growth in the number of vehicles circulating. The need for a rapid reconstruction together with booming economy forced to face the problem of realizing many infrastructures in the quickest and most standardized possible way.

Concerning bridges, the most used structural system was the simply supported precast beam with two or three spans depending on the width of the underlying road. This solution guaranteed an extremely rapid time of erection, a minimization of costs, relatively unskilled workmanship needed, easy design procedures and limited possibilities of errors during realization. On the other hand, simply supported beams do not guarantee high standards in terms of durability and aesthetic aspects. Regarding durability, bearings and expansion joints are critical points, while regarding aesthetics, a simply supported beam implies high structural sections and consequently more "impacting" structures on the surrounding environment.

Nowadays, simply supported prestressed and precast beams are still the structural typology largely prevalent in flyovers of small and medium span in Italy, due to the reasons explained above, but in particular for the very limited initial cost of construction.

This paper aims at presenting some feasible alternatives, employing precast curved elements, paying particular attention to the aspects of aesthetics and durability but also considering the issues of competitive cost and limited time of realization. This is very important for small and medium span structures, which represent the vast majority in number and characterise quite often many urban and suburban areas.

Fig. 1 – Padua: New arch bridge, on the background an existing masonry bridge.

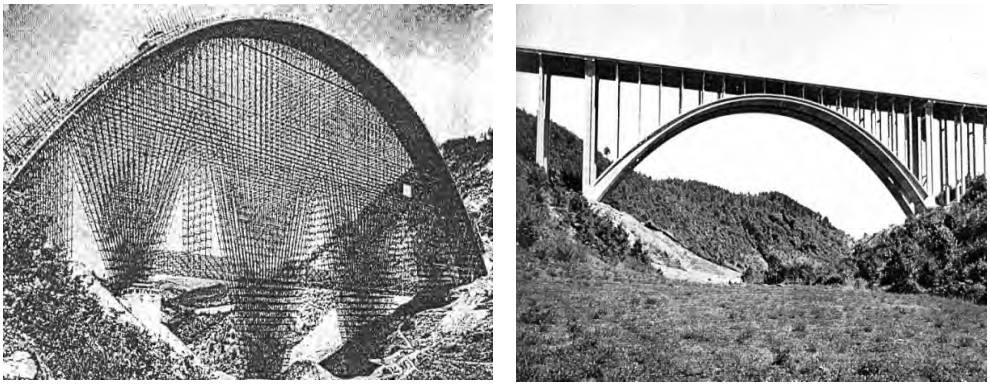


Fig. 2 – Barberino di Mugello: bridge over the river Aglio, G. Oberti, 1960, formwork and final aspect.

The use of the arch as a structural type is functional to dialogue with the surrounding environment thanks to its strong use in the past and its consistent presence in the territory. Any new realization of flyovers in an Italian city will probably have to cope with the pre-existence of an arch in the neighbourhood (Fig. 1).

As it is widely known, an arch works properly only after the completion of the whole structure, while during realization it needs some form of provisional support, as it can be seen in the following Fig. 2, where the realization of the bridge over the river Aglio is represented.

These very complex provisional structures, usually made with timber elements, became too onerous as the cost of workmanship started to rise, especially after the Seventies. This was particularly evident for small flyovers, which needed an easy and serialized erection process.

Designers who nowadays want to conjugate the needs for economy, velocity and aesthetics, have to rely on alternatives to the traditional erection processes for arch constructions and the best way to do so, in the opinion of the authors, is the use of precast members.

In many cases, a partly precast element can serve itself as a formwork for the subsequent finishing concrete cast. The correct dimensioning of the elements has to be evaluated taking into account different factors such as transportability and number of provisional props. Precast elements guarantee neat finishing of outer concrete surfaces, which depend on the ability of workmanship and quality of formworks in the case of cast in situ elements. Moreover, precast elements guarantee a better result in terms of durability of the whole structure

It is well known that the initial cost of an infrastructure, although very important, is only one of the several expenses that the client will have to withstand during its

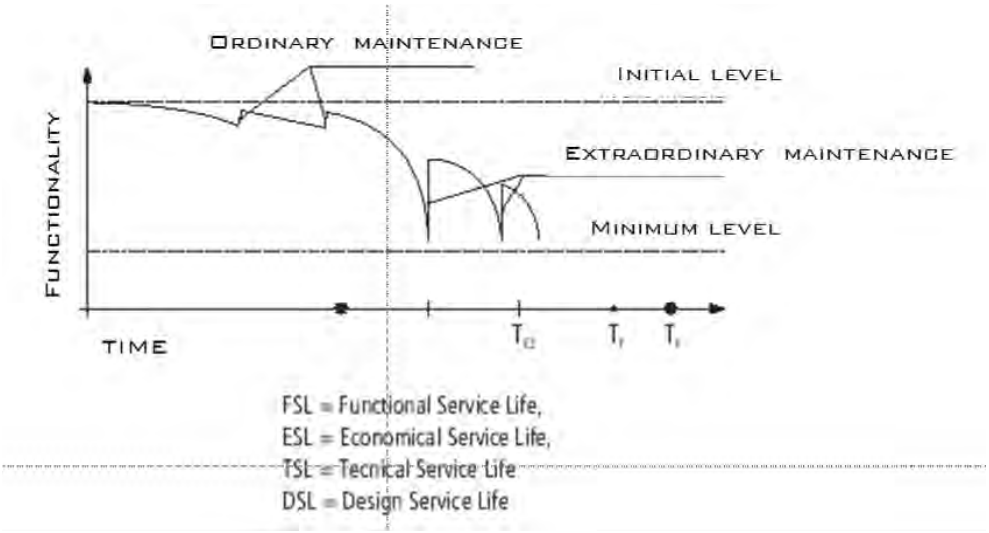


Fig. 3 – Functionality against time plot for an infrastructure.

service life. Maintenance has an important weight in the total budget, especially because it brings a series of indirect costs, such as traffic interruption, which create discomfort among infrastructure's users. For this reason, in recent years road authorities and municipalities tend to accept slightly higher initial costs of construction in order to obtain a structure with an improved durability (Fig. 3).

In the following pages, some examples of arch bridges realized with precast concrete members are presented.

Bridge on the river Battaglia, Padua

The bridge is located in an historical setting, close to the city of Padua (Fig. 4). The municipality planned its construction as an alternative to an historic masonry bridge, which was inadequate for the growing traffic load of the area. The new structure was placed about 50 m far from the old one, which has been maintained with the function of a footbridge. The new structure spans 42.70 m and is 13 m wide; the deck has a trapezoidal shape ranging from 50 cm to 20 cm in height. The arch, entirely made of precast members, spans 29.50 m and is composed of two series of six semi arches 1.20 m wide and 0.55 m high, joined at the keystone and at foundations.

In order to reduce structural dimensions, high strength concrete has been used, added with acrylic fibres permitted to contrast the long term plastic phenomena of concrete, which are one of the main causes of structural damaging. The absence of joints moreover reduces drastically maintenance needs and enhances the durability of the structure.

Fig. 4 – Battaglia Terme: Bridge over river Battaglia (Postcard, Siviero private collection).

The realization process can be schematized in five simple stages, each one characterized by a different static scheme:

– realization of deep foundations;
– positioning of precast semi arches on a provisional pier; during this phase the semi arches behave as simply supported beams;
– cast of concrete to form an arch monolithic with foundations; removal of provisional piers. During this stage, the structure starts to behave as an arch, working mainly in compression.
– cast of the upper deck; in the hypothesis of realizing a single cast, the structural scheme is analogous to phase 2, apart for the loads acting on the structure. During this phase the new loads are vertical reaction induced by the deck's supports and a load at midspan where the deck bears directly on the arch.
– completion of the bridge; removal of all provisional supports and prestressing. All the remaining design loads are then applied.

The images in Fig. 5 illustrate the main phases of construction, stressing the overall lightness of the structure and the good insertion of the structure in the surrounding environment.

The whole structure was built in only five months.

Fig. 5 – Battaglia Terme: Bridge over river Battaglia, erection phases and final aspect of the new bridge (old photos, Siviero).

Bridge on the river Bacchiglione, Padua

This pedestrian bridge, realized over the river Bacchiglione in Padua, is a 62 m long structure realized almost entirely with precast concrete elements (Fig. 6).

The arch structure, spanning about 42 m, is realized with 7+7 arch shaped concrete members forming a 3.60 m wide structure.

During the erection phase provisional steel cables connected to the arch, acting as chains are employed to balance the arch thrust (Fig. 7). This choice was needed due to the poor mechanical characteristics of the soil in the area of intervention.

The deck is made of precast T shaped beams spanning 22 m, supported at one side by the arch and at the other by deep foundations (Fig. 8). Precast elements are then made monolithic with the underlying arch and with the foundations at the abutments by means of a in situ concrete cast.

Fig. 6 – Padua: the San Niccolò footbridge over Bacchiglione (old photo, Siviero).

Fig. 7 – Padua: the San Niccolò footbridge over Bacchiglione. The semi arches during the erection phase. Steel cables are still in place (old photo, Siviero).

Fig. 8 – Padua: the San Niccolò footbridge over Bacchiglione. Almost completed, before the realization of the in situ concrete cast (old photo, Siviero).

The final configuration of the structure is commonly known as bow-string: once the structure is monolithic, the horizontal thrust produced by the arch is absorbed partly by foundations, and partly by the deck, which acts as an upper chain. Provisional steel cables are then removed and the river is again suitable for navigation.

The bridge has been awarded with the prestigious BIBM-Federation of European Precast Concrete Industry prize thanks to the wide use of precast members which allowed to realize an arch structure without the need for provisional formworks.

Bridge over the river Sacco, Sgurgola

The new bridge over the river Sacco is part of the work of reconfiguration of the viability system following to the realization of the high speed railway going from Rome to Naples. The environment is characterised by the presence of an ancient masonry bridge: the new bridge had to be functional not only to sustain the high traffic levels of the area, but also needed to dialogue with the pre-existent structure.

This work, which spans 132 m and has two 56 m long arches, can be reasonably considered as a big span structure (Fig. 9). It is a bow-string static scheme, with the deck acting as a chain with the particular innovation of tension members at the edge

Each arch is formed of 20 precast elements, 0.5 m wide, set on provisional props and linked together with a finishing cast 25 cm thick of concrete. The number of provisional props is studied in order to minimise the cost of erection and transport. At the mid span of each arch, the deck slab is connected directly to the arches or to ribbed elements of various height supported by the arches; in line with the abutments and pier, the deck is set on prefabricated upside-down “T” beams placed side by side.

The foundations for the abutments and pier are laid on large-diameter, 150 cm, piles varying in lengths from 16 m at one of the abutments to 33 m at the central pier.

Fig. 9 – Sgurgola: the bridge over the river Sacco (old photo, Siviero).

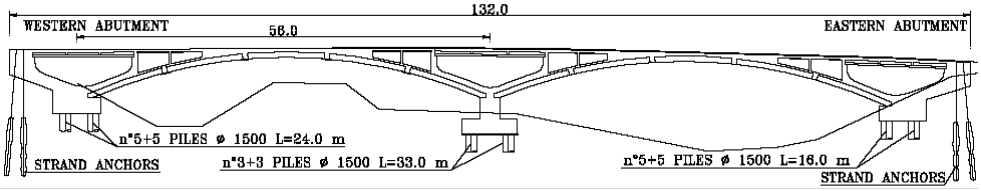


Fig. 10 – Sgurgola: the bridge over the river Sacco, longitudinal (designer drawings).

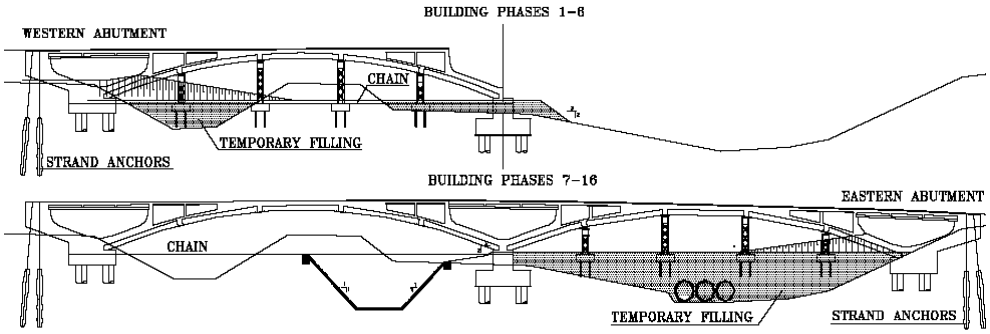


Fig. 11 – Sgurgola: the bridge over the river Sacco, scheme of the erection process (designer drawings).

At the abutment ends of the deck, tie-rods are installed to balance the effects of eccentricity between the thrust of the arch and the chain action of the deck. The erection process, which is schematised in the following figure, considers the use of a provisional chain when just one of the arches is assembled (Figs. 10 and 11).

Fig. 12 – Sgurgola: the bridge over the river Sacco during erection phases (old photo, Siviero).

The images in Fig. 12 show the construction phases of the bridge, which employs large precast concrete members and very little provisional structures.

The images in Fig. 13 shows the harmonic insertion of the bridge in the environment and its slender aspect.

Conclusions

This paper aims at defining and studying feasible alternatives to simply supported beam bridge structures.

Arch bridges are a clever and pleasant alternative as long as the problem of costly provisional formwork is overcome.

The attention to the cost reduction by means of an industrialized constructive process and the identification of a structural shape able to respond to the modern requirements of aesthetics and durability are the common thread in the design of the bridges presented in this paper.

Fig. 13 – Sgurgola: the bridge over the river Sacco, the final aspect (old photo, Siviero).

Using precast elements implies a careful evaluation of the structural behaviour during the transitory stages of construction, especially with respect to the long term viscous phenomena of concrete.

Conception, design and realization cannot be considered sequentially, but have to be thought together, because any step of one implies consequences on the other.

This consideration is worth not only for big spans, where the peculiar characteristics of the bridges require in any case an *ad hoc* study, but also for small and medium span structures, where a reproducibility *in series* of the bridge is mandatory. Small and medium bridges usually are set in rural areas, crossing little rivers, and the arch solution is particularly adequate to "dialogue" with pre-existent structures. In these conditions quite often the problem of balancing the arch thrust is relevant.

In the presented works these problems have been overcome creating bridges, which are not only functional, but also economic and harmonically inserted in the environment.

Bibliography

AAVV. 2003. *Rassegna: The World of Bridges.* Bologna: Editrice Compositori. (In Italian).

AITEC. 1966. *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1962/66.*Roma: AITEC. (In Italian).

AITEC. 1970. *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1966/70.* Roma: AITEC. (In Italian).

AITEC. 1974. *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1970/74.* Roma: AITEC. (In Italian).

Albenga G. 1953. *I ponti – La pratica*. Torino: UTET. (In Italian).

Benvenuto E. 1981. *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*. Firenze: Sansoni. (In Italian).

Bullo S., Di Marco R., Siviero E., Zanchettin A. 2005. Nuove proposte per la realizzazione di ponti ad arco di piccola e media luce in cemento armato ed a struttura mista. In: *Nuovi orientamenti per la progettazione di ponti e viadotti* (M. Arici, E. Siviero Eds.). Palermo: Dario Flaccovio Editore. (In Italian).

Farinati V. 1997. *Eugenio Miozzi, 1889-1979*. Inventario analitico dell'archivio, Venezia, Istituto Universitario di Architettura di Venezia (IUAV), Archivio Progetti. (In Italian).
Levi F. 2003. *Cinquant'anni prima, dalle rovine belliche alle costruzioni funzionali*. Torino:. Testo&immagine. (In Italian).
Lodigiani V, 1991. *Sperimentazione e cantiere, R. Morandi*. Roma: Gangemi Editore. (In Italian).
Nelva R., Signorelli B. 1990. *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*. Milano: Edizioni di Scienza e Tecnica. (In Italian).
Siviero E. 2000. *Il tema del ponte*. Bologna: Editrice Compositori. (In Italian).

Sara Isgrò

Cemento armato e fortificazione permanente. Il contributo degli ingegneri militari all'arte fortificatoria sulla soglia del XX secolo

Reinforced concrete for permanent fortifications. Military engineers' contribution to the fortifying art in the early twentieth century

Sommario
Il sistema fortificatorio rappresenta, attraverso le sue diverse fasi costruttive, un interessante caso di studio dell'evoluzione tecnologica. Nell'arco di alcuni decenni nel ramo dell'industria bellica, dalle casematte in pietra e terra alle fortificazioni corazzate scavate nella viva roccia, si assiste a un continuo rincorrersi di Artiglieria e Genio, in cui la prima guadagna sempre una posizione di vantaggio rispetto alla seconda. La conoscenza derivata dall'osservazione diretta di alcuni di questi manufatti "i Forti" e quella più teorica, desunta dalle fonti indirette, ci consente di pervenire alla esegesi dei sistemi della scienza costruttiva delle fortificazioni, importante non solo per comprenderne la metodologia costruttiva, ma anche per sottolineare l'evolversi delle tecnologie costruttive e approfondire le trasformazioni, degrado e dissesto inclusi, subite da queste costruzioni in ragione dell'abbandono, a guerra finita.

Abstract
The military fortification system in the eastern Alpine region of Italy emerges as an exciting case study about its diverse construction phases. This system was developed in a few decades by the war industry. The visible results are casemates built with rocks, barrages made with artillery protected by armoured domes. The design, creation of military fortifications have been previously credited to the arms of artillery and engineers, where the former gain some positions concerning the latter. The direct observation of some of these creations, such as "the Forts", and the theoretical investigation about them, using indirect sources, has created a knowledge acquisition that helps get the exegesis of the constructive science of fortifications' systems. This is a critical step in understanding the building methodology and how construction technology has developed to clarify how fortifications have been transformed and then decayed and disrupted by their abandonment after WWI.

Il cemento armato nelle fortificazioni

La combinazione del calcestruzzo con il ferro non è cosa nuova nella fortificazione, poiché le coperture di calcestruzzo sopra travature di ferro, lamiere ondulate e cappe metalliche di getto sono da tempo impiegate per ottenere locali alla prova dei tiri a cui sono esposte (Isgrò, 2022) ma in queste costruzioni entrambi gli elementi, calcestruzzo e ferro, agiscono staticamente per proprio conto, diversamente da quello che succede nel cemento armato.

A partire dall'ultimo ventennio dell'Ottocento, diverse le testate che si sono occupate degli esordi del cemento armato: si tratta per lo più di riviste tecniche generali, annali dei Lavori Pubblici, bollettini del Genio Civile Militare, annali delle Associazioni di Ingegneri Architetti e, solo in qualche caso, riviste dedicate in esclusiva al mondo della costruzione. Tra queste, la Rivista di Artiglieria e Genio si caratterizza come uno dei periodici tecnici italiani che concede maggior spazio ad articoli riguardanti i nuovi sistemi costruttivi in calcestruzzo di cemento armato coperti da brevetto, quali Monier e Hennebique, illustrandone le sperimentazioni e l'impiego nella realizzazione di solai, passerelle ecc. nei diversi stati, inizialmente Francia, poi Belgio, Germania e Austria (Turri et al., 2009: 650).

Al riguardo, le prime notizie sulla straordinaria aderenza fra ferro e cemento e sull'azione preservatrice di quest'ultimo sugli elementi metallici vengono diffuse nel 1885 dal direttore della rivista L'ingegneria civile e le arti industriali, l'ingegnere Giovanni Sacheri (Sacheri, 1875).

Lo sviluppo significativo del calcestruzzo armato si attua solo dopo il 1890, quando, cioè, si è già consumata completamente la frattura fra i due settori da cui dipende: quello della produzione cementifera e dell'impresa edile *versus* quello dell'impresa di muratura o di opere pubbliche e il settore siderurgico[1].

La lettura comparata degli oltre 1000 brevetti depositati in Italia, in questo preciso frangente storico, consente di chiarire le tappe del travagliato percorso che lo sviluppo del cemento armato ha seguito, impegnando l'ingegneria strutturale di tutti i Paesi in un vivace dibattito nel quale gli aspetti squisitamente teorici si collegano da un lato alle dispute sulle teorie strutturali e sulle modalità di calcolo (Iori, 2001) e dall'altro alla discussione sulla necessità di una specifica normativa.

Le tante incertezze nel calcolo, ma soprattutto l'imprudenza di imprenditori poco esperti e senza scrupoli che, mirando a liberarsi dei vincoli delle privative, modificano la disposizione e la quantità delle armature, speculando sul confezionamento del calcestruzzo, spingono i responsabili della sicurezza pubblica a misure cautelative (s.a., 1907: 329-333). È del 1897 la relazione della commissione, nominata in seno alla Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani di Roma (Vacchelli, 1897), che raccoglie preziose informazioni "sulle costruzioni in calcestruzzo di getto e in cemento armato": si tratta del primo atto ufficiale di riconoscimento del nuovo materiale in Italia. Il relatore, l'ingegnere Giuseppe Vacchelli, dopo aver personalmente assistito

ad alcune prove eseguite a Vienna nel 1892, raccoglie un ricco materiale in Europa e presso le società italiane operanti nel settore.

Una vera rivoluzione nell'arte del costruire avviene in Francia nel 1892, quando, dopo anni di sperimentazione condotta a partire dal 1879, François Hennebique deposita il suo primo brevetto sulla combinazione di ferro e cemento per la creazione di travi (Iori, 2001: 26). Indubbiamente è stata la grande Esposizione Universale di Parigi del 1900 a decretare il riconoscimento ufficiale del cemento armato. Buona parte dei padiglioni espositivi, infatti, sono costruiti con il nuovo materiale[2].

L'Italia non partecipa direttamente alla fase pionieristica della sperimentazione sul béton armato; tuttavia, il settore delle costruzioni si mostra particolarmente ricettivo nei confronti della nuova tecnica e, in virtù delle plurime possibilità di impiego, l'Ispettorato Generale del Genio Militare si schiera a favore dell'uso di questo nuovo materiale in alcune opere militari e ne fissa norme da seguire.

Siamo in un frangente in cui le esperienze di tiro contro opere in cemento armato non sono numerose, ciononostante le poche eseguite hanno dato risultati tali da non lasciare dubbi sulla convenienza di adottare elementi in cemento armato che garantiscono una maggior garanzia di resistenza e un notevole risparmio di materiale.

Nel 1889 appare lo studio "Il sistema Monier nella sua applicazione alla fortificazione" del Kretzschmer, maggiore del genio dell'esercito prussiano, in cui si propone di applicare il cemento armato ai locali alla prova dello Schumann, che figurano nell'opera del barone von Leithner (von Leithner, 1895; Stettner, 1909), si veda Figura 1.

Una costruzione che prelude all'impiego di elementi di cemento armato è quella rappresentata dalle Figure 2 e 3 dove sono messi in evidenza molteplici vantaggi delle costruzioni col sistema Monier, tanto nella fortificazione permanente quanto in quella provvisoria. «Il possibile risparmio di spazio e di materiale, indicato negli esempi di cui alla Tav. 15, dimostra l'applicabilità del sistema, nelle opere permanenti, ai ricoveri sotterranei e alle poterne, allo scarico dei muri, alle cannoniere, agli elevatori a vapore, ai depositi di munizioni, alle travature di ponti e agli impianti di drenaggio» (Stettner, 1909: 459).

Il colonnello Engmann nel 1899 propone una copertura a prova di bomba formata da calcestruzzo sopra uno strato di travi di ferro o di rotaie di ferrovia posate direttamente sul suolo, con locali di ricovero ricavati contemporaneamente al di sotto, per mezzo di gallerie da mina. La costruzione, di facile e pronta esecuzione, necessita di una rilevante quantità di calcestruzzo, circa 3000 m^3, per mettere al coperto 120 uomini (Stettner, 1908: 495).

I progetti del colonnello russo Buinicki, nel 1902, noti per l'enorme quantità di lavoro e di materiale da impiegare – e perciò difficilmente attuabili in pratica – offrono pure preziosi punti per l'applicazione degli elementi di cemento armato in tutte le parti costituenti un'opera di fortificazione improvvisata (Stettner, 1908: 495).

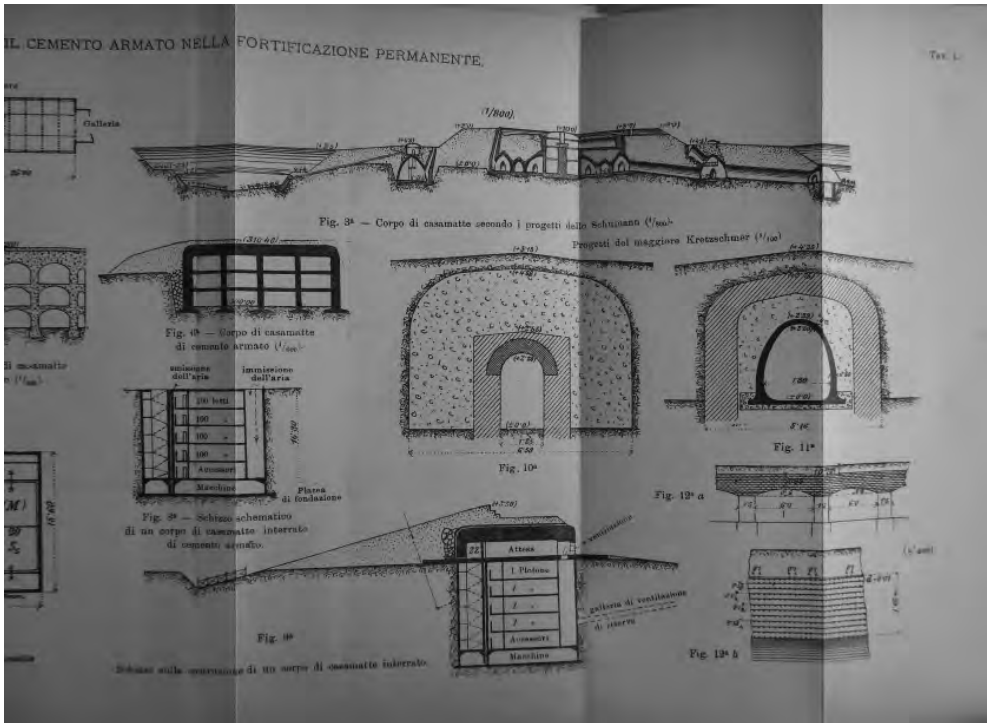


Fig. 1 – Il cemento armato nella fortificazione permanente: applicazione del sistema Monier su un corpo di casamatte (Stettner 1909: tav. I).

Sono altresì da definirsi notevoli le proposte del capitano Meyer per locali alla prova con volte sottili di calcestruzzo, oppure con lamiera ondulata. «D'altra parte, l'ultima guerra di fortezza ha dimostrato la convenienza di equipaggiare le opere di fortificazioni con locali alla prova, che ne garantiscano la resistenza, nonostante la tempesta di proiettili d'artiglieria a cui possono essere esposte anche per intere giornate, e che permettano alla guarnigione di occorrere, nel momento opportuno, al parapetto, con i fucili e con i cannoni a tiro rapido, per opporsi alle colonne d'assalto» (Stettner, 1908: 497).

In vista di ciò, per mettere al riparo la maggior possibile quantità di uomini per ogni m^2 di copertura, si è ritenuto necessario costruire «corpi di casematte in profondità a parecchi piani, e ridurre per quanto possibile le dimensioni delle murature interne. Il cemento armato è destinato a conseguire entrambi gli scopi. Numerosi esempi di costruzioni, effettuatesi in questi ultimi anni, dimostrano la possibilità di sviluppare, a 20 e più metri sottoterra, edifici la cui stabilità è assicurata soltanto dall'intimo collegamento interno, in ogni direzione, per mezzo di membrature di cemento armato» (Stettner, 1909: 459).

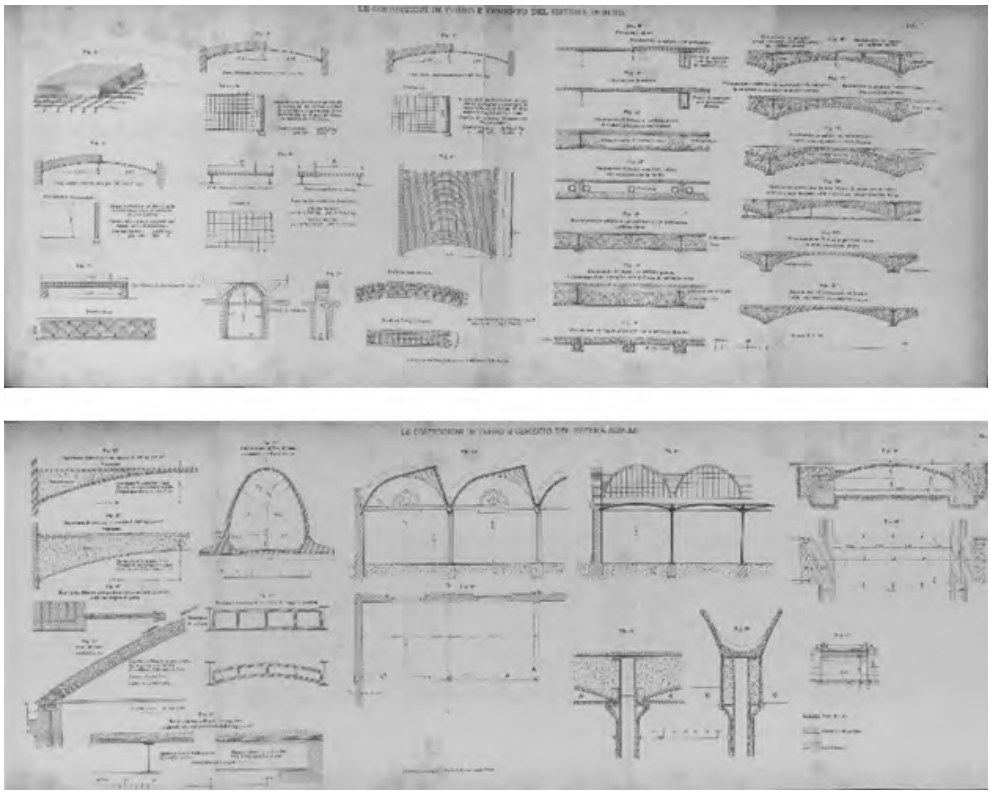


Fig. 2 – Le costruzioni in ferro e cemento del sistema Monier (s.a., 1890).

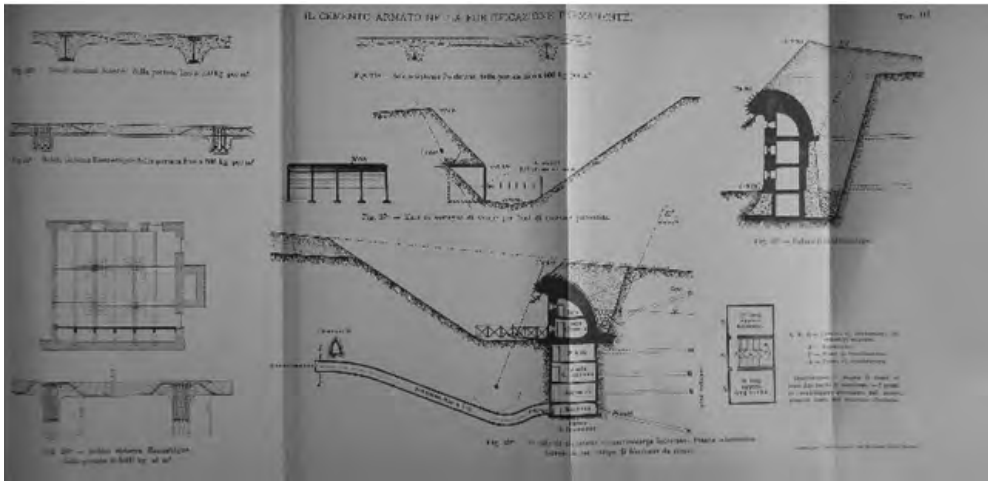


Fig. 3 – Fortificazione in cemento armato (Stettner, 1908: IV, tav. III).

I corpi di casamatta di cemento armato possono essere costruiti in elevazione oppure interrati. Fra i precursori dell'impiego del cemento armato nella fortificazione emerge indirettamente il colonnello Wagner, autore di una pubblicazione sulla fortificazione provvisoria che nelle sfere militari viene accolta con il massimo favore, ed è proprio a una pubblicazione risalente al 1897 dello stesso Wagner che lo Stettner dichiara di essersi ispirato (Stettner, 1908: 495).

Il contributo degli ingegneri militari all'impiego del cemento armato nella fortificazione permanente

Alla fine dell'Ottocento in Italia il dibattito sul cemento armato è ormai al centro dell'attenzione e sulle riviste specializzate se ne parla diffusamente: i sistemi descritti nel dettaglio e i metodi di calcolo, seppur approssimativi e spesso scorretti, sono argomento di animata discussione (Figari, 1898).

La Rivista di Artiglieria e Genio nel 1898 pubblica uno dei primi contributi italiani in materia di calcestruzzo armato e fortificazioni a cura del tenente colonnello Girolamo Figari (Figari,1898), in cui sostiene che dal punto di vista della resistenza elastica del cemento armato o del calcestruzzo di cemento armato: «1) Il legame tra le varie parti, dell'ossatura in ferro, è assicurato dalla sola azione del materiale cementizio e specialmente dalla forte aderenza del cemento al ferro; 2) per membrature soggette a flessione, se la dimensione minore è nel senso della flessione (caso di coperture piane) sarà da impiegarsi una sola armatura posta inferiormente; 3) per lastre o coperture piane appoggiate al perimetro occorreranno due armature sovrapposte e poco distanziate fra loro nella parte soggetta a trazione, con le sbarre di ferro di uno strato perpendicolari a quelle dell'altro […]; 4) per una copertura piana sopra una serie di appoggi o di piedritti, fra loro paralleli, occorrono due armature analoghe a quelle suddette; 5) lungo le sbarre dell'ossatura, soggette a trazione, il materiale cementizio tende a separarsi in tronchi regolari con piani normali alle sbarre stesse, mediante lesioni capillari tendenti a prolungarsi fino all'asse neutro di flessione senza recare nessun pregiudizio alla resistenza elastica della membratura; 6) Per membrature di dimensioni alquanto limitate nel senso della lunghezza, delle sbarre di ferro, l'estremità di questo deve essere convenientemente assicurata per evitare lo scorrimento delle stesse sbarre entro il materiale cementizio; 7) La sezione più conveniente per le sbarre dell'ossatura è quella circolare, mentre quella che presenta rientramenti (ferri a L, T, ecc.) parrebbe meno opportuna perché rende difficile la regolare immissione del cemento nei rientramenti, e perché tende ad avvicinare una buona parte del metallo all'asse neutro, diminuendone il concorso nella resistenza a flessione» (Figari,1898: 46-47).

Nonostante l'adozione della granata torpedine abbia imposto, nelle fortificazioni, l'impiego su vasta scala del calcestruzzo di cemento di grandi spessori per muri e volte[3], la ricerca italiana nel settore delle fortificazioni ai primi del Novecento palesa

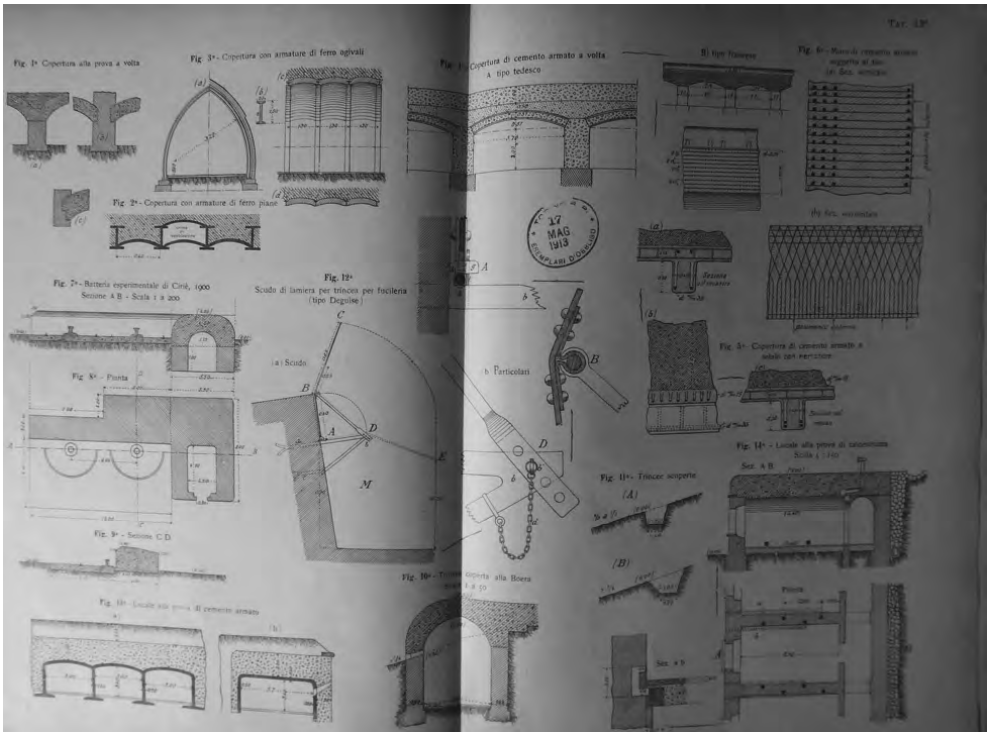


Fig. 4 – Copertura alla prova (Guidetti 1913, tav. XIII).

un certo scetticismo di fronte all'impiego del calcestruzzo armato. «Finora questo materiale venne sottoposto a svariate esperienze di resistenza, che hanno soddisfatto l'ingegnere civile e l'architetto. Si può ammettere che un corpo, il quale offre una grande resistenza al carico, possa pure offrire considerevole resistenza all'urto di un proietto […], ma dati sicuri, quali occorrono all'ingegnere militare, intorno a questa resistenza, non possono essere forniti che da prove di tiro, da esperimenti di rottura per mezzo di esplosivi. Esperienze di resistenza sono state fatte in Germania fin da parecchi anni fa […] ma non se ne conoscono ancora i risultati» (Passetti, 1899). «Questo genere di costruzioni in calcestruzzo armato sistema Monier non era stato ancora interamente provato ai lavori che danno luogo ad altri sforzi oltre a quelli statici. Noi però riteniamo soltanto che l'introduzione del ferro nel calcestruzzo di cemento non possa avere altro risultato utile al di fuori di quello di aumentare la resistenza del calcestruzzo a trazione, e che riguardo alla resistenza a compressione, specialmente allo schiacciamento derivante dall'urto e dallo scoppio, questa introduzione di ferro non può che diminuire tale resistenza, a causa dell'ostacolo che essa reca nell'intima unione dei materiali, sabbia, cemento e ghiaia» (Ago, 1901). Si veda la Figura 4.

Queste citazioni confermano le incertezze che all'epoca circolano sulle conoscenze del calcestruzzo armato.

È indubbio che la resistenza del calcestruzzo di cemento all'urto di potenti proiettili e allo scoppio di grosse cariche di esplosivo dipende non tanto dalla capacità del calcestruzzo di resistere a forti azioni statiche, quanto dalla sua particolare capacità di sviluppare un grande lavoro elastico resistente che assorbe per la massima parte la forza viva dell'urto e dello scoppio lasciando che, in minima parte, questa forza viva si risolva in danni circoscritti.

Spetta al generale Crescentino Caveglia, comandante del genio di Roma il merito di avere intrapreso per primo studi rivolti a cercare razionali procedimenti di calcolo per determinare la stabilità delle nuove strutture. Caveglia, a partire dal 1900 pubblica una serie di relazioni sul comportamento delle strutture in calcestruzzo armato (Caveglia, 1900; Caveglia, 1903a; Caveglia, 1903b; Caveglia, 1906a; Caveglia, 1906b) facendo tesoro dei dati sperimentali raccolti e, assieme all'ing. Consideré, giunto dalla Francia solo per poter seguire dette sperimentazioni, completa lo studio sulla resistenza: «Sulla base degli esperimenti di Considère, Caveglia considera le deformazioni limite di rottura e le resistenze unitarie del calcestruzzo, a trazione e a compressione, differenti e superiori in presenza di armatura rispetto alle parti non armate. Nella sua teoria considera anche il contributo del calcestruzzo a trazione, imponendo di contenere le deformazioni al lembo teso entro il limite di rottura del conglomerato. Questo lo porta a rinunciare a gran parte della resistenza espressa dalle barre di armature tese, spingendolo a preferire l'impiego di armature in ferro (acciaio dolce), piuttosto che quelle in acciaio. Nel calcolo della resistenza della sezione il comportamento dell'acciaio viene considerato elastico lineare; per il calcestruzzo si fa invece ricorso a un grafico non lineare e alle tabelle relative ai valori di sforzo, deformazione e modulo elastico secante; a favore della sicurezza il modulo elastico secante, calcolato per il calcestruzzo più sollecitato a compressione (o a trazione), si estende a tutto il calcestruzzo con tensioni dello stesso segno» (Turri et al., 2009: 651).

Il metodo di calcolo proposto da Caveglia, cui fanno poi riferimento le prescrizioni per l'impiego del cemento armato nelle opere militari emanate dall'Ispettorato delle Costruzioni del Genio, paragonato al sistema Hennebique porta a un significativo risparmio di armatura e di calcestruzzo e quindi di peso proprio (Marzocchi, 1907).

Conclusioni

Lo studio, il cui intento originale era, tra i tanti, quello di indagare le modalità d'impiego del cemento armato nella fortificazione permanente, ci restituisce una particolare dicotomia che rileva in un uso limitatissimo del cemento armato nelle opere di fortificazione permanente a fronte invece di una moltitudine di studi, articoli e saggi di diversi autori stranieri, pubblicati anche sulla Rivista di Artiglieria e Genio, e non

solo, a mio avviso per il fatto che gli ingegneri militari italiani non hanno tenuto conto dello studio del ten. col. Algrain sulle esperienze eseguite dalla Società di calci e cementi di Crèche, pubblicato nella rivista Le Béton armé (Christophe, 1902), nel quale si evidenzia come la grande aderenza fra ferro e cemento concorra ad aumentare la proprietà del calcestruzzo, di localizzare l'effetto di scoppio dei proietti, anziché diminuirla, ma anche in ragione del fronte di guerra, lungo il confine orientale, per le condizioni meteorologiche spesso avverse (ampie escursioni termiche, piogge e nevischio), per le inevitabile difficoltà di trasporto dell'acqua, confezionamento e getto del calcestruzzo ad alta quota, oltreché per il suo costo rilevante, che in un frangente segnato dall'inevitabile corsa agli armamenti, rende oltremodo oneroso il suo impiego, non da ultimo per l'approvvigionamento dell'armatura dei solai ecc.

Il patrimonio militare, testimone muto e spesso dimenticato di una cultura che ha lasciato il segno, di grande rilevanza strategica, storico-artistica e paesaggistica, merita di essere inscritto tra le eredità da trasmettere alle generazioni future e per il quale è sempre più urgente la messa a sistema di precipue opere di tutela e valorizzazione attraverso una preventiva e puntuale fase di conoscenza che al riguardo può e deve rappresentare l'avvio di un percorso di indagine che abbia l'obiettivo di addivenire a una riflessione più ampia sul progredire degli studi inerenti al patrimonio storico-culturale di architettura militare e agli esiti degli interventi legati al crescente dibattito sulle ragioni e sulle modalità operative delle diverse tesi di restauro e di valorizzazione delle fortificazioni permanenti.

Bibliografia di riferimento

Ago P. 1901. Inconvenienti dell'impiego del cemento armato nelle opere di fortificazione. Rivista di Artiglieria e Genio, I, 252-253.

Caveglia C. 1900. *Sulla teoria delle travi e dei lastroni in C.A. caricati dai pesi* Roma: Enrico Voghera.

Caveglia C. 1903a. *Carichi di prova da adattarsi a saette d'inflessione ammissibile per i solai in C.A.* Roma: Enrico Voghera.

Caveglia C. 1903b. *Solai in C.A.: Ricerca delle composizioni più economiche*. Roma: Enrico Voghera.

Caveglia C. 1906a. *Solai in C.A. composti di elementi tubolari*. Roma: Enrico Voghera.

Caveglia C. 1906b. *Piattaforma in C.A. per fondazioni*. Roma: Enrico Voghera.

Christophe R.P. 1902. *Le béton armé et ses applications*. Paris: Librairie polytechnique C. Béranger.

Figari G. 1898. Studio sulla resistenza elastica delle costruzioni a base di cemento con ossatura metallica. Rivista di Artiglieria e Genio, IV, 5-47.

Guidetti A. 1913. *La fortificazione permanente*. Torino: Bertinatti.

Guidi C. 1940. *L'associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione 1903-1937*. Roma: Stab. tipo-lit. del Genio civile.

Iori T. 2001. *Il cemento armato in Italia dalle origini alla Seconda guerra mondiale*. Roma: Edilstampa.

Isgrò S. 2022. Fortificazioni italiane sulle Alpi orientali. La “grand dessaroi” degli ingegneri militari di fine sec. XIX. In: *Atti del 9° Convegno di Storia dell’Ingegneria – Vth International Conference*, Napoli, 16-17 maggio. Napoli: Cuzzolin Editore

Marzocchi C. 1903. Le applicazioni del cemento armato fatte dal Genio militare. Solai di travi tubolari; estensione ai medesimi della teoria del generale Caveglia. Giornale del Genio Civile, 41, 497-527 e 609-639.

Marzocchi C. 1904. Le applicazioni del cemento armato fatte dal Genio militare. Solai di travi tubolari; estensione ai medesimi della teoria del generale Caveglia. Giornale del Genio Civile, 42, 22-45 e 157-180

Marzocchi C. 1908. Solai a travicelli di cemento armato soffittati in piano. Rivista di Artiglieria e Genio, I, 361-386, 637-666..

MLP. 1907. Prescrizioni normali per l’esecuzione delle opere di cemento armato. Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici, 10 gennaio 1907, bollettino n. 5. G.U. del Regno del 2 febbraio 1907.

Passetti F. 1899. Costruzioni in cemento armato. Rivista di Artiglieria e Genio. IV, 241-277.

s.a. 1907. Circa la caduta della copertura di cemento armato del grande serbatoio d’acqua di Madrid. Rivista di Artiglieria e Genio, III, 329-333.

s.a. 1909. Nuove Norme per le costruzioni in cemento armato compilate dalla Commissione Svizzera del cemento armato. Il cemento. 20, 309; 22, 337.

Simonnet C. 1992. Alle origini del cemento armato. Rassegna. 49(8), 6-14.

Stettner E. 1908. Il cemento armato nella fortificazione improvvista. Rivista di Artiglieria e Genio, IV, 492-503.

Stettner E. 1909. Il cemento armato nella fortificazione permanente. Rivista di Artiglieria e Genio, I, 455-469.

Turri F., Zamperini E., Cappelletti V. 2009. Sperimentazione e diffusione del calcestruzzo armato in Italia: il contributo del Genio Militare. In: *Concrete 2009. The Building Techniques. Proceedings of the 1st International Congress on The building techniques technology development of concrete Tradition, news, prospects* (A. Catalano and C. Sansone Eds.). Napoli: Luciano Editore. 647-653.

Vacchelli G. 1897. Sulle applicazioni delle costruzioni in calcestruzzo di getto ed in cemento armato. Relazione della speciale commissione nominata dalla Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani in Roma. Il Monitore Tecnico, III, 15, 115-117; 16, 124-126; 17, 131-133; 18, 142-144; 19, 151-152.

Von Leithner E. (a cura di). 1899. *La fortificazione permanente e la guerra di fortezza trattate secondo le fonti più recenti, traduzione italiana autorizzata dall’autore di Enrico Rocchi*. Roma: Voghera Enrico, Tipografo delle LL. MM. Re e la Regina.

Note

1. Il calcestruzzo armato rivela quindi una doppia origine: da un lato, da una frattura economica, che dà luogo alla funzione dell’ingegnere-consulente o del *bureau d’études*, e dal suo potenziale di sfruttamento, dall’altro, definito da procedimenti di notazione controllati, perlomeno prima del 1906 e in Francia, quasi esclusivamente dal suo inventore; fulcro di questo dispositivo è costituito dal brevetto (Simonnet,1992: 10).
2. Hennebique realizza le strutture del *Grand Palais* e del *Petit Palais* oltre a numerose altre opere; Coignet si occupa di altrettanti padiglioni, compreso lo *Château d’Eau*, di cui si aggiudica la realizzazione battendo la concorrenza dello stesso Hennebique; Cottancin

è, tra l'altro, l'artefice del padiglione della Repubblica di San Marino, incredibile castello in miniatura eseguito in getto. Matrai, invece, gode di una pessima reputazione per via del crollo, avvenuto durante la costruzione, di una passerella pedonale progettata con il suo sistema che conduce al Globe Céleste (Iori, 2001: 48).

3. In questo testo con il nome di "cemento armato" si indica il materiale costituito da cemento e sabbia. Il "calcestruzzo di cemento armato" è quello nel quale il materiale cementizio più vicino alle barre di ferro dell'ossatura è analogo al precedente di cemento e sabbia, mentre nelle altre parti è calcestruzzo di cemento, costituito da 1 parte di cemento, 2 di sabbia e 4 di pietrisco o ghiaia.

Sara Isgrò

Fortificazioni italiane sulle Alpi orientali. Le "grand dessaroi" degli ingegneri militari di fine sec. XIX

Eastern Alps Italian fortifications: the "grand dessaroi" or "great dismay" of the Italian military engineers in the late nineteenth century

Sommario

Nel passato, il tema dell'arte fortificatoria era riservato ai soli specialisti, ingegneri e tecnici del genio e d'artiglieria. Questo contributo restituisce alcune specificità tipologiche e aspetti tecnologico-costruttivi delle fortificazioni, particolari esempi di architettura militare afferente alla Prima guerra mondiale, che, grazie al singolare connubio tra peculiare collocazione geografica e specificità tipologica ne fa un patrimonio storico-culturale ad alta complessità e specificità. Tutto ciò è vero in particolare per le fortificazioni permanenti nell'Arco alpino orientale, immenso patrimonio materiale e immateriale, fatto di vestigia di fortificazioni, trincee, camminamenti, caverne, postazioni di mitragliatrici e cannoni, teleferiche, strade, mulattiere e piccoli posti di sepoltura: le aree delle battaglie, insomma, ma anche i luoghi della vita quotidiana dei soldati, divenute vere e proprie mete di escursioni turistiche, e oggetto, soprattutto negli ultimi anni, di precipui interventi di tutela e valorizzazione. Il contributo vuole essere un sottile fil rouge, che marca i punti salienti dello sviluppo dell'arte fortificatoria in Europa dalla fine del XIX secolo ai primi anni dieci del secolo scorso, ripercorrendo i principi ispiratori, i criteri costruttivi e di progettazione adottati dai diversi Stati e soprattutto dal neo nato Regno d'Italia fino al 1914, come il ricorso ai forti di sbarramento ad azione lontana, armati con artiglierie in cupole corazzate. Forte Montecchio Nord e la batteria Verena sono i due casi di studio considerati.

Abstract

Because of the recent centenary of the First World War, it should be considered the grown interest for the fortification art, a topic previously exclusively given to the arms of artillery and engineers, with specific reference to those forts located in the eastern alpine region of Italy, built during WWI. This contribution is focused on the types and the technical-constructional aspects of this example of military architecture, related to the WWI. The combination of the specific geographical location and type of architecture makes these military constructions a highly complex system and a historical

and cultural heritage. The research investigates how fortification art was developed in Europe, from the last years of the 19th Century to the end of WWI. It examines the guiding principles, design and building criteria adopted by the European countries involved in WWI, and more specifically by the Reign of Italy up to 1914, considering the long-distance action barrages made with artillery protected by armoured domes. We set out to review the activities related to the preservation, restoration and valorization of the fortifications through the stage of the preparatory phase, gathering information using direct and indirect sources. In addition to this, we will investigate case studies about the permanent fortification system in the eastern alpine region of Italy, including historical values, design and cultural elements at that time. The consideration of diverse elements is based on the combination of mountain territory, concrete, and iron that has generated outstanding results for the fortifications. The results have been credited to the Engineering Military corp. However, the corp connections with the engineering and architectural world are still to be determined.

Introduzione

La nuova tattica degli assedi, inaugurata a Gaeta nel 1860-61, e in particolare modo la cresciuta gittata delle bocche da fuoco rigate, la loro notevole esattezza nel tiro, la potenza di penetrazione dei nuovi proiettili e lo scoppio del primo conflitto mondiale portano a una sostanziale innovazione degli ordinamenti della difesa.

Se il rinnovamento delle artiglierie e della tattica ossidionale procede rapidamente, quello della fortificazione è invece lento e disputato. Infatti, benché le innovazioni introdotte nell'artiglieria sulla fine del XIX secolo abbiano posto in rilievo l'insufficienza difensiva delle opere fortificatorie, tutte di eccessiva mole e risalto, con bocche da fuoco installate allo scoperto, parapetti di terra e locali casamattati insufficientemente protetti da volte di muratura ordinaria, è solo l'introduzione delle granate torpedini, tra il 1880 e il 1885, a rendere necessarie innovazioni sostanziali nella fortificazione.

La fortificazione ha però visto uno sviluppo caratterizzato da molteplici studi e indicazioni d'indirizzo tecnico pratico da seguirsi in fase realizzativa/esecutiva che di vera e propria trasformazione e per l'ingegnere militare risulta di notevole interesse l'esame delle modalità che ne accompagnano l'evoluzione, guardando quanto si va realizzando presso i diversi Stati, così da trarne qualche indirizzo pratico.

La disamina dei risultati delle "esperienze di tiro contro opere murarie" condotte a partite dal 1865 ha permesso di comprendere quello che Henri Alexis Brialmont definisce *le grand dessarroi* in cui si trovano gli ingegneri militari di fine '800 (Brialmont, 1888; Lo Forte, 1888a: 9) in ragione del recente impiego del calcestruzzo e del ferro nella fortificazione, cosa che ha dato origine a ordinamenti difensivi sostanzialmente nuovi e a forme originali e peculiari: si pensi alle fortificazioni di Liegi e di Namur che il governo belga fa erigere nel 1885-86 per tutelare la neutralità dello Stato.

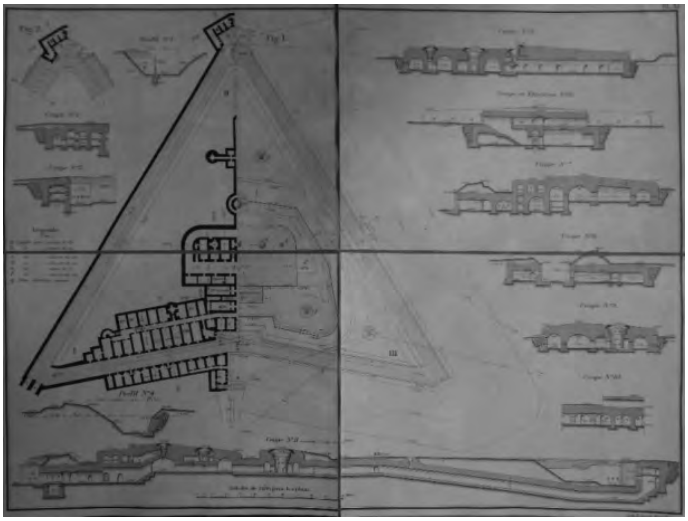


Fig. 1 – Esempio di forte proposto da Brialmont per la fortificazione del fiume Mosa (Brialmont, 1885: tav. 2).

I forti a protezione della linea della Mosa, in Figura 1, che è la comunicazione più diretta tra Berlino e Parigi, sono costituiti da un grande masso di calcestruzzo cementizio di forma pressoché triangolare col sagliente smussato, limitato da superficie convesse, atte a favorire il rimbalzo e lo scivolamento dei proiettili. All’interno del nucleo cementizio, da cui affiorano le torri corazzate girevoli disposte in gruppi, sono ricavati in caverne artificiali i locali che maggiormente importa proteggere dall’azione distruttiva dei nuovi proiettili, quali la polveriera, i laboratori e la sede degli impianti meccanici ed elettrici. Nei particolari tecnici e d’ordinamento dei forti della Mosa si ravvisa la più larga e ben riuscita applicazione delle industrie meccaniche e metallurgiche all’architettura militare moderna. Con il ritorno della fortificazione al concetto della caverna difensiva - il nucleo centrale dei forti della Mosa ha, nell’interno, diversi locali interamente ricavati nello spesso banco di calcestruzzo - l’evoluzione dell’arte fortificatoria sembra seguire una curva chiusa con punti di ritorno: a migliaia di secoli di distanza dai nuraghi della Sardegna, l’esigenza da soddisfare è sempre quella della difesa, per cui si assiste all’applicazione degli stessi concetti, rivestiti di forme diverse, in relazione allo stato dell’industria dell’epoca.

I forti e una nuova modernità: il calcestruzzo e l’acciaio

Nei forti ritroviamo un variegato repertorio dei diversi fatti concomitanti e legati alla politica, all’economia e alla industrializzazione che hanno segnato la vicenda italiana all’indomani dell’Unità: dietro alle cupole d’acciaio e alla massa di calcestruzzo colato, che gradualmente si sostituisce all’apparecchiatura in muratura, lo storico

legge le ambiguità della politica estera, l'inadeguatezza della politica militare e la crescita dell'industria metalmeccanica.

La cultura dell'eclettismo, evidente in molte realizzazioni in muratura di fine '800, sulla soglia del '900 cede il passo ai nuovi materiali, acciaio e calcestruzzo, come mostrato nelle Figure 2 e 3.

Fig. 2 – Forte Cadine (TN) (Foto di S. Isgrò, agosto 2016).

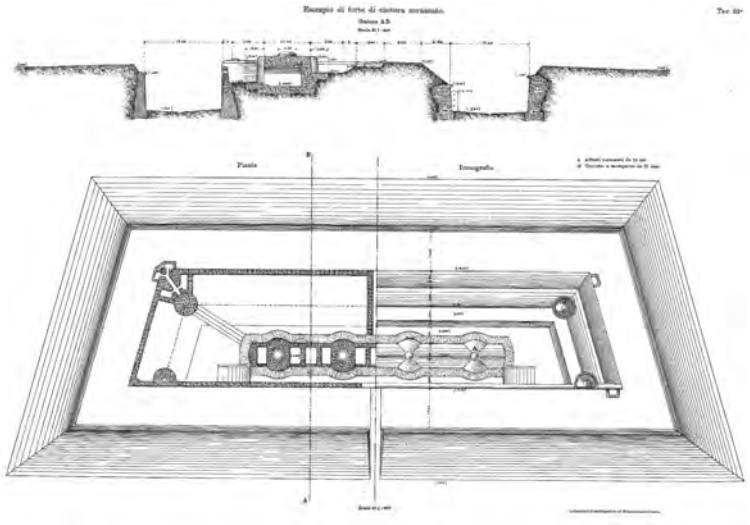


Fig. 3 – Esempio di forte di cintura corazzato tipo Rocchi: pianta (in basso) e sezioni (in alto) (Rocchi, 1902: tav. 33).

Al riguardo è stato interessante comprendere la dinamica per cui i diversi Stati coinvolti nel primo conflitto mondiale abbiano pian piano iniziato a farsi una guerra incruenta, ma non priva di conseguenza funeste, già prima della firma del Primo trattato della Triplice Alleanza (1882).

La Grande Guerra si inizia a combattere nelle fabbriche, nei poligoni d’artiglieria, nei laboratori chimici: Bange contro Krupp, Saint Chamond contro Grüson, Châlons contro Cotroceni, torri di ferro e di ghisa giranti, oscillanti e a scomparsa, a uno o a due pezzi, cannoni e granate, polveri nere e brune e sostanze esplosive più o meno misteriose e terribili, calcestruzzi e metalli. Tutto ciò determina una specie di turbinio infernale e inarrestabile, di prove e risultati.

Si comincia a usare il calcestruzzo cementizio, confezionato, rispecchiando la formula di Plinio, con un terzo di frammenti di pietra silicea, sabbia di fiume e un quarto di cemento tipo Portland a lenta presa per un metro cubo di pietrame, da qui il nome di cemento al quarto (Guidetti, 1913: 108). Le prove di tiro comparativo eseguite nel 1864 su massi di conglomerato artificiale e di granito di Baveno nell’antico forte Cerro sul lago Maggiore[1] mettono in evidenza che l’urto dei proiettili non dà luogo a fenditure radiali e a conseguenti disgregamenti dei massi e che l’azione rimane circoscritta al punto di percossa, per cui i conglomerati artificiali sono più idonei rispetto a quelli naturali e allo stesso granito nella costruzione delle opere di difesa esposte all’azione diretta dei proiettili (s.a., 1865; Rocchi, 1888b). La superiorità di resistenza dei primi viene confermata dalle esperienze di Kummersdorf e di Bouges (1884-86) che, come mostrato in Figura 4, hanno posto in rilievo le singolari qualità di resistenza del calcestruzzo cementizio all’urto e allo scoppio delle granate torpedini. Tali deduzioni hanno poi avuto ampia conferma nelle successive prove di tiro eseguite al campo di Châlons (1888) e al poligono di Scherff in Olanda (Von Leithner, 1895; Rocchi, 1892: 5-43; De Antoni e Guidetti, 1900: 29-50), in Figura 5.

Seppur progettate e costruite secondo le più moderne concezioni tecnologiche del tempo, alla prova del fuoco molte delle fortificazioni italiane costruite solo pochi anni prima dello scoppio del conflitto in base al “Piano generale per la difesa dello Stato”, o Piano Ferrero del 1871[2] si rivelano superate dall’evoluzione delle artiglierie nemiche, perdendo irrimediabilmente, sin dai primi giorni del conflitto, le loro capacità operative[3]. Demolirle o abbandonarle, come si è fatto in altri Stati europei, appare al governo italiano e ai militari uno spreco intollerabile; per questa ragione decide di tentare innanzitutto l’adeguamento delle vecchie opere, aumentandone la protezione e ricorrendo a soluzioni innovati per l’armamento. Si procede dunque all’aggiunta di coperture frontali e sommitali in calcestruzzo alle fortificazioni in pietrame preesistenti, il ricorso a enormi scudi di ghisa, le corazze Gruson da 220 mm, coperte da getti di calcestruzzo e terra per la protezione della batteria e l’adozione, non generalizzata, delle costosissime batterie “a sfera” o “a cannone prigioniero” (Guidetti, 1913: 105): in Figura 6 è riportato il disegno di una casamatta corazzata a cannone prigioniero.

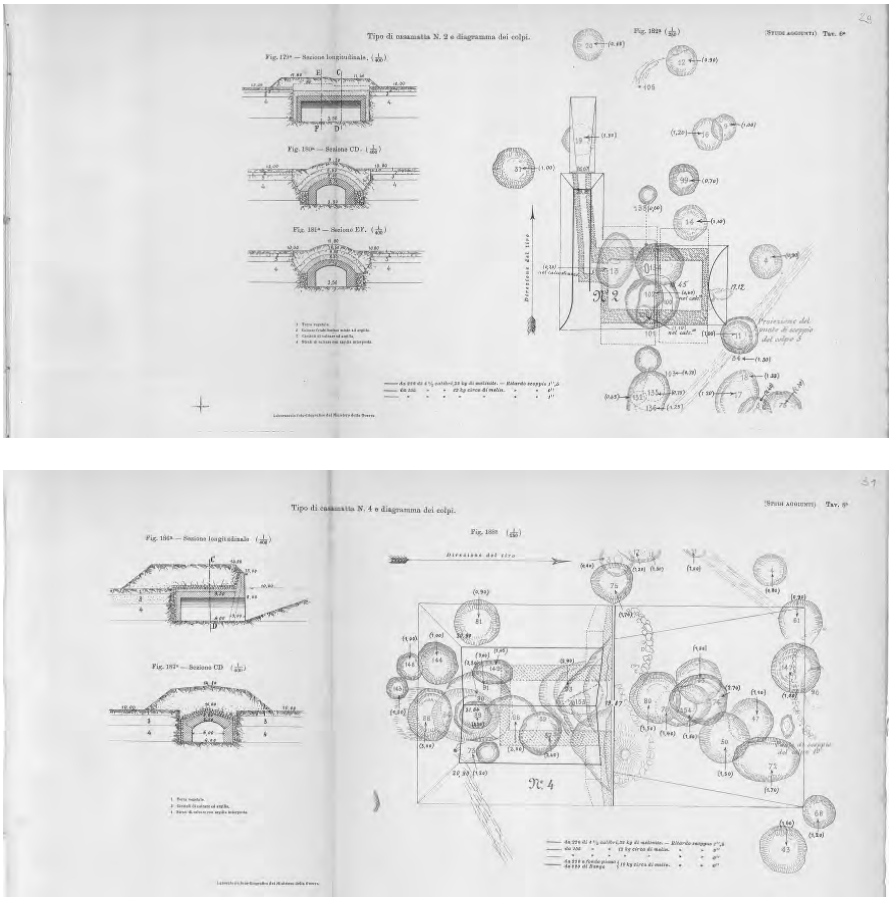


Fig. 4 – Disposizione generale delle casamatte sperimentate a Bourgers e diagrammi dei colpi tirati (Von Leithner, 1895).

In particolar modo, per affrancare la fortificazione dall'azione distruttiva delle potenti artiglierie non basta usare i materiali idonei, ma occorre anche adottare il concetto della resistenza indiretta e dell'occultamento del bersaglio, ridotto ai minimi termini di rilievo e di profondità. Fra le molteplici installazioni protette che l'industria è in grado di fornire alle artiglierie, quella in pozzi, in Figura 7 può considerarsi la più opportuna, poiché meglio di ogni altra soddisfa i criteri anzidetti.

In Italia si fa ricorso alla linea concettuale promossa da Brialmont, sotto forma di una sua variante elaborata soprattutto dal generale Enrico Rocchi: la scuola dei forti corazzati ridotti, a difesa indipendente (Zanotti 1890: 217-218; Guidetti 1913: 53). Pur in accordo con le teorie dei sostenitori dei forti corazzati, la proposta consiste nel

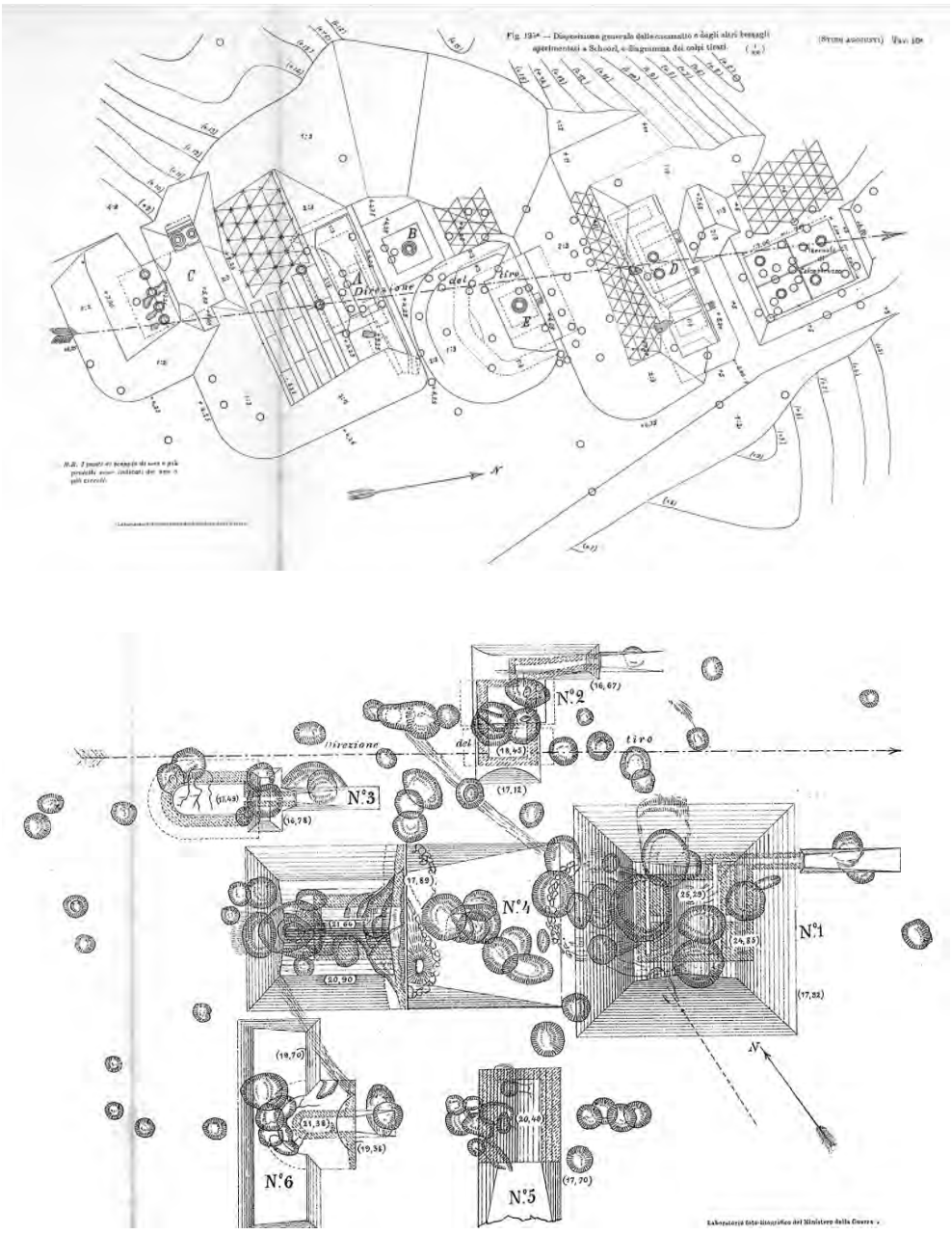


Fig. 5 – Disposizione generale delle casamatte sperimentate a Schoorl (in alto); diagrammi dei colpi tirati (in basso) (Von Leithner, 1895).

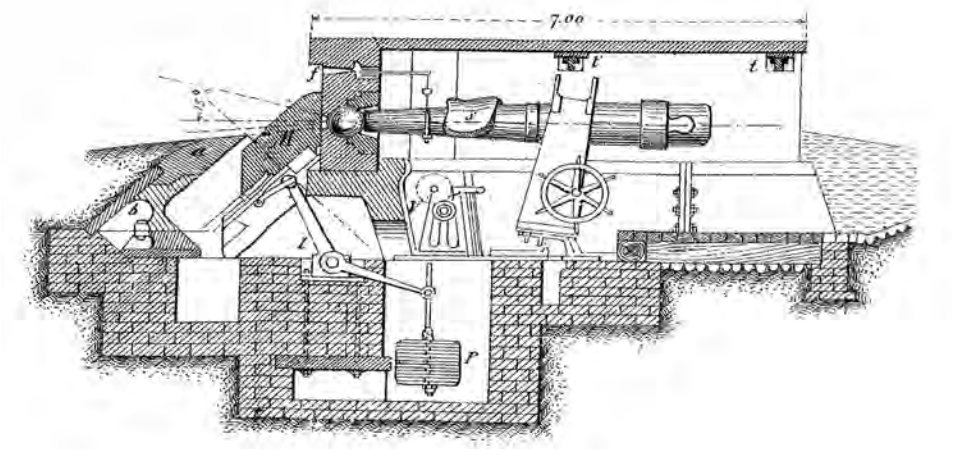


Fig. 6 – Casamatta corazzata a cannone prigioniero (Zanotti, 1890: tav. XXIV, fig. 205).

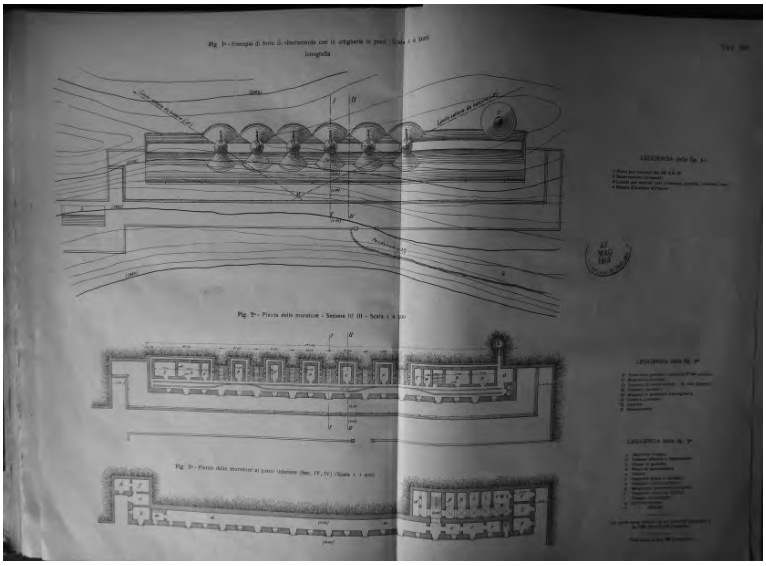


Fig. 7 – Esempio di forte di sbarramento con le artiglierie in pozzi, pianta e sezioni (Guidetti, 1913: tav. 36).

contenere numero, dimensioni, armamento ed equipaggiamento delle singole opere, così da limitare al massimo gli elevatissimi costi di realizzazione. L'assunto di base è creare opere robuste e isolate, possibilmente su rilievi dominanti e quindi al sicuro dalle offese dell'artiglieria nemica e dalle sorprese della fanteria; opere che siano anche non troppo costose, in grado di battere quelle nemiche e le artiglierie campali

in avvicinamento e disposte a intervalli di circa quattro chilometri, in modo da concedersi reciproco appoggio di fuoco. Di contro, le fortificazioni austriache dovevano fungere da potenti caposaldi a sostegno della fanteria, inseriti all’interno di un più ampio sistema difensivo fatto di trincee e postazioni in grado di appoggiarsi a vicenda e di resistere per lunghi periodi anche con poche truppe.

Al riguardo, la messa a sistema dei dati raccolti e il confronto con gli studi avviati da alcuni ricercatori dell’Università degli Studi di Trento (Dallavalle e Favero, 2014) e dello IUAV di Venezia (Favero, 2008) sul sistema di fortificazione permanente austroungarico consente di trarre delle considerazioni sull’effettiva risposta del sistema di fortificazioni italiano al Primo conflitto mondiale.

Contrariamente alle opere austriache, costruite “alla prova” dei mortai da 305 mm, già compresi tra le artiglierie del parco d’assedio dell’esercito austroungarico (con cupole d’acciaio di 330 mm e masse di calcestruzzo o cemento armato di 4-5 m di spessore) le opere italiane, realizzate con corazzature limitate a 165 mm e masse cementizie di 2-2,5 m, capaci dunque di resistere efficacemente alle offese dei soli medi calibri, alla prova del fuoco perdono irrimediabilmente, sin dai primi giorni del conflitto, le loro capacità operative.

Due esempi: Forte Montecchio Nord e la batteria Verena

I forti, ancora imponenti e non privi di una sinistra bellezza, sembrano quasi fungere da paradigma del conflitto, testimoni muti ed eloquenti a un tempo della tragedia di cui sono stati protagonisti.

Quasi tutti i forti, se si eccettua parzialmente il forte Venini al Dossaccio di Oga in Alta Valtellina, ai più noto come Forte Montecchio Nord, in Figura 8, sono stati saccheggiati e parzialmente demoliti dalle vicende belliche o dai recuperanti del dopoguerra; altri ancora, di cui alcuni di proprietà dell’esercito, sono privi dell’armamento originario.

Sebbene durante la guerra l’imperativo sia quello di «ridurre i particolari tecnici e di ordinamento delle opere alla più grande semplicità, non solo per ragioni economiche, ma anche e soprattutto in omaggio al concetto che un’opera di difesa non è un’opera d’arte nel senso comune del termine, ma uno strumento di guerra» (Rocchi, 1912: 147), l’elemento comune delle grandi opere difensive dei primi del Novecento, evidente nell’appli-

Fig. 8 – Forte Montecchio Nord di Colico (LC): il sistema dell’armamento di copertura (Foto di S. Isgrò, maggio 2016).

cazione della tecnologia - quale processo di creazione, modificazione e conoscenza di strumenti, macchine, sistemi, metodi di organizzazione - alla materia costruita, è un fare costruttivo capace di sapere coniugare estetica e funzione nella scelta, uso e disposizione dei materiali adottati.

Il forte Montecchio è l'unico esempio di artiglieria da fortezza italiana della Prima guerra mondiale: è tuttora munito di una batteria di cannoni di medio calibro da 149 mm Schneider, 149S, con affusto a deformazione, sistemati in pozzo e protetti da cupole girevoli corazzate dello spessore di 160 mm (Flocchini, 1993; Isgrò, 2018). Nell'impianto, il forte Montecchio riflette i criteri tipologico-costruttivi e distributivi di trapasso dal forte tipo "Brialmont" alla batteria corazzata tipo "Rocchi" e, proprio perché non è rimasto coinvolto nei combattimenti della Prima guerra mondiale, trovandosi assai distante dal fronte di guerra, si presenta integro, cosa che consente di studiarne la disposizione, tenendo conto che si tratta di un forte di pianura, l'organizzazione difensiva e soprattutto i diversi aspetti tipologico-costruttivi. Dall'analisi architettonica di forte Montecchio Nord, uno degli elementi che maggiormente impattano è il notevole rapporto pietra/calcestruzzo e il fatto che possa classificarsi come una delle poche opere a non aver subito alcuna spoliazione di pietre lavorate. In ogni suo elemento, infatti, il materiale lapideo emerge con dignità di opera d'arte: portali, feritoie, rivestimenti a *opus incertum*, pilastri, soglie, canali, gronde, chiusini.

Di contro, la batteria corazzata Verena, in Figura 9, riflette maggiormente i temi della Scuola dei forti corazzati ridotti, a difesa indipendente. Sostanzialmente si tratta di un forte di montagna, ridotto a un semplice banco di calcestruzzo, poco emergente dal terreno, sul quale affiorano le bocche da fuoco, installate dentro pozzi di pianta circolare ricavati nel banco cementizio e protetti da cupola metallica. Colpita

Fig. 9 – Batteria Verena (VI) (Foto di S. Isgrò, agosto 2016).

pesantemente dagli austriaci sin dall’inizio dell’entrata dell’Italia in guerra, ridotta in stato di rovina, per la cifra di modernità di cui è espressione con l’ampio ricorso al calcestruzzo di cemento e per le valenze simboliche di cui è intrisa, dal momento che sono stati i colpi sparati dal Verena a sancire l’ingresso dell’Italia nel Primo conflitto mondiale il 24 maggio 1915, è stata restaurata grazie alle risorse economiche messe a disposizione dalla L. 78/2001 (Presidente della repubblica, 2001).

Conclusioni

Nell’ultimo quarto del XIX secolo, dopo l’introduzione delle artiglierie rigate e a retrocarica, a partire da alcune evidenze proprie della natura e portata dei nuovi elementi difensivi, quali l’impiego delle artiglierie meccaniche come mezzi di offesa, delle masse metalliche e di calcestruzzo come mezzi di protezione (cosa per cui si è rinunciato alle masse di terra, ritenute impotenti di fronte all’azione delle granate mine; soppressi i fossati, non più necessari per porre l’opera al coperto degli attacchi di viva forza, e i presidi di fanteria, non più necessari per la difesa vicina dell’opera stessa), c’è stata una successione non interrotta di proposte di studi per restituire alla difesa l’efficacia perduta di fronte ai perfezionati mezzi d’attacco.

Tali proposte si sono moltiplicate negli anni e tendono, come quelle di Schumann, von Sauer e Mougin (Leithner, 1895), a introdurre nell’arte fortificatoria sostanziali riforme che tuttavia non riusciranno a entrare in un periodo di verace attuazione.

Al riguardo, lo stesso Rocchi, dopo avere esaminato criticamente le nuove forme di fortificazione (Rocchi, 1888b: 30-78), cercando di riassumere le ragioni che si oppongono all’abbandono assoluto dei vecchi elementi di difesa afferma che l’arte fortificatoria, anziché avviarsi risolutamente verso quel periodo di trasformazione preconizzato dai sostenitori della fortificazione meccanica, si trova a fine Ottocento in uno stato di tentativi e di indecisione tra le vecchie forme, di cui si contesta il valore difensivo di fronte ai mezzi di distruzione, introdotti nella guerra degli assedi, e le nuove, la cui efficacia non è stata ancora accertata da prove reali e indiscusse.

Il momento di grand dessarroi, così come Brialmont definisce l’ultimo decennio dell’Ottocento (Brialmont, 1888), perdura per tutto il periodo della Prima Guerra Mondiale, soprattutto in merito alle notevoli incertezze sulla questione della risposta della combinazione fra cemento e acciaio agli effetti d’urto e di scoppio dei potenti proiettili d’artiglieria, ovvero alle azioni di tipo dinamico.

Bibliografia di riferimento

Aita S., Collotti F., Pirazzoli G. 2014. Guardare senza esser visti. La macchina da guerra incompiuta di forte Pozzacchio. In: *Il recupero dei forti austrungarici trentini* (a cura di M. Dallemule e S. Flaim). 136-154. Trento: Soprintendenza per i Beni culturali della Provincia autonoma di Trento.

Araldi A. 1892. *Gli ostacoli naturali e la fortificazione*. Bologna: Zanichelli.

Arlorio A. 1893. *Cementi italiani*. Milano: Hoepli.
Battaino C. 2008. Un progetto ipogeo. In: *Progetto Grande Guerra. Tutela e valorizzazione dei beni architettonici. Esperienze a confronto* (a cura di M. Favero). 82-85. Rovereto: Provincia Autonoma di Trento.
Bellotti W. 2009. *I sistemi difensivi e le grandi opere fortificate. In: Lombardia tra l'Et*à *Moderna e la Grande Guerra. Le batterie corazzate (a cura di M.* Favero). Temù: Tipografia Camuna.
Bernini R. (a cura di). 2012. *Il patrimonio storico della Prima guerra mondiale. Progetti di tutela e valorizzazione a 14 anni dalla legge del 2001*. Roma: Gangemi.
Bloch M. 2009. *Apologia della storia o Mestiere di storico*. Torino: Einaudi.
Brialmont H. A. 1879. *La Fortification du champ de bataille. Atlas.* Bruxelles: Librairie militaire C. Muquardt.
*Brialmont H. A. 1885. La fortification du temps pr*ésent. Bruxelles: Guyot frères.
Brialmont H. A. 1888. L'influence du tir plongeant et des obus-torpilles sur la fortification. Bruxelles: Hachette livre.
Broll C. 2014. Werk Tenna. Il riuso della rovina. In: *Il recupero dei forti austrungarici trentini* (a cura di M. Dallemule e S. Flaim). 201-215. Trento: Soprintendenza per i Beni culturali della Provincia autonoma di Trento.
Carollo M., S. Isgrò S. (a cura di). 2018. La valorizzazione dei paesaggi di guerra nelle montagne vicentine attraverso il recupero di trincee, camminamenti e altre fortificazioni campali. Intervento alla Giornata di *Studio Fortificazione campale e camouflage. Camminamenti, trincee e paesaggi di guerra*, promossa dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, Dottorato di Ricerca in Architettura, Patrimonio architettonico e paesaggio: storia e restauro dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.
Cimbolli Spagnesi P. (a cura di). 2015. Al di là delle trincee. Territori e architetture del Regno d'Italia al tempo della Prima guerra mondiale. In: *Atti del congresso internazionale*, Roma, 3-5 dicembre 2015, Sapienza Università di Roma.
Cirincione G. 1923. Considerazioni e deduzioni tratte dal comportamento delle opere permanenti sulla fronte trentina durante la grande guerra. Rivista di Artiglieria e Genio, II, 140-172.
Collotti F., Fantini V., Larcher F., Trevisani E. (a cura di). 1998. Esempi di recupero di siti militari di importanza rilevante dal punto di vista storico, turistico e didattico. In: *Atti del Convegno La Memoria nella pietra. Censimento recupero e conservazione delle opere militari 1915/18 tra storia, didattica e memoria*, Lavarone, 19-21 settembre 1997, 47-58. Ferrara: Litografia Tosi.
Collotti F., Favero M. 2008. La macchina da guerra incompiuta. In: *Progetto Grande Guerra. Tutela e valorizzazione dei beni architettonici. Esperienze a confronto* (a cura di M.Favero). 69-75. Trento: Provincia autonoma di Trento.
Dallavalle M., Favero M. 2014. Forte Corno. Paesaggio in Trasformazione. In: *Il recupero dei forti austrungarici trentini* (a cura di M. Dallemule e S. Flaim). 168-185. Trento: Soprintendenza per i Beni culturali della Provincia autonoma di Trento.
De Antoni C., Guidetti A. 1900. *Studi di opere di fortificazione di montagna*. Torino: s.n.
Dubois L. 1988. *Lafarge Coppée, 150 ans d'industrie*. Parigi: Belfond.
Faccio P. 2014. Forte Dossaccio. Memorie di morte e simboli di vita, dal progetto alla realizzazione. In: *Il recupero dei forti austrungarici trentini* (a cura di M. Dallemule e S. Flaim). 154-167. Trento: Soprintendenza per i Beni culturali della Provincia autonoma di Trento.

Favero M. 2008. Verso il forte di montana. In: *Progetto Grande Guerra. Tutela e valorizzazione dei beni architettonici. Esperienze a confronto* (a cura di M. Favero). 40-47. Trento: Provincia autonoma di Trento.

Favero M., Micheletti C. 2014. Ricomporre la rovina. Il Forte di Cadine. In: *Progetto Grande Guerra. Tutela e valorizzazione dei beni architettonici. Esperienze a confronto* (a cura di M. Favero). 69-75. Trento: Provincia autonoma di Trento.

Flocchini A. 1993. Il forte Montecchio di Colico. Rivista militare della Svizzera italiana, 6, 342-352.

Guidetti A. 1913. *La fortificazione permanente*. Torino: Bertinatti.

Iori T. 2001. Il cemento armato in Italia dalle origini alla Seconda guerra mondiale. Roma: Edilstampa.

Isgrò S. 2018. Montecchio Nord Fortress. Project drawings of military engineering construction management. In: Proceedings of International multidisciplinary Scientific Conferences on Social Sciences & Arts, 5, 195-210.

Isgrò S. 2019. Il sistema paesaggio-forti. Dalla conoscenza ai primi progetti di valorizzazione. Una ricerca ancora in fieri. In: *Riconoscere e far conoscere i paesaggi fortificati* (a cura di M. Fumo e G. Ausiello). 273-282. Napoli: Luciano Editore.

Isgrò S. 2019. *Ingegneria militare e fortificazioni nell’Arco alpino orientale. Dall’età post unitaria al primo conflitto mondiale. Conoscenza, tutela e restauro*. Tesi di Dottorato in Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Isgrò S. 2019. Una rovina ad alta quota. Il Werk Verena. Restauro Archeologico, 2, 92-107.

Isgrò S. 2022. Cemento armato e fortificazione permanente. Il contributo degli ingegneri militari all’arte fortificatoria sulla soglia del XX secolo. In: *Atti del 9° Convegno di Storia dell’Ingegneria Vth International Conference*, Napoli, 16-17 maggio. Napoli: Cuzzolin Editore.

Lo Forte F. 1888a. Ancora il ferro nella fortificazione (a proposito di un libro del generale Brialmont). Rivista di Artiglieria e Genio, *III, 5-61*.

Lo Forte F. 1888b. Esperienze sui calcestruzzi. Rivista di Artiglieria e Genio, IV, 191-237.

Malacarne G. 2008. Scene dal forte. In: *Progetto Grande Guerra. Tutela e valorizzazione dei beni architettonici. Esperienze a confronto* (a cura di M. Favero). 61-67. Trento: Provincia autonoma di Trento.

Malacarne G. 2018. Forte Colle delle Benne (Levico Terme). *Casabella*, 881, 42-51.

Presidente della repubblica. 2001. *Tutela del patrimonio storico della Prima guerra mondiale.* L. n. 78 del 7 marzo 2001. Gazzetta Ufficiale n. 75 del 30 marzo 2001. Roma: Poligrafico di Stato.

Quendolo A. (a cura di). 2014. *Paesaggi di guerra. Memoria e progetto*. Udine: Gaspari.

Rocchi E. 1888a. Le forme ed i materiali della nuova fortificazione. Rivista di Artiglieria e Genio, I, 367-408.

Rocchi E. 1888b. Le forme ed i materiali della nuova fortificazione. Rivista di Artiglieria e Genio, II, 30-78.

Rocchi E. 1892. La fortificazione attuale. Rivista di Artiglieria e Genio, II, 5-43.

Rocchi E. 1908. La fortificazione permanente contemporanea. Rivista di Artiglieria e Genio, III,108-127.

Rocchi E. 1908. *Le fonti storiche dell’architettura militare*. Roma: Officina Poligrafica Editrice.

Rocchi E. 1908. *Storia delle fortificazioni e dell’architettura militare*, II, Roma: s.n.

Rocchi E. 1912. *Traccia per lo studio della fortificazione permanente.* Roma: Voghera.

s.a. 1865. Relazione sulle esperienze del tiro delle artiglierie rigate contro i muri, eseguite sul Lago Maggiore dal 22 agosto al 22 ottobre 1864. *Giornale del Genio militare, 3, 77-108.*
s.a. *1886. Esperiences de Bukarest, Extrait du rapport de la commission Néerlandaise.* Rivista di Artiglieria e Genio, II, 42-43.
s.a. 1887. Azione del gelo sulle malte. Rivista di Artiglieria e Genio, III, 126-127.
s.a. 1888. Malte di cemento al cloruro di calcio. Rivista di Artiglieria e Genio, IV, 512-517.
Simonnet C. 1992. *Alle origini del cemento armato.* Rassegna, 49. 6-14.
Sironi G. 1873. *Saggi di geografia strategica*. Torino: s.n.
Sordo F. 2008. La porta dello Sbarramento. In: *Progetto Grande Guerra. Tutela e valorizzazione dei beni architettonici. Esperienze a confronto* (a cura di M. Favero). 36-37. Trento: Provincia autonoma di Trento.
Treccani G.P. 2015. La preparazione alla guerra. *Storia Urbana, XXXVIII(149), 5-8.*
Turgan J. François. 1876-1885. *Les grandes usines: études industrielles en France et a l'étranger.* Paris: C. Lévy.
Turri F., Zamperini E., Cappelletti V. 2009. Sperimentazione e diffusione del calcestruzzo armato in Italia: il contributo del Genio Militare. *In: Concrete 2009. The Building Techniques. Proceedings of the 1st International Congress on The building techniques technology development of concrete Tradition, news, prospects* (A. Catalano and C. Sansone Eds.). 647-653.Napoli: Luciano Editore.
Vacchelli G. 1903. *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*. Milano: Hoepli.
Von Leithner E. (a cura di). 1895. *La fortificazione permanente e la guerra di fortezza trattate secondo le fonti più recenti*. Roma: Voghera.
Zanotti B. 1891. *Fortificazione permanente*. Torino: G. Candeletti.

Note

1. Relazione sulle esperienze del tiro delle artiglierie rigate contro i muri, eseguite sul Lago Maggiore dal 22 agosto al 22 ottobre 1864, 1865, 77-108.
2. ISCAG - Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio, Archivio documentale, fondo Comitato degli ispettori d'Artiglieria e Genio, b. 89, fasc. s.n., "Piano generale dell'Italia" (1885).
3. L'armamento dei forti italiani è costituito in genere da 4-6 cannoni da 149 mm installati in cupole corazzate a "pozzo" a cui si affiancano pezzi di calibro più piccolo (in genere una batteria esterna da 75 o 87/98) e mitragliatrici per la difesa ravvicinata. I forti austriaci utilizzano invece obici da 100 mm, differendo da quelli italiani soprattutto per lo spessore delle masse di calcestruzzo a protezione della batteria (4-5 metri contro i 2-3 metri dei forti italiani), oltre che per la forma e lo spessore delle cupole che raggiunge i 30 cm contro i 14/18 cm di quelle utilizzate nei forti italiani (Cirincione, 1923).

Barbara Berger

Reaching new heights – Building technology of water towers in Germany in the 19th and 20th century

Raggiungere nuove altezze. La tecnologia di costruzione delle torri d`acqua nel XIX e XX secolo in Germania

Abstract
The “water tower” represents a technical building that did not have a single use, but was used in various industrial and service areas, such as the supply of drinking water, the recharging of steam locomotives or the collection of service water in industrial plants. With the advancement of construction technologies and engineers between the mid of the 19th and the first half of the 20th century, the shape and structure of water towers underwent numerous changes, resulting in a wide range of forms, leaving an imprint in the countryside and in the cities. Thus a building type emerges which represents the result of the interaction of various disciplines: technology, engineering and architecture. This study highlights the development and the significance of the water tower in Germany as an important contribution to the building technologies and engineering achievements of the late 19th and early 20th century.

Sommario
La “torre d’acqua” rappresenta una struttura tecnica che non ha avuto un uso unico, ma è stata impiegata in diversi ambiti industriali e di servizio, come la fornitura di acqua potabile, la ricarica delle locomotive a vapore o la raccolta dell’acqua di servizio negli stabilimenti industriali. Con l’avanzamento delle tecnologie di costruzione e grazie agli ingegneri dalla metà del XIX alla prima metà del XX secolo, la forma e la struttura delle torri d’acqua subirono numerose modifiche, che risultarono in un’ampia tipologia di forme, lasciando un’impronta nelle campagne e nelle città. Emerge così un tipo edilizio che rappresenta il risultato dell’interazione di varie discipline: tecnologia, ingegneria e architettura. Questo studio mette in evidenza lo sviluppo e il significato della torre dell’acqua in Germania come importante contributo alle tecnologie edilizie e alle conquiste ingegneristiche tra la fine del XIX e l’inizio del XX secolo.

Introduction

The water tower is a technical building and belongs to the type of elevated tanks that were used for water supply. Namely, for the short-term storage[1] of a certain amount of service water, as well as to compensate for the uneven ratio of water delivery and irregular consumption behaviour. The elevated position of the water tank provided the necessary operating pressure.

Thus the water tower developed into a symbol of the water supply technology and its technology represented in the 19th and 20th centuries and became a landmark of cityscapes and landscapes.

In Germany today, there are still a large number of water towers from this period, according to Schmidt, in 2019 up to almost 3,000 (Schmidt, 2019). However, these are often threatened with demolition due to their decommissioning, which gradually entails the loss of important testimonies to the history of technology and culture.

Use

In the 19th and 20th centuries the water tower represented a technical building that was used in several public supply and industrial sectors[2].

Central drinking water supply

The history of water supply has accompanied mankind from the very beginning and was first discussed in Sextus Iulius Frontinus' (ca. 35-103 A.D.) work *De aquis urbis Roma* in order to have sufficient water for urban developments and densities[3].

The waterworks and water towers in Augsburg, built from 1460 onwards, were an important early example of modern drinking water supply (Merkl et al., 1985).

In the middle of the 19th century, population growth increased considerably. Thus the cities had to provide sufficient housing and water of clean quality. An important pioneer in central water supply was the English engineer William Lindley (1808-1900) who, after the great fire in Hamburg in 1843, installed the first city sewerage system based on alluvial technology; this was connected to a pressure tower and a water tower[4], with a volume of 2,000 m^3 (Moeck-Schlömer, 2008; Föhl and Hamm, 1985).

Nevertheless, this innovation was adapted hesitantly. It was Max Pettenkofer's report of 1873 What can be done against cholera that finally convinced the cities to provide for a better standard of hygiene. This meant a noticeable improvement in drinking water quality to prevent future pandemics[5] (Merkl et al., 1985; Föhl and Hamm, 1985; Werth, 1971).

Extinguishing water

It was also thanks to Lindley that hydrants were invented and installed at regular intervals in the cities in order to be able to quickly fight outbreaking fires. These were connected to the existing water supply network and towers; a certain amount

was always reserved for this purpose in the tanks or even kept in separate chambers (Moeck-Schlömer, 2008; Merkl, Baur, et al., 1985).

Recharging steam locomotives

With the advent of steam locomotives in 1835, the water tower experienced a boom, as these had to be refilled with water in regular sections after every 25-30 km [1]. Thus, recurring structures emerged along the rail network[6].

Industrial sites

Also steam engines of many production facilities required a stable water supply. On various industrial sites extinguishing water was needed both for operational safety and for cooling down any products: the gas industry to extinguish the glowing coke from the blast furnace or as service water for the paper and textile industry. The needed reservoirs were either integrated within the buildings, placed on platforms and flat roofs or erected with a separate tower.

Water pressure

Water towers were built to operate special machines and plants with pressure water, e.g. for opening and closing locks, operating lifts in harbour warehouses, but also for turbines and fountains (Föhl, 1992). To prevent the occurrence of pressure fluctuations, that were harmful to machinery, e.g. in dams, there was a special tower type, the so-called pressure equalisation tower (Föhl and Hamm, 1985; Werth, 1971).

Public baths

In the course of the improvement of hygienic standards, public baths were built at the beginning of the 20th century; they were composed with a water tower and had their own water available for the requirements of bathing – an outstanding example shows the Müller`sche Volksbad in Munich, designed by Prof. Carl Hocheder and completed in 1901 (Bayerischer Architekten- und Ingenieur-Verein, 1912).

Additional uses of the towers

The elaborate towers often served not only for a elevated water basin, but also for residential, commercial or storage purposes. In the tower of the above-mentioned Müller'schen Volksbad, were also integrated flats for employees, a viewing platform, a belfry and a clockwork.

Form – construction

The construction of the water tower resulted from the requirements:

a) A suitable water reservoir to store a sufficient amount of water, open at the top or closed, depending on the type. By dividing the tank into two or more chambers,

maintenance is possible during operation.

b) A substructure to ensure a certain height to provide the necessary pressure for the supply network or local plant connected to the tower. This substructure is possible both as a closed, solid tower shaft and as a truss structure; a third option is to erect the tank on or in an existing structure. In addition, the substructure needs a suitable upper closure – as a support for the water basin.
c) A roof to protect the water from contamination, except in case of closed tank forms.

After the predecessor of the box shape increasingly led to connection and sealing difficulties at the edges, one finally went over to the circular cylinder. This was also more in line with the prevailing hydrostatic pressure (Berger, 2019; Gross, 1960).

Due to the development, variety and applicability of the tanks, the tower shaft and its development is neglected in the following descriptions.

Construction method

The first early basins were built of wood, sometimes wooden barrels were also used. However, iron construction, whose durability was far less affected by water, quickly replaced these first attempts with wood (Werth, 1971; Gross, 1960). At the latest with the advent of the railway in 1835 and the need for a large number of tanks along the tracks, iron construction was the favoured construction method and an important step was taken towards serial production methods. In the early 20th century, ferro concrete finally allowed a wide variety of shapes for the water basin, as well as the entire tower building (Rehm, 2019).

Flat-bottomed tank

This tank features a simple and clear U-shaped structure: the bottom is designed to be completely flat over the entire cross-section of the cylinder, but also required a

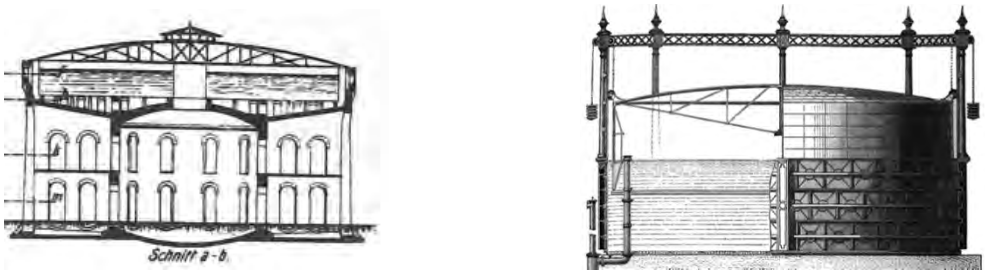


Fig. 1 – Water tower, Cologne with a flat-bottomed tank (left) (Werth, 1971)*; gasholder with cast iron plates and wrought iron ties (right)* (Berger, 2019).

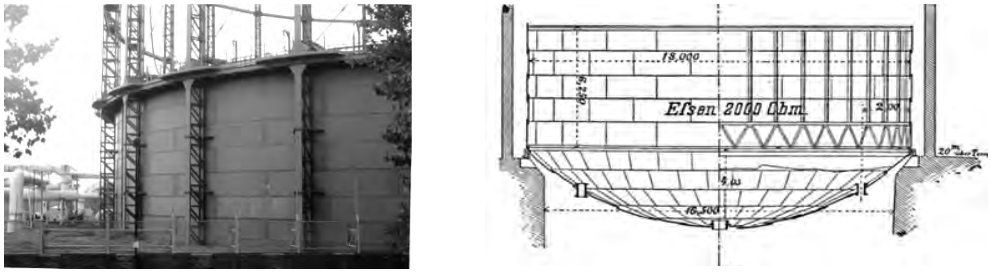


Fig. 2 – Gasholder in London-Poplar with wrought iron tank (left) (Berger, 2015)*; Essen suspended bottom tank (right)* (Anonymous, 1900).

corresponding flat of the substructure. With increasing diameter or capacity, the flat-bottomed basin proved to be very uneconomical: the edge – mantle and bottom sheet – had to be additionally stiffened and the fabrication of the substructure, which had to transfer all occurring loads, became more complex and expensive (Berger, 2019).

This form of basin reflected the iron technology of the 19th century, as it was initially constructed with cast-iron mantle and base plates and wrought-iron tie rods, as built, for example, by Lindley in Cologne in 1853-55, where the substructure for the basin with a volume of 2,350 m^3 consists of cylindrical and radially arranged inner walls (Merkl, 2011; Föhl and Hamm, 1985; Werth, 1971) as shown in Figure 1. The use of wrought iron for mantle and bottom sheets literally lightened the construction.

The development of the flat-bottomed basin corresponds clearly to its use for hydraulic gasholders in cast iron, in Figure 1, in wrought iron, in Figure 2 (Berger, 2019).

Suspended-bottom tank

The Frenchman Jules Dupuit in 1854-55 reduced the full-surface support by using a segment of a spherical bottom. This meant that only a ring-shaped support was required and led to material savings in the fabrication of the substructure (Merkl, 2011; Föhl and Hamm, 1985; Werth, 1971).

The hydraulic engineer and professor Otto Intze (1843-1904) from Aachen contributed to the planning of the reservoir with a volume of 2,000 m^3 in Essen, one of the largest wrought-iron reservoirs in Germany around 1900, in Figure 2. He reinforced the edge already mentioned by arranging an internal truss, just as he recommended rolled iron instead of cast iron for the support ring (Forchheimer, 1884).

Supporting-bottom tank – Intze type

Intze became known primarily for his invention of the pointed supporting-bottom tank: in 1883, his patent no. 23187 was published, which further developed the suspended-bottom tank by inverting the suspended bottom to the supporting bottom.

By intersecting a sphere with a cone, the typical Intze form of the pointed supporting-bottom basin “Intze Type I” is created, which is overhanging on a noticeably recessed tower shaft, as shown in Figure 3.2 and in Figure 3.4 (Intze, 1883a). Thus, the material costs for the latter could be reduced by up to 20-25% (Merkl, 2011). In addition, Intze optimised the shape that no stresses occurred in the support ring underneath (no horizontal forces).

In the same year the Intze Type I basin was patented for gasholders, in Figure 4, which for the first time led to both a possibility to revise the tank on the underside, but also to create additional space e.g. for storage purposes (Berger, 2019; Intze, 1883b).

Already in 1884 Intze optimised the supporting bottom basin for tanks with larger diameters, as their spherical bottoms also required an increasing rise. This prompted Intze to lower the apex. The “Intze Type II” was used especially for very large tanks (D> 50 m) such as gasholders (Merkl, 2011; Anonymous, 1900; Wehrmann, 1954).

In the same year the first water basin with a volume of 400 m^3, in Figure 3.1, according to Intze in Remscheid was realized by the company F.A. Neumann from Aachen, in Figure 5, but still with the predecessor shape of a cone. In 1908, this water tower was raised and newly encased for a second basin with a volume of 1,500 m^3 corresponding to the Intze Type II (Merkl, 2011; Werth, 1971; Forchheimer, 1884).

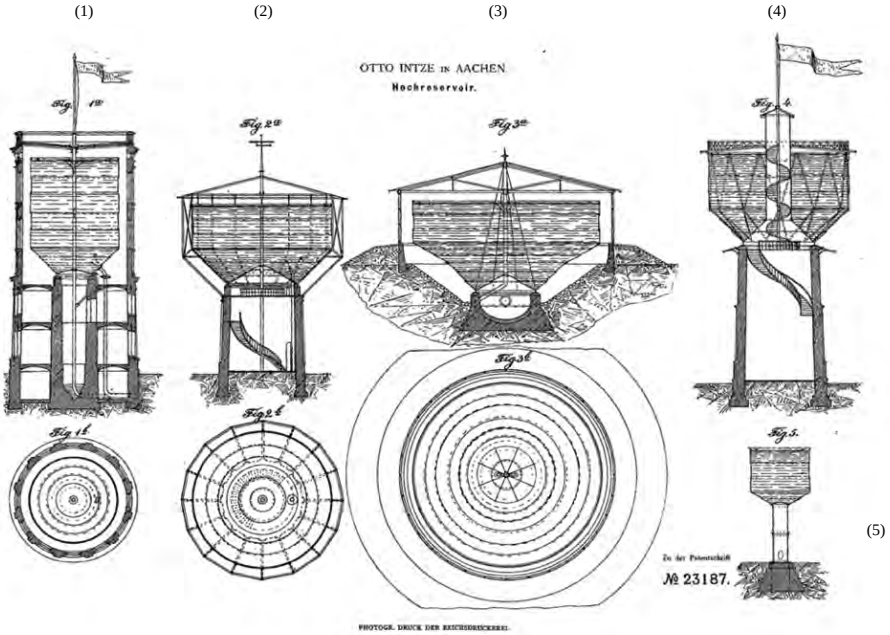


Fig. 3 – Development of the reservoir according to Intze`s patent (Intze, 1883a).

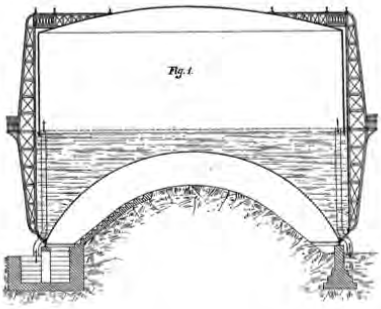


Fig. 4 – Intze tank of a gasholder (Intze, 1883b: Fig. 1).

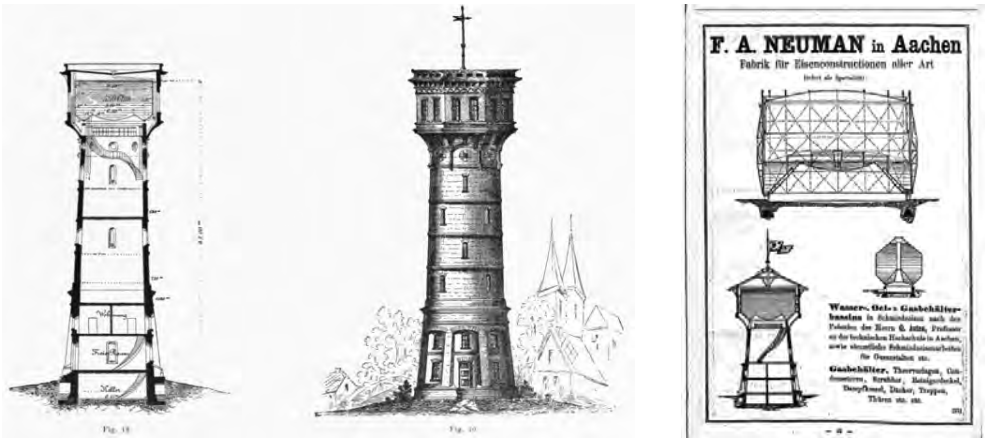


Fig. 5 – Water tower: Düren, Intze-type II, built in 1885 (left) (Anonymous, 1900)*; F.A. Neumann advertisement (right)* (Schilling, 1885).

An early yet outstanding architectural example of the Intze Type II basin with a volume of 550 m^3 and a water level at a height of 45 m, in Figure 5, was built in 1885 in Düren.

For the railway, 23 water towers with Intze tanks were already built in the period from 1886 to 1890. According to the Standard Specifications for Water Stations of Railway Lines of 1891, this led to the standardisation of tank sizes of 100, 150, 200, 300, 400 and 500 m^3. The Intze basin was now mass-produced and distributed. By the end of the 19th century, the number had already reached 150 realised Intze tanks (Merkl et al., 1985; Anonymous, 1900) [1].

In 1903, an Intze Type II basin with an impressive volume of 4,000 m^3, d = 22.50 m and h= 10.00 m was built for the Recklinghausen-Erkenschwick water station by the company Vereinigte Kesselwerke AG, Düsseldorf[7].

The Intze basin impressed with its versatility and was widely used in German-speaking countries, as well as in Italy, Denmark, Sweden, Belgium, Holland, France, Spain and South America (Klönne, 1929; Kottenmeier, 1930).

Hemispherical suspended-bottom tank – Barkhausen type

In 1898, the engineer Georg Barkhausen (1849-1923), professor at the TH Hannover, presented a further development of the Intze type: the hemispherical suspended-bottom tank. The continuous transition of the cylinder into the hemisphere made complex ring beams and supports superfluous. The tank was elevated by tangentially connected supports, which made a very reduced and favourable substructure possible. Due to the open shape of the reservoir, a roof was necessary. Consequently, a functional building was created that was often used as an entire iron construction on industrial sites or for railways.

Spherical tank – Klönne type

In 1898 Klönne developed the spherical tank for contents up to 1,000 m^3 in order to avoid pressure fluctuations with increasing water depths in the hemisphere (patent specification no. 107890). The transition to a spherical shape crowned the development of tanks with segmental and hemispherical bottoms. This closed-designed reservoir was particularly impressive because of the uniform components or spherical sheets and the continuous double-curved spherical shape, which did not require any additional reinforcements or supporting ring beams.

In terms of construction, there were parallels to the Barkhausen tank: on the one hand, the substructure was attached tangentially, but on the lower half of the sphere, and was realized with a reduced polygonal truss or a solid shaft. On the other hand, there was no need for an enclosing structure and a roof construction, which led to considerable material and cost savings. This was also confirmed by the reduced tower shaft, which Intze also already used to advantage. (Merkl, 2011; Foerster, 1923; Klönne, 1929). A special form was the spherical tank in combination with the typical Intze shaped bottom (Merkl, 2011).

Due to its favourable design, especially with smaller contents, the Klönne tank was often used on industrial sites and for the railways, such as at the Chemnitz railway station in 1906, where a spherical tank with a volume of 400 m^3 was erected on a truss faced with brickwork (Merkl, 2011) [1].

A typical uncovered design was shown by the elevated spherical tank with a volume of 600 m^3 at the Gelsenkirchen-Bismarck railway station, in Figure 6. Around 1930, the record number of more than 500 built spherical tanks demonstrated the success of the Klönne type: 100 for industry on 73 sites, 368 for railways and 50 for waterworks [1]. In addition to the spherical tanks for water, this type was also adapted to gasholders in Figure 6 and widely spread (Gross, 1960; Klönne, 1929)[8].

Fig. 6 – Water towers in Dortmund (left) and in Gelsenkirchen (middle) (Werth, 1971)*; gasholder by Klönne (right)* (Klönne, 1929).

Special form – Chimney tank

Smaller water basins with a volume between 10 and 100 m^3 were usually sufficient for industrial sites. However, the effort of the construction of a common water tower in relation to the small amount of water was enormously high. In 1885, Intze used the existing chimneys of plants as a suitable substructure or support and created a ring-shaped tank. Between 1885 and 1900, a total of 62 Intze chimney tanks, with a capacity from 10 to 250 m^3 were built, the first one for the Übigau shipyard near Dresden. (Merkl, 2011; Werth, 1971; Anonymous, 1900).

In Zurich, a chimney tank with a volume of 40 m^3 was built in 1893 for the Escher-Wyss company's machinery and turbine manufacturing plant, in Figure 7[9].

In addition to the shape typical of Intze, hemispherical chimney reservoirs also appeared that were very much in Klönne's handwriting, such as at the Phönix mine in Mumsdorf, in Figure 7, where two such reservoirs with a volume of 100 m^3 were set up.

New possibilities and forms through the introduction of ferro concrete

After the First World War, hardly any water tanks, were made of iron in Germany, whereas in other countries, such as the USA, this construction method reached its peak and led to remarkable designs (Merkl, 2011; Gross, 1960). They are the so-called "universal types of American steel water towers": spherical, spheroidal and elliptical tanks, obloidal tanks, Horton tanks or the torispherical tanks (Merkl, 2011).

With the introduction of *ferro* concrete, a new era dawned for the water tower; the transition was smooth, as it was possible to adopt the existing forms made of iron. In 1897 the German engineer Eduard Züblin (1815-1960) created an outstanding early water tower with a volume of 3,500 m^3 in Scafati/Italy, in Figure 7, for a weaving

Fig. 7 – Chimney tank with Intze type in Zurich (Berger B., 2020) (left), hemispherical chimney tank in Mumsdorf (Merkl et al., 1985) (middle), Züblin's ferro concrete water tower in Scafati (Klönne, 1929) (right).

mill, based on the slab-and-beam system of François Hennebique: a very elegant functional building consisting of a cylindrical flat-bottomed basin, on a framework of four supports and a striking spiral staircase in the centre.

In Bavaria, the company Gebrüder Rank from Munich was particularly early to adopt this new construction method and erected in 1905 a water tower in Kirchseeon, in Figure 8. The flat-bottomed basin and the surrounding walkway were made of ferro concrete. The recessed, octagonal tower shaft was an innovative ferro concrete skeleton construction, lined with exposed brickwork (Lehmann, 2021; Rehm, 2019; Merkl, 2011). In fact, this construction method with the slab-and-beam system or girder grillage enabled a comeback of the flat-bottomed tank – both in rectangular and round shapes.

After Intze's supporting bottom tank was first adapted in ferro concrete abroad, such as for the Italian state railways, the supporting bottom basin with a volume of 450 m^3, in Figure 8, was first used in 1905 in Edingen, erected by the company Dyckerhoff und Widmann AG (DYWIDAG), Karlsruhe (Merkl et al., 1984).

In addition to the typical Intze design, there were also variations, such as the composite tank bottom, e.g. with an inner domed bottom with an outer flat-bottomed ring (Merkl, 2011).

The "sliding formwork" emerged around 1930 and allowed structures completely in reinforced concrete and replaced the previously skeleton constructions. With this new technique, the cylindrical shaft was raised continuously as one element and any intermediate ceilings were built in later.

After World War II, reinforced and prestressed concrete construction, as well as other innovative construction technologies, opened up a greater variety of shapes for the water tower: a slender column as the supporting shaft and different, rotationally symmetrical shapes for the tank, e.g. as a cylinder, cone or goblet.

Together with the sliding formwork and the additional use of prefabricated components, cylindrical reinforced concrete tanks with volumes of 500 to 1,000 m^3 were built around 1970, especially in southern Germany, consisting of a flat-bottomed tank on a recessed shaft with a supports along the outer edge of the tank, in Figure 9.

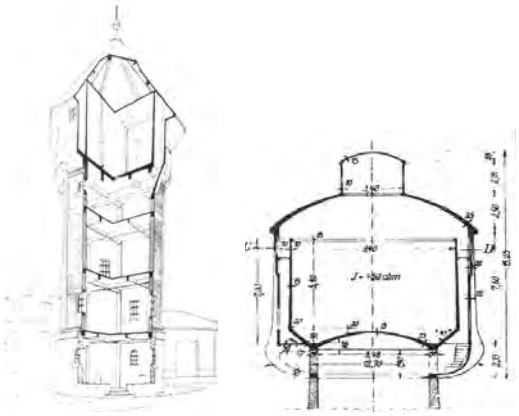


Fig. 8 – Water tower with flat-bottomed tank in Kirchseeon (left) (Rehm, 2019)*; ferro concrete Intze type tank in Edingen (right)* (Merkl, 2011).

This basically allowed three different fabrication or construction processes:

a) *Conventional process*. Continuous production of tower shaft, followed by the tank with sliding formwork e.g. as a straight cylinder, although later conical or hyperbolic shapes were also possible. *Example*: near Furth a water tower (2 chambers of 500 m^3 each), in Figure 10, was constructed in 1969. A series of this type was built in Hallertau region, Bavaria[10].
b) *Pulling process*, in Figure 9. Production of the tower shaft with sliding formwork and subsequent lifting (hydraulic) of the tank produced on the ground. *Example*: in 1973, the water tower in Buchloe, in Figure 10, was designed and built by DYWIDAG: the conical tank contains two chambers, which have a triangular section and a volume of (500+250) m^3. Thus the composition of the chambers represented an internal support system.
c) *Lifting process*, in Figure 9. Production of the lower tower shaft section and the tank on the ground. This is followed by alternate lifting of the container followed

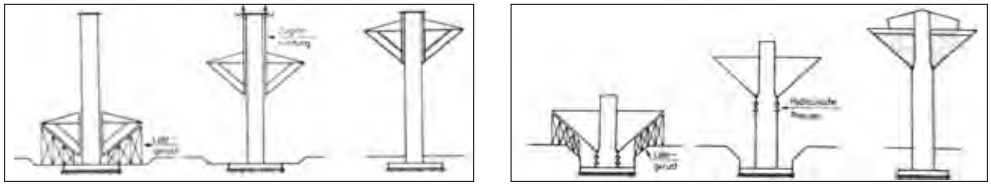


Fig. 9 – Pulling (left) and lifting (right) process (Merkl, 2011).

Fig. 10 – Water towers near Furth (left) (Oppolzer, 2022)*; Buchloe (middle)* (Berger, 2019)*; Rottweil (right)* (Stadtarchiv Rottweil).

by extending the tower shaft to the planned tower height. *Example*: in Rottweil a water tower, in Figure 10, was built in 1974 with a goblet shaped tank: 2 chambers with a total of 750 m^3.

Extraordinary special-looking and very aesthetic water towers made of reinforced and prestressed concrete were built from 1950 onwards in France, Finland and Sweden among others also as multi-part ensembles (Merkl, 2011; Hampe 1980; Werth, 1971).

Conclusions

With the advent of new technologies and the empiricism of engineers, the elevated tank underwent a significant development with its shape and construction and thus evolved its tower architecture. The tank designs ranged from cylindrical flat-bottomed basins to suspended-bottom basins, spherical-bottom support basins to entirely spherical tanks and finally to various monolithic forms made of the early ferro concrete. Thus the water tower is a testimonial of the iron technology and the upcoming ferro concrete with its innovative building processes, that proves the possibilities of high rising extraordinary structures.

Acknowledgements

I would especially like to thank the architecture students at the University of Applied Sciences Munich (2019/2020) joining my seminar Water towers in upper Bavaria, as well as Pierluigi D'Acunto, Rainer Schützeichel, Joram Tutsch, Christian Toson, Jens U. Schmidt, Patricia Dallinger and Eva Lucia Hautmann for their support in my research.

Bibliography

Anonymous. 1900. *Nachweis über die Konstruktion und verbreitung von 541 Wasserthürmen und Gasbehältern nach dem System und den Berechnungen vom Geheimen Regierungsrath Professor O. Intze in Aachen, ausgeführt in den Jahren 1883–1900.* Aachen: La Ruell'sche Accidenzdruckerei und Lithographische Anstalt.

Bayerischer Architekten- und Ingenieur-Verein (ed.) 1912. *München und seine Bauten*. München: F. Bruckmann.

Berger B. 2019. Der Gasbehälter als Bautypus. Konstruktionsgeschichte des 19. und frühen 20. Jahrhunderts. *In England entwickelt, in Deutschland optimiert und weltweit verbreitet – gezeigt am Beispiel Italiens*. München: TUM. University Press.

Eckert M. 2020. *Physik im Schlossgarten. Der Lustgarten als Schaugarten neuer Technik*. München: Buch&Media Verlag.

Foerster M. 1924. *Die Eisenkonstruktionen der Ingenieur-Hochbauten.* Leipzig: Engelmann.

Föhl A. 1992. Bauten der Industrie und Technik. In: *Schriftenreihe des Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz*. Bonn: SLUB.

Föhl A., Hamm M. 1985. *Die Industriegeschichte des Wassers. Transport. Energie. Versorgung*. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Forchheimer 1884. Ueber eiserne Wasser- und Oelbehälter. In: *Nachweis über die Konstruktion und verbreitung von 541 Wasserthürmen und Gasbehältern (…)* (eds. unknown) 1900. Aachen.

Gross F. 1960. *Stahlbehälter für flüssige und gasförmige Stoffe.* Düsseldorf: Werner Verlag

Hampe E. 1980. *Flüssigkeitsbehälter. Band 1 Grundlagen*. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen.

Hampe E. 1982. *Flüssigkeitsbehälter. Band 2 Bauwerke*. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen.

Intze O. 1883a. DE 23187 *A: Hochreservoir.* Kaiserliches Patentamt.

Intze O. 1883b. DE 24951 *A: Gasometer-Bassin aus Mantelblech.* Kaiserliches Patentamt.

Klönne. A. 1929. *Aug. Klönne Dortmund, 1879–1929 – Denkschrift zum goldenen Jubiläum am 1. Juli 1929*. Dortmund: Graphische Kunstanstalt C. L. Krüger GmbH.

Kottenmeier E. 1930. Der Stahlbehälterbau. In: *Die Bautechnik – Fachzeitschrift für das gesamte Bauwesen. Beilage zur Zeitschrift, er Stahlbau* (A. Hertwig Ed.), 3. Jahrgang, Heft 5, 7. März 1930. Berlin.

Lehmann M. 2021. Die Zeitblase retten. Unser Bayern. Bayerische Staatszeitung und Bayerischer Staatsanzeiger. 70(3-4) 30-39.

Merkl G. 2011. *Trinkwasserbehälter. Planung, Bau, Betrieb, Schutz und Instandsetzung. 2. Vollst. überarbeitete und aktualisierte Auflage*. München: Grafik + Druck GmbH.

Merkl G., Baur A., et al. 1985. *Historische Wassertürme. Beiträge zur Technikgeschichte von Wasserspeicherung und Wasserversorgung*. München/ Wien: R. Oldenburg Verlag.

Moeck-Schlömer C. 2008. Hamburgs Wasserversorgung im 19. Jahrhundert. In: *Konstrukteur der modernen Stadt. William Lindley in Hamburg und Europa* (O. Pelc and S. Grötz Eds.). München- Hamburg: Dölling und Gallitz Verlag GmbH.

Rehm J. 2019. *Eisenbeton im Hochbau bis 1918. Dokumentation und Analyse realisierter Bauwerke im Raum München.* München: TUM. University Press.

Schilling N. H. 1885. *Statistische Mittheilungen über die Gasanstalten Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz sowie einige Gasanstalten anderer Länder*. München: R. Oldenburg.

Schmidt U. 2019. Personal conversation.

Werth J. 1971. Ursachen und technische Voraussetzungen für die Entwicklung der Wasserhochbehälter. In: *Die Architektur der Förder- und Wassertürme* (edited by B. Becher, H. Becher, H. Schönberg, H. Werth, J. Werth and J. Schönberg). München: Prestel-Verlag.

Webgraphy

[1] https://industrie-kultur.de/2007/05/16/der-wasserhochbehaelter-bauart-kloenne

Notes

1. In addition to water towers, there are other types of reservoirs for water supply, such as underground reservoirs (in mountains or hills), or drinking water dams. The latter are also used for longer-term storage and have large capacities of several thousand cubic metres.
2. A significant historical function of the water arts was the operation of water installations and fountains in castle parks, where elevated water reservoirs were also used (Eckert, 2020; Merkl et al., 1985).
3. In antiquity as well as in the late Middle Ages, the early water arts served to supply and dispose of water and were also used in mining, as Agricola treats in his 1556 opus De re metallica XII. Central elements of these arts were, for example, the water wheel or Archimedean screws. (Föhl and Hamm, 1985)
4. The penstock tower was connected to Cornwall steam pumps; as water consumption increased, the water column in the penstock tower dropped and the machines automatically provided increased power (Föhl and Hamm, 1985).
5. Nevertheless, in 1907, despite rising population figures and the threat of epidemics (cholera, typhoid), half of all cities over 2,000 inhabitants still had no central water supply (Föhl and Hamm, 1985).
6. In addition service water was kept at the stations for various purposes and partially created a complex supply system. Often, these towers also housed overnight accommodation, sanitary and social rooms for the locomotive personnel (Tempel, 2007).
7. The base storey housed residential and site areas (Kottenmeier, 1930: 51).
8. The gas was stored in compressed form, i.e. in liquid form, which is why the spherical construction had to be made stronger (high-pressure-holder). Besides gasholders the company Klönne built also other silos or tanks for the storage of grain, soda, cement, petroleum, tar, etc. (Klönne, 1929).
9. The chimney reservoir on the Escher-Wyss site in Zurich is a listed building since 1995.
10. Water tower, Furth: The shaft (d = 4.20 m) is surrounded by ten supports (Merkl, 2011).

Alessandra Tosone, Renato Morganti,
Danilo Di Donato, Matteo Abita

Le fondazioni pneumatiche per lo sviluppo delle prime reti ferroviarie in Italia

Pneumatic foundations for the development of the first railways networks in Italy

Sommario
Il procedimento messo a punto dall'ingegnere e geologo francese Jacques Triger per scavi in alveo mediante immissione d'aria compressa in una camera di lavoro, trova un'ampia applicazione non solo nell'ambito minerario ma anche in quello dell'ingegneria civile, rivelandosi particolarmente adatto per fondazioni di pile da ponte. Nella seconda metà dell'Ottocento questo procedimento arriva anche in Italia, importato da imprese francesi e inglesi. La prima tipologia di fondazioni pneumatiche prevede il ricorso a pile costituite da cilindri di ghisa affondati nel terreno come quelli impiegati per la costruzione di alcuni ponti lungo la linea ferroviaria Torino-Novara. Negli anni Sessanta dell'800 viene introdotto un altro sistema, con grandi cassoni in ferro, adottato per la prima volta per alcuni ponti ferroviari sul Po. Allo stesso decennio risalgono le sperimentazioni che vedono coinvolte le sole imprese italiane. Il contributo ripercorre le esperienze italiane più significative e le fasi evolutive di questo procedimento costruttivo.

Abstract
The French engineer and geologist Jacques Triger invented a construction system for underwater excavations by introducing compressed air into the workspace. This building process spread not only in the mining sector but also in the field of civil engineering. In fact, it was particularly suitable for the construction of foundations of bridge piers. In the second half of 1800's the Triger's system was also used in Italy, thanks to French and English companies. In the first type of pneumatic foundations, piles consisted of cast iron cylinders to be sunk underground, such as those used in the construction of four bridges along the Turin-Novara railway line. In the 1860s the system was innovated with the introduction of large iron caissons, firstly used in Italy for the construction of some railway bridges over the Po. In the same decade Italian companies autonomously experimented for the first time with the Triger's process. The paper shows the most significant Italian experiences and the evolution of this construction system.

Le fondazioni pneumatiche per lo sviluppo delle Ferrovie in Italia

Il tratto ferroviario Napoli-Portici, completato nel 1839 nel Regno delle Due Sicilie, apre le vicende costruttive che portano alla realizzazione del primo sistema di strade ferrate negli Stati preunitari della penisola. Lo sviluppo dei primi tronchi della nuova mobilità assume nel quarto decennio del XIX secolo un carattere discontinuo e complesso che si deve non solo alla frammentazione politica del territorio italiano, ma anche ai diversi mezzi tecnici ed economici messi in campo dagli Stati nonché all'assenza di un piano di coordinamento in grado di assicurare un efficiente collegamento tra i centri di maggiore interesse (Briano, 1977).

Alla situazione di difficoltà nel reperimento delle risorse e nel dialogo tra i governi, si aggiungono anche gli ostacoli definiti dalle condizioni orografiche, che implicano talvolta la scelta di percorsi irregolari per evitare la costruzione di ponti e viadotti, di inevitabile impegno tecnico e finanziario.

Una delle maggiori difficoltà legate alla realizzazione di tali infrastrutture è rappresentata dai limiti tecnici che risiedono nei sistemi costruttivi tradizionali cui si ricorre per la posa in opera delle fondazioni in falda. Nell'alveo di questa tradizione si collocano, per esempio, le vicende costruttive del ponte ferroviario sulla laguna di Venezia, inaugurato nel 1846 sotto il dominio austriaco; in tal caso le fondazioni sono costituite da pali di larice e rovere infissi nel suolo, collegati in sommità da tavole in legno che sostengono la muratura di oltre duecento arcate. Con metodi utilizzati fin dall'antichità si interviene anche per attraversamenti di luce ridotta su fiumi di modesta profondità, attraverso la deviazione dei corsi d'acqua o l'inserimento di paratie per praticare scavi a cielo aperto. L'impiego di queste tecniche permette la realizzazione di fondazioni non più profonde di 6÷7 metri dal livello del suolo (Predari, 1867).

A rivoluzionare il modo di costruire sott'acqua è, negli anni Quaranta dell'Ottocento, l'introduzione delle fondazioni realizzate con aria compressa, sperimentate per la prima volta in Francia e in Inghilterra: il nuovo procedimento consente non solo di evitare l'inserimento di paratie di sbarramento, ma anche di scavare a grande profondità con lavorazioni in continuo e un numero di operai ridotto. I dispositivi tecnici che accompagnano l'impiego di aria compressa vedono protagonisti indiscussi il ferro e la ghisa.

In Italia le fondazioni pneumatiche vengono dapprima impiegate nella realizzazione dei ponti utili all'allacciamento di diversi tracciati ferroviari, ma l'arretratezza delle imprese e degli apparati industriali locali comporta l'iniziale affidamento dei lavori a società straniere che possono già vantare una competenza in questa specifica tecnologia. In particolare tra gli anni Cinquanta e Settanta dell'Ottocento, nel Regno di Sardegna prima e nel Regno d'Italia poi, imprese inglesi e francesi collaborano con tecnici italiani e impiegano per la prima volta tipi diversi di fondazioni pneumatiche, trovando nella penisola un ideale contesto di applicazione e ricerca.

Origini e sviluppo delle fondazioni pneumatiche

Il settore dell'industria mineraria è stato uno dei principali promotori degli studi sull'utilizzo dell'aria compressa: già nel XVII secolo la necessità di ventilare spazi ipogei collocati a profondità elevate aveva condotto alla messa a punto dei primi compressori, dispositivi in grado di portare l'aria a una pressione superiore rispetto a quella atmosferica e di diffonderla negli ambienti di lavoro mediante una rete di tubazioni (Drinker, 1883).

L'aria compressa ha un ruolo determinante nell'estrazione del carbone da giacimenti non affioranti e localizzati al di sotto di un battente d'acqua. Nel 1841 Jacques Triger la impiega per estrarre carbone da un giacimento sottostante la Loira, presso Chalonnes, per far sì che i lavori di scavo possano essere eseguiti all'asciutto. A tal fine ricorre a un tubo di lamiera di ferro, aperto alla base e chiuso in sommità, per mezzo del quale espellere l'acqua immettendo al suo interno aria in pressione. Il tubo, costituito da anelli del diametro di un metro collegati tra loro con chiavarde e impermeabilizzati con strisce di cuoio, presenta nella parte superiore la camera di equilibrio, anche detta di compensazione, che consente la regolazione della pressione dell'aria e l'ingresso e l'uscita controllata degli operai.

La camera di equilibrio è un'evoluzione delle campane pneumatiche, note anche come *cloche de plongée*, dispositivi sviluppati nel XVIII secolo con cui i palombari erano riusciti a compiere le prime esplorazioni subacquee profonde, inizialmente dirette al recupero delle merci delle navi affondate in mare. I fisici Smeaton e Coulomb avevano già intuito e previsto un possibile impiego di tali campane anche nel settore delle costruzioni (Curioni, 1868).

L'affondamento del tubo avviene gradualmente con l'ausilio di carichi posizionati in sommità e l'illuminazione all'interno può essere gestita con candele steariche o, con minore efficacia, per mezzo di lampade a gas. La pressione dell'aria non deve superare il livello di 4 atmosfere per non compromettere la salute degli operai.

Il procedimento di Triger trova larga eco sulla pubblicistica del tempo, mostrandosi più vantaggioso rispetto al sistema brevettato negli stessi anni dal britannico Potts che, diversamente dal primo, si basa sulla riduzione della densità dell'aria all'interno del tubo, in modo tale da aspirare acqua e sedimenti e facilitarne l'approfondimento nel suolo, ma che comporta il significativo svantaggio di dover procedere allo svuotamento del tubo colmo di depositi con conseguenti lunghe sospensioni delle attività di scavo a intervalli più o meno regolari (Dempsey, 1855).

Il procedimento sviluppato da Triger si diffonde anche al di fuori dell'ambito minerario e in pochi anni trova spazio nel settore dell'ingegneria delle infrastrutture, in particolare nella realizzazione di fondazioni sott'acqua che necessitano di pali molto lunghi. Il trasferimento tecnologico introdotto nella costruzione delle pile da ponte è attuato dapprima in Francia, in Inghilterra e negli Stati Uniti, a partire dagli anni Quaranta dell'Ottocento.

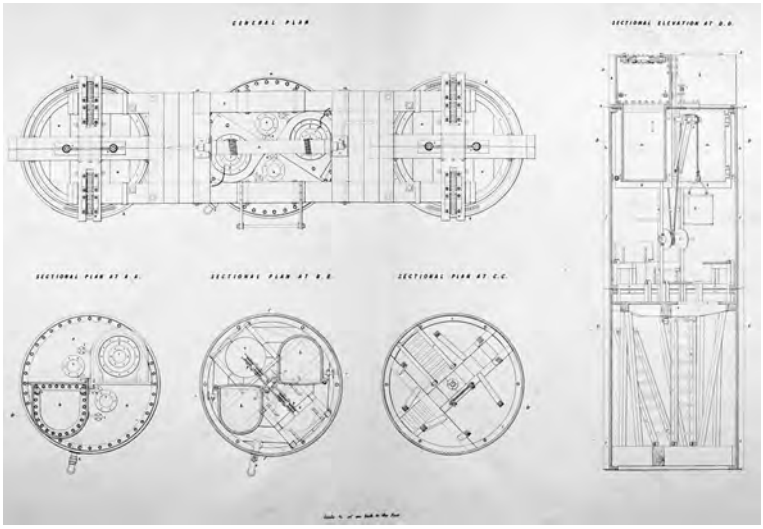


Fig. 1 – Fondazioni tubolari progettate da John Hughes per il ponte sul fiume Medway a Rochester (Hughes, 1859).

Nel 1851 è l'ingegnere inglese John Hughes a introdurre importanti innovazioni alla camera di compensazione e al procedimento costruttivo delle fondazioni. La camera viene ampliata e dotata di un doppio scompartimento così da migliorare la regolazione della pressione dell'aria graduandone la variazione; il procedimento costruttivo viene migliorato alternando il sistema Triger con il sistema Potts (Hughes, 1859). Questa e altre innovazioni vengono introdotte nella costruzione delle fondazioni del ponte sul fiume Medway a Rochester, in Figura 1, realizzato da un'impresa che, a distanza di pochi anni, verrà chiamata a lavorare in Italia a seguito del riordino della rete ferroviaria.

I ponti sabaudi e le prime sperimentazioni di fondazioni pneumatiche

Il governo di Camillo Benso Conte di Cavour imprime una spinta decisiva al progresso industriale e infrastrutturale del Regno di Sardegna. Lo statista piemontese, convinto sostenitore della mobilità su ferro quale efficace strumento di sviluppo economico e culturale, avvia una serie di progetti per la realizzazione di nuovi tracciati ferroviari che giocheranno un ruolo importante anche dopo l'Unità d'Italia. Tra il 1852 e il 1853 Cavour lavora al completamento della linea Torino-Genova e provvede, soprattutto, alla costruzione di quelle dedicate alla comunicazione internazionale, in particolare verso est con la Lombardia, allora in territorio austriaco, e verso nord con la Svizzera e la Francia (Cavicchioli, 2009).

Per la linea Torino-Novara, destinata al collegamento con Milano, viene stipulato un accordo con un gruppo di imprenditori inglesi, guidati dal noto costruttore Thomas Brassey (Stefani, 1853), autore di numerose linee ferroviarie in Gran Bretagna

e in Europa; l'iniziativa si rivela particolarmente felice poiché i 100 km di strada ferrata vengono realizzati in soli tre anni.

Per la linea Torino-Culoz, nota anche come ferrovia del Frejus, viene fondata nel 1853 la Società Vittorio Emanuele, cui partecipano diversi finanziatori francesi; dopo pochi anni la stessa Società acquisirà anche il controllo della linea di collegamento tra Torino e Milano.

In un territorio in prevalenza montuoso come quello sabaudo, caratterizzato dalla presenza di numerosi corsi d'acqua e dislivelli, appare sin da subito necessaria la realizzazione di ponti e viadotti ferroviari, che costituiscono la premessa per sperimentare le fondazioni pneumatiche.

I ponti della linea ferroviaria Torino-Novara

Thomas Brassey affida il progetto della linea ferroviaria Torino-Novara all'ingegnere inglese Thomas Jackson Woodhouse, professionista esperto con il quale ha già lavorato in Italia nella costruzione della linea Prato-Pistoia. Nel progetto è coinvolto anche l'ingegnere Edward Francis Murray, giovane collaboratore impegnato nel completamento del tratto Torino-Genova e responsabile insieme a Woodhouse e agli ingegneri italiani C. Bermani e V. Ferrari del progetto di quattro ponti che vengono realizzati sui fiumi Stura, Orco, Mallone e Agogna (Murray, 1883).

I progettisti prevedono lo stesso schema per i quattro attraversamenti: un ponte a travata continua su quattro appoggi, due dei quali in alveo. Collaborano al sostegno dell'impalcato per un solo binario due travate in ferro, irrigidite da fitte maglie reticolari di barre chiodate tra i montanti e i correnti.

Per le pile è previsto l'impiego di fondazioni tubolari da inserire nel suolo secondo il procedimento pneumatico di Triger la cui realizzazione è affidata all'impresa Fox & Henderson, nota per aver partecipato alla costruzione del Crystal Palace a Londra e incaricata delle fondazioni per il ponte sul fiume Medway a Rochester (Casalis, 1855).

L'impresa utilizza per ogni pila due tubi di ghisa del diametro di 1,5 metri e lunghi tra 7 e 10 metri, composti dal collegamento di anelli alti quanto il diametro. L'affondamento è eseguito applicando una camera di equilibrio in sommità che permette l'immissione e la regolazione dell'aria compressa grazie a una pompa a vapore. Una volta espulsa l'acqua presente nel tubo due operai, assistiti all'esterno da un'altra coppia di manovali, entrano al suo interno e avviano le operazioni di scavo. Grazie al procedimento di Triger la posa in opera delle pile è rapida: per il ponte sul fiume Agogna ogni tubo è portato alla profondità di 7 metri in un tempo stimabile tra due e tre giorni di lavoro. Completato l'affondamento, i due tubi di ogni pila sono riempiti con calcestruzzo e vengono collegati in sommità da travi in ferro che costituiscono il supporto per le sovrapposte opere in muratura, il cui peso è funzionale alla stabilizzazione del sistema di fondazione (Pozzi, 1892).

La tecnologia applicata alle pile dei quattro ponti della linea Torino-Novara viene impiegata anche in Savoia, dove vengono introdotte alcune innovazioni provenienti dal contesto francese.

Fondazioni pneumatiche nei ponti della linea Torino-Culoz

Il collegamento tra Torino e la Savoia, parte del Regno di Sardegna fino al 1861, si presenta come una sfida complessa: l'articolata morfologia delle Alpi impedisce infatti la definizione di un tracciato regolare e comporta inoltre la realizzazione del traforo del Frejus, completato solo nel 1871. Per il progetto della linea al di là del valico, tra Modane e Chambéry, la Società Vittorio Emanuele si rivolge ancora una volta a Thomas Brassey, il quale affida il progetto a George Neumann, ingegnere inglese cresciuto professionalmente tra la Svizzera e la Francia (Neumann, 1867). Neumann è incaricato anche della realizzazione di due importanti infrastrutture: il ponte sul fiume Isère nei pressi di Cruet, in Figura 2, e quello al confine con la Francia sul fiume Rodano a Culoz, in Figura 3. La necessità di coprire ampie luci, anche superiori a 150 metri, trova una traduzione tecnico-costruttiva in uno schema statico a travata continua su più appoggi, analogo a quello proposto nei ponti precedenti. Le travate sono composte da profili in ferro collegati tra loro con unioni chiodate e sono caratterizzate da croci di Sant'Andrea nei campi definiti da correnti e montanti. Singolare è il collegamento tra le travate, affidato a un elemento ad arco ottenuto dal collegamento di due profili (Messiez, 1992). Le pile dei due ponti sono realizzate con l'applicazione delle fondazioni pneumatiche, per le quali vengono adottate soluzioni tecniche diverse, funzionali all'organizzazione tecnica delle imprese coinvolte.

Alle pile del ponte di Cruet, noto anche come *Pont des Anglais*, partecipa la stessa impresa coinvolta da Brassey negli attraversamenti della linea Torino-Novara, che

Fig. 2 – Ponte ferroviario sul fiume Isère a Cruet: la travata continua su più appoggi (Cartolina Goutagny, 1889).

Fig. 3 – Ponte ferroviario sul fiume Rodano a Culoz, al confine tra Francia e Regno di Sardegna (Ministère des travaux publics, 1873).

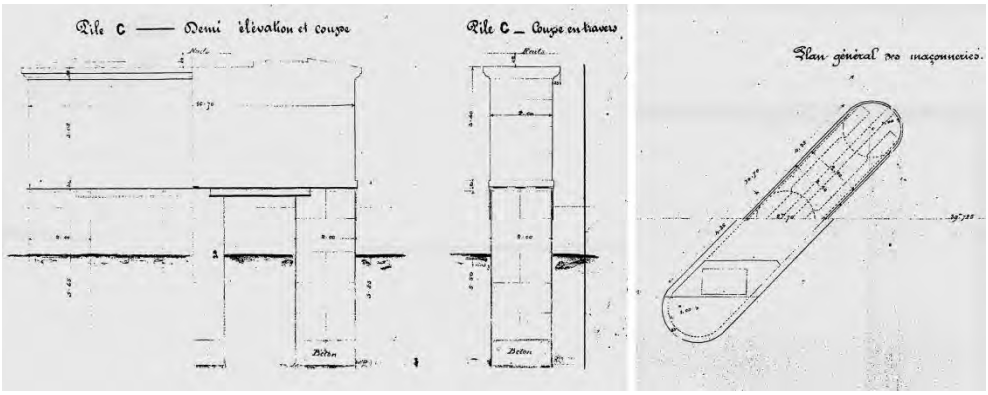


Fig. 4 – Ponte a Cruet: tubi in ghisa impiegati nelle fondazioni pneumatiche progettate da George Neumann (Association Cruet Nature & Patrimoines).

mette in campo le stesse modalità operative precedentemente sperimentate pur adattandole alle maggiori dimensioni del ponte. Per ogni pila, sono infatti impiegati tre tubi di ghisa, ciascuno di 2 metri di diametro, affondati al suolo per una profondità superiore ai 4 metri, come mostrato in Figura 4.

Oltre alle travi di raccordo, il collegamento tra le teste dei tubi è ottenuto anche con una lamiera in ferro dell'altezza di un metro che circoscrive il margine delle opere in muratura. La parte superiore delle pile è infatti realizzata con una muratura a sacco delimitata da paramenti in pietra e dal riempimento di calcestruzzo, a definire un elemento massivo e compatto (Decker, 2020).

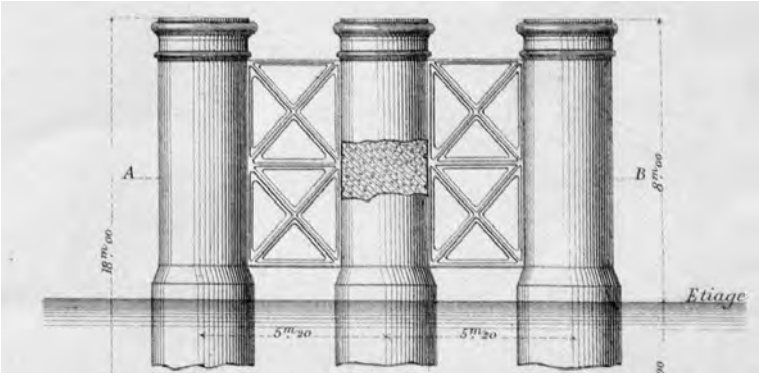


Fig. 5 – Ponte a Culoz: dettaglio costruttivo della pila costituita da tre tubi collegati mediante traversi e diagonali in ferro (Goüin 1878).

Per il ponte di Culoz, che segna il confine tra il Regno di Sardegna e la Francia, la costruzione prevede un accordo di collaborazione tra le società coinvolte dai rispettivi Paesi. L'impalcato in ferro, in tutto e per tutto identico a quello del ponte di Cruet e sul quale sono fissati stemmi francesi e sabaudi, è affidato alla Società Vittorio Emanuele, mentre le fondazioni e alcuni lavori di sistemazione dell'alveo sono assegnati alla Società della Ferrovia Lione-Ginevra.

Quest'ultima incarica della costruzione delle pile l'impresa Ernest Goüin et Cie, che tra il 1856 e il 1857 interviene nell'inserimento al suolo di dodici tubi in ghisa, affondati fino a 10 metri di profondità applicando il procedimento Triger e successivamente riempiti con calcestruzzo (Park-Barjot, 2005). A differenza degli altri ponti qui presentati, l'impresa parigina non realizza lavori di muratura, ma estende l'altezza dei tubi, che vengono collegati a gruppi di tre da profili in ferro a croce di Sant'Andrea, come mostrato in Figura 5, e provvedono direttamente all'appoggio dell'impalcato, soluzione che rende le pile meno massicce e garantisce che il ponte abbia una maggiore permeabilità visiva (Goüin, 1878).

Altri ponti ferroviari verranno realizzati dopo l'Unità d'Italia. Tutti si gioveranno degli sviluppi tecnici che di lì a poco investiranno le fondazioni pneumatiche tubolari.

L'Unità nazionale e i ponti sul Po: le fondazioni pneumatiche a cassone

Lo sviluppo della rete ferroviaria nella penisola resta uno dei principali obiettivi anche dopo l'Unità d'Italia, nella prospettiva di portare a termine le linee parzialmente realizzate negli Stati preunitari completandone il tracciato.

L'attenzione del governo si concentra sul collegamento delle linee ferroviarie tra Lombardia, Emilia Romagna e Veneto, separate dal Po il cui attraversamento deve misurarsi con l'estensione dell'alveo, decisamente più impegnativo in quanto compreso tra i 300 e i 400 metri. A valle della ricognizione delle risorse disponibili

e delle soluzioni da adottare, sin dal 1861 si procede a programmare la realizzazione dei ponti destinati al collegamento delle linee ferroviarie Milano-Genova, Milano-Piacenza, Ferrara-Rovigo e Mantova-Modena (Besso, 1870).

Per gli attraversamenti da realizzare a Piacenza, a Mezzana Corti, a Pontelagoscuro e a Borgoforte è scelta la stessa tipologia strutturale: una travatura reticolare in ferro in grado di massimizzare la distanza tra gli appoggi, e pile sufficientemente alte per assicurare l'impalcato dall'onda di piena, impostate su fondazioni pneumatiche, da realizzare facendo ricorso alle innovazioni introdotte al metodo Triger in Inghilterra e in Francia alla fine degli anni Cinquanta dell'Ottocento utili a migliorare il procedimento costruttivo. All'ingegnere Brunel si deve l'idea di dividere lo spazio compreso tra le pareti del tubo con diaframmi in grado di differenziare tra i canali di immissione dell'aria compressa e quelli dedicati al passaggio sia dei materiali di scavo che degli operai, messa in atto per la realizzazione del ponte Saltash sul fiume Tamar a Plymouth; l'ingegnere Fleur St. Denis, invece, per il ponte sul fiume Reno a Kehl vicino Strasburgo, sperimenta l'uso del cassone, ossia una struttura in ferro con un tagliente alla base e ampia quanto la parte superiore della pila, utile all'affondamento con aria compressa per garantire la verticalità dei tubi al crescere della profondità di infissione.

L'innovazione introdotta da Fleur St. Denis comporta il definitivo abbandono delle strutture tubolari a favore dei cassoni, che saranno impiegati anche per i ponti sul Po (Bruno, 1892). In particolare i ponti a Piacenza e a Pontelagoscuro, rispettivamente il primo e il terzo in ordine di completamento, rappresentano i casi più significativi di applicazione di questo particolare tipo di fondazioni.

Fondazioni del ponte a Piacenza

Per il collegamento della linea ferroviaria tra Milano e Piacenza, l'ingegner Giovanni Battista Biadego progetta un ponte a travata reticolare continua in ferro sostenuta da sette pile in alveo, lunga ben 280 metri, come mostrato in Figura 6. I lavori sono affidati all'impresa Parent, Schaken, Caillet et Cie, società di costruzioni in carpenteria metallica con base a Fives-Lille e diretta dall'ingegnere Félix Moreaux, che aveva partecipato anche alla realizzazione del ponte a Culoz.

Per tutte le pile, di altezza complessiva di ben 30 metri, sono utilizzate per la prima volta in Italia fondazioni pneumatiche a cassone infisse al suolo per circa 20 metri, simili a quelle impiegate due anni prima per il ponte a Kehl.

Ogni cassone, ottenuto dal collegamento di lastre in ferro dello spessore di 1,2 cm, è aperto alla base con un tagliente e chiuso nella parte superiore, configurando una camera di lavoro alta 2,2 metri.

Alla lastra superiore sono fissati tre tubi, chiamati anche camini e composti di anelli di ferro: i due, laterali, sono provvisti in sommità di camere di equilibrio e servono per la regolazione dell'aria compressa e l'esodo degli operai; il terzo, centrale, ospita una draga, dedicata alle operazioni di scavo e di sollevamento degli sterri.

Fig. 6 – Ponte ferroviario sul fiume Po a Piacenza; i piloni costruiti da Parent, Schaken, Caillet et Cie (Cartolina Bernardi 1890).

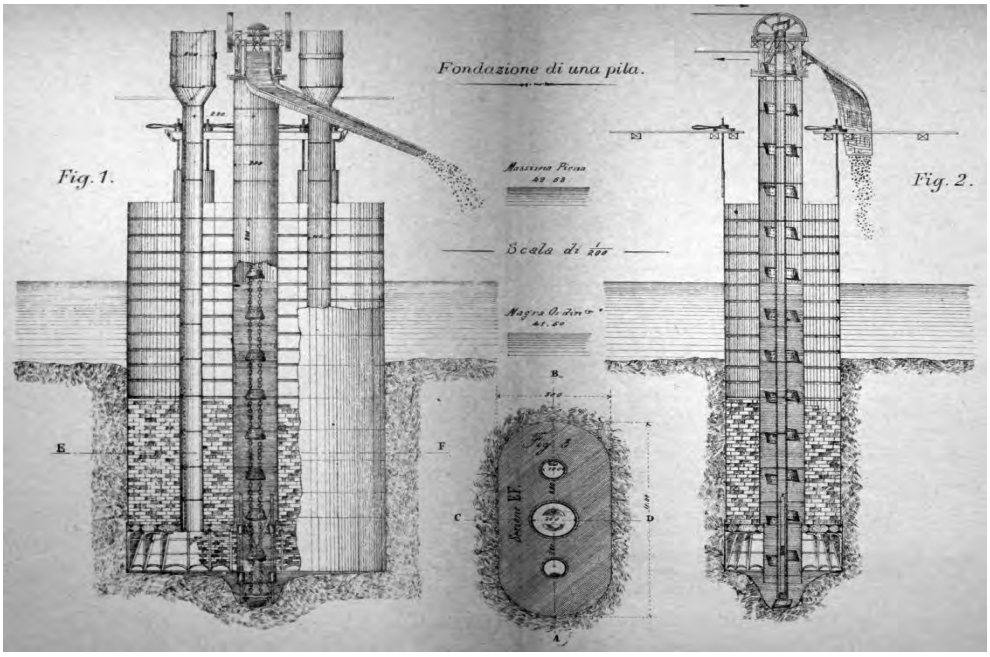


Fig. 7 – Ponte a Piacenza: tavola illustrativa dell'affondamento del cassone e della costruzione della pila (Biadego, 1886).

La parte superiore del cassone, rinforzata anche con travi in ferro a doppio T, funge anche da cassero a perdere, funzionale per la realizzazione delle parti murarie soprastanti, come documentato in Figura 7.

Il ponte a Piacenza è tra i primi in Italia ad essere dotato di cassoni con illuminazione naturale e artificiale ottenuta mediante lenti convesse inserite sulla copertura delle camere di equilibrio e lampade elettriche a incandescenza che non alterano il contenuto di ossigeno dell'aria interna come accadeva in precedenza con l'uso di candele o lampade a gas.

La costruzione di ogni pila è affidata a una squadra di dieci operai, alcuni dei quali all'esterno del cassone provvedono alla movimentazione di otto verricelli, collegati a un ponte temporaneo in legno, utili a mantenere l'orizzontalità del cassone. La camera di lavoro e i camini sono in seguito riempiti in calcestruzzo.

I lavori di realizzazione delle pile iniziano nell'agosto del 1862, ma sono sospesi l'anno successivo dal cedimento di una parte del ponte di servizio in legno che causa anche la perdita di una parte delle travate in ferro montate sulle pile già completate. Alla fine dell'anno successivo, dopo la risistemazione del cantiere e il recupero di una parte dei materiali, i lavori vengono riavviati per essere ultimati nel 1865 (Biadego, 1886).

Fondazioni del ponte a Pontelagoscuro

La linea ferroviaria tra Bologna e Pontelagoscuro, aperta nel 1862, prevede un attraversamento sul Po con una luce di oltre 350 metri utile al collegamento con il tracciato che conduce a Venezia.

Le travate continue del ponte, in Figura 8, sono suddivise in sei campate e sono sostenute da cinque pile in alveo. A differenza del ponte a Piacenza, le travate reticolari non impiegano montanti e sono ottenute con profili ad U per i correnti che accolgono il collegamento a diagonali a doppio T, orientate a 45 gradi.

Il progetto dell'ingegnere Gaetano Ratti è affidato di nuovo all'impresa Parent, Schaken, Caillet et Cie, cui partecipa l'industriale Jean-François Cail, impegnato nella costruzione di diverse ferrovie in Europa.

Fig. 8 – Ponte ferroviario sul fiume Po a Pontelagoscuro (Cartolina d'epoca - Prampolini, 1902).

Le dimensioni delle pile sono simili a quelle del ponte di Piacenza e ciò induce a reiterare il ricorso a fondazioni a cassone, che si accompagna all'innovazione nel sistema di trasporto dei materiali di scavo - sviluppata da Moreaux e sperimentata in una prima soluzione per il ponte di Mezzana Corti - per porre rimedio al blocco della draga, impiegata nel camino centrale, a seguito dello scompenso che comportava nella regolazione dell'aria compressa della camera di lavoro e la conseguente interruzione dei lavori per motivi di sicurezza. Partendo da queste constatazioni, l'ingegnere francese utilizza un cassone di dimensioni 11x5 metri con due camini, sui quali applica in sommità una camera di equilibrio che funge anche da argano per il movimento dei materiali di scavo limitando così la perdita di pressione dell'aria. La camera è dotata, infatti, di un cilindro di 25 cm di diametro e alto 3 metri, all'interno del quale si muove uno "stantuffo" messo in moto dall'aria compressa. Quest'ultimo impartisce il movimento a un sistema di funi e carrucole, azionato da un operaio che svuota i secchi di terra provenienti dalla camera di lavoro all'interno di un recipiente montato su un carrello che, spinto all'esterno, consente l'ingresso nella camera di equilibrio a quello successivo vuoto. In questo sistema l'aria compressa non è persa nella fase di espulsione dello sterro e risulta utile alla movimentazione dei materiali di scavo, come mostrato in Figura 9. Per le restanti opere murarie, come a Piacenza, si fa uso di "cemento idraulico" di Palazzolo e di un rivestimento in pietra calcarea di Domegliara.

I lavori iniziati nel 1870 sono conclusi l'anno successivo, grazie al sistema pneumatico brevettato dall'impresa (Ratti, 1876).

Le successive innovazioni introdotte non modificano in forma sostanziale il procedimento costruttivo riguardando esclusivamente l'implementazione sia di dispositivi meccanici nella camera di equilibrio che di sistemi che ottimizzano la tenuta d'aria compressa nella fase di espulsione dei materiali di scavo.

Conclusioni

Negli anni Cinquanta e Settanta dell'Ottocento l'impiego delle fondazioni pneumatiche è fondamentale per la concezione e costruzione delle cosiddette "opere d'arte" tipiche delle infrastrutture necessarie alla crescita economica e commerciale del Paese.

L'iniziale affidamento dei lavori per la realizzazione di queste opere a società inglesi e francesi mette in evidenza l'arretratezza del nostro settore delle costruzioni. Il riscatto da tale condizione di subalternità si manifesta alla fine degli anni Settanta, grazie all'affermazione in campo edilizio dell'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche, la prima a realizzare ponti con fondazioni pneumatiche. L'azienda di Cottrau ricorre dapprima alla tipologia tubolare per il ponte di Ripetta del 1878, e in seguito a quella a cassone, di grandi dimensioni, per il ponte a Sesto Calende sul fiume Ticino del 1882 (Carughi, 2003).

Per quest'ultimo, di cui è incaricato l'ingegner Biadego, Cottrau progetta una camera di equilibrio secondo il modello di Pontelagoscuro, che integra però con

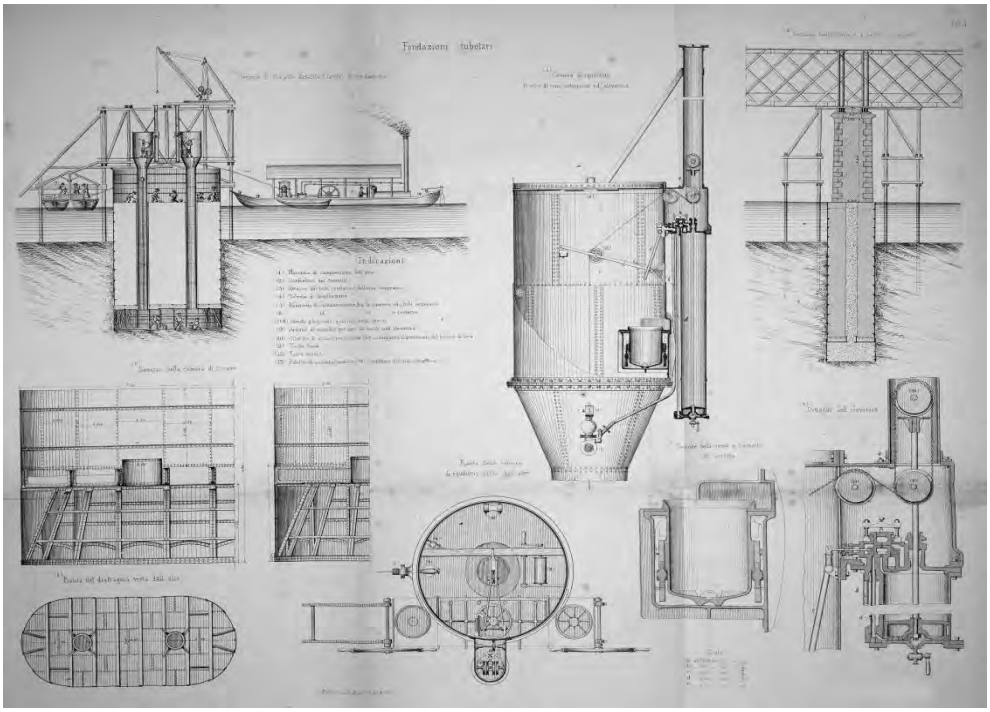


Fig. 9 – Ponte a Pontelagoscuro: tavola illustrativa dell'affondamento del cassone e della camera di equilibrio progettata dall'ingegnere Moreaux (Ratti, 1876).

un'anticamera - in grado di ottimizzare la regolazione d'aria compressa - e con canalizzazioni utili al passaggio del calcestruzzo. Accorgimenti, questi, che dimostrano le competenze acquisite nel settore delle fondazioni pneumatiche dalle imprese nazionali, ormai in grado di gestire e di innovare in piena autonomia le tecnologie d'importazione riducendo così, lo spazio d'azione della concorrenza d'oltralpe.

Ringraziamenti
Un particolare ringraziamento va al personale dell'Archivio di Stato di Torino per l'assistenza alla ricerca sulle prime ferrovie in Piemonte. La nostra riconoscenza va a Robert Porret della *Société Savoisienne d'Histoire et d'Archéologie* (SSHA), Roger Decker dell'*Association Cruet Nature & Patrimoines* (ACN&P) per la documentazione sui ponti in Savoia. Vogliamo inoltre ringraziare lo staff di cinque biblioteche per le ricerche svolte su ponti ferroviari del XIX secolo: la Biblioteca E-Rara del Politecnico ETH di Zurigo, la British Library di Londra, la Biblioteca Boaga di Roma La Sapienza, la Biblioteca Centrale di Ingegneria dell'Università degli Studi di Padova e la Biblioteca Civica Carlo Negroni di Novara.

Bibliografia

Besso B. 1870. *Le strade ferrate*. Milano: E. Treves.

Biadego G.B. 1886. *Fondazioni ad aria compressa: ponti metallici*. Torino: Tipografia e Litografia Camilla e Bertolero Editori.

Briano I. 1977. *Storia delle ferrovie in Italia*. Milano: Cavallotti.

Bruno G. 1892. *Le fondazioni pneumatiche: appendice al corso di costruzioni idrauliche*. Napoli: Reale scuola di applicazione per gli ingegneri in Napoli.

Casalis G. 1855. *Dizionario geografico-storico-statistico-commerciale degli stati di S. M. il Re di Sardegna*. Torino: G. Marzorati tipografo.

Carughi U. 2003. *Alfredo Cottrau (1839-1898): l'architettura del ferro nell'Italia delle grandi trasformazioni*. Napoli: Electa.

Cavicchioli S. 2009. Vie e mezzi di trasporto da Carlo Alberto all'Unità. In: *Torino reti e trasporti: strade, veicoli e uomini dall'Antico regime all'Età contemporanea* (a cura di Sereno P.). Torino: Archivio Storico della Città di Torino.

Curioni G. 1868. *L'arte di fabbricare ossia corso completo di istituzioni teorico-pratiche*. Torino: Augusto Federico Negro Editore.

Decker R. 2020. Le pont Victor-Emmanuel (ou pont des Anglais), architecture. Bulletin de l'Association des Amis de Montmélian et de ses Environs 104(6): 2-5.

Drinker H.S. 1883. *A treatise on explosive compounds, machine rock drills and blasting*. New York: John Wiley & Sons.

Dempsey, D.G. 1855. *The practical railway engineer: a concise description of the engineering and mechanical operations and structures which are combined in the formation of railways for public traffic, with facts, figures, and data*. London: John Weale.

Goüin, E. 1878. *Société de Construction des Batignolles, Ponts métalliques et fondations pneumatiques*. Paris: Geoffroy.

Hughes J. 1859. *On the pneumatic method adopted in constructing the foundations of the new bridge across the Medway at Rochester*. London: W. Clowes.

Messiez M. 1992. Le pont des Anglais: le plus ancient pont de chemin de fer du monde. L'Histoire en Savoie Magazine, 26(2), 34-39.

Murray E.F. 1883. Edward Francis Murray. In: *Minutes of proceedings of the institution of civil engineers*. 289-290. London: Institution of Civil Engineers.

Neumann G. 1867. Passage of the Mount Cenis. In: *Transaction of the Devonshire Association for the advancement of science, literature and art* (Devonshire Association Ed.). Plymouth: William Brendon & Son.

Park-Barjot R.R. 2005. *La Société de construction des Batignolles: des origines à la Première Guerre mondiale*. Paris: PUPS-Press de l'Université Paris-Sorbonne.

Pozzi L. 1892. *Le fondazioni pneumatiche o ad aria compressa*. Torino: Unione Tipografica Editrice.

Predari F. 1867. *Guida topografica, storica, artistica di Venezia ed isole circonvicine*. Venezia: C. Coen.

Ratti G. 1876. *Ponte sul Po a Pontelagoscuro*. Milano: Litografia e tipografia degli ingegneri.

Stefani G. 1853. Statistica delle strade ferrate dello Stato. Annuario storico-statistico, 109-110.

Alessandra Tosone, Alba Fagnani, Renato Morganti

La Fiera di Bologna. L'architettura della grande luce nei padiglioni di Benevolo, Giura Longo, Melograni

The Bologna Exhibition Center. Long-span steel structures in the Benevolo, Giura Longo, Melograni pavilions

Sommario

L'origine delle fiere ha radici nell'aspirazione dell'uomo alla socialità, all'incontro, allo scambio di merci e idee. Un impulso che, alle soglie dell'Ottocento, trova nelle Esposizioni Universali e nel fervore della Rivoluzione Industriale la maturazione dei grandi mercati europei. Parallelamente, il rapido progresso della siderurgia e l'affinamento della produzione delle leghe ferrose aprono la strada all'applicazione della grande luce libera in strutture quali ponti, stazioni ferroviarie, gallerie e mercati coperti e, in particolare, proprio nello specifico tipologico dei grandi padiglioni fieristici assurge a immagine celebrativa del progresso e della sperimentazione tecnologica a questi connessa. Storicamente in posizione baricentrica rispetto ai traffici della penisola e sede di un'esposizione nazionale ai Giardini Margherita nel 1888, la città di Bologna segue vivacemente le tappe evolutive del settore fieristico. La ricostruzione post-bellica e la mancanza di una sede consona alle esigenze e alle potenzialità della città stimolano la creazione di un Ente Autonomo per la Fiera. La storica Campionaria, tornata nel 1951 nel Parco della Montagnola, assume un rilievo commerciale in linea con la coeva ripresa economica e il P.R.G. del 1958 individua nel margine urbano nord un comparto di elezione per un nuovo quartiere fieristico. Nel 1964 inizia la costruzione dei primi dieci padiglioni espositivi, su progetto di Leonardo Benevolo, Tommaso Giura Longo e Carlo Melograni. Leggere strutture metalliche rispondono all'esigenza funzionale della luce libera, veicolando la chiarezza e la riconoscibilità figurativa dei padiglioni. Il quartiere fieristico si arricchisce negli anni di nuovi spazi espositivi, alcuni oggi in via di completamento, e costituisce un prezioso e vivo catalogo dell'applicazione delle strutture in acciaio in Italia. Questo contributo intende indagare il quadro dell'evoluzione storica e delle vicende costruttive che hanno riguardato la Fiera di Bologna negli anni Sessanta e analizzare la declinazione della costruzione metallica applicata alla grande luce, motivo dominante nell'assetto funzionale della tipologia del padiglione fieristico, nel nucleo originario progettato da Benevolo, Giura Longo e Melograni.

Abstract
The origin of fairs has its roots in the human aspiration to socialize, meet and exchange goods and ideas. On the threshold of the 19th century, this impulse meets the maturation of great European markets in Universal Expositions and fervor of the Industrial Revolution. At the same time, the steel industry advancement and the production refinement of ferrous alloys pave the way for the application of long-span structures in bridges, railway stations, tunnels, and covered markets construction, resulting in a celebratory image of progress and technological experimentation which soon characterizes the peculiar trade fair pavilions typology. A key place within the framework of Italian goods traffic and the site of a national exhibition at Giardini Margherita in 1888, the city of Bologna has consistently followed the evolutionary path of the exhibition sector. The post-war reconstruction process and the lack of a venue suited to the needs and potential of the city soon suggest the creation of an autonomous body for the Fair. The historic Campionaria, which returned to Montagnola Park in 1951, sees an increase in its commercial importance as part of the contemporary economic recovery, and the 1958 General Town Plan identifies a suitable location for a new exhibition center in the northern suburban area of the city. In 1964, the construction of the first ten pavilions began, based on a project by Leonardo Benevolo, Tommaso Giura Longo, and Carlo Melograni. Lightweight metal structures respond to the functional need of long-span architecture, conveying the clarity and figurative recognizability of exhibition buildings and facilities. Over the years, the Bologna fair district has been enriched with new functional spaces, some now nearing completion, and constitutes a precious and lively catalog of the application of steel structures in Italy. This paper intends to investigate the context of the historical evolution and construction events that involved the Bologna fair district in the 1960s and analyze the application of metal construction to long-span structures, a key aspect in the functional typology of the exhibition pavilion, in the original core designed by Benevolo, Giura Longo, and Melograni.

Introduzione
Le fiere giocano da secoli un ruolo chiave nella crescita evolutiva della società, accompagnandone la carica innovativa e supportandone l'affermazione tecnologica e culturale. La realtà fieristica, per propria connotazione naturale, è sinonimo di dinamicità ed evoluzione: occasioni di incontro e punti di riferimento per i mercati nazionali e internazionali, le fiere rappresentano il luogo del confronto, della verifica e del perfezionamento del processo di condivisione culturale e applicazione tecnica delle conoscenze, che trovano in settori via via più specializzati la propria concretizzazione.

La moderna fiera campionaria nasce dal sedime delle grandi esposizioni nazionali e internazionali, pur conservando un carattere regionale, come fisiologica con-

seguenza della maturazione dell'industria, in un virtuoso connubio tra una crescente specializzazione dei settori merceologici e l'affermazione di un pubblico sempre più esigente e informato sulle dinamiche dei mercati. Questo gioco di equilibrio caratterizza larga parte del Novecento e nei suoi ultimi decenni trova nelle fiere specializzate un'apprezzabile risposta alle sollecitazioni poste dall'incalzante aggiornamento dei processi produttivi e una soddisfacente integrazione dell'offerta delle campionarie.

La città di Bologna segue con passi misurati ma al contempo consistenti questi mutamenti, esprimendo nelle tappe evolutive del settore mercantile la forza e la franchezza dei propri caratteri territoriali, frutto di una posizione storicamente di rilievo all'interno del panorama regionale del Nord Italia e del più ampio assetto viario della penisola (AA.VV., 1965).

Una nuova fiera per Bologna: il contesto amministrativo ed economico

La storia di Bologna è intimamente legata alla sua collocazione geografica, al crocevia del sistema delle comunicazioni terrestri che collegano l'Italia centrale e meridionale al bacino padano. L'implementazione della rete ferroviaria territoriale di fine Ottocento e il progressivo affermarsi del trasporto individuale e delle merci su gomma del secolo successivo vedono infatti la città felsinea assurgere al ruolo di snodo baricentrico rispetto ai traffici della penisola. Questa vocazione si esprime particolarmente nel commercio all'ingrosso, in una rete di raccolta e distribuzione delle merci che intercetta la domanda di larga parte del territorio nazionale.

L'opportunità di ampliare e valorizzare tale sviluppo, massimizzando le attività terziarie della città e con esse l'appetibilità commerciale del comprensorio, suggerisce agli enti locali la necessità di dotare Bologna di servizi e infrastrutture civili atte a supportare l'ormai avviata maturazione da un'economia eminentemente agricola al cauto affermarsi di un sistema produttivo di tipo industriale.

È in queste circostanze che, con un articolato iter decisionale e amministrativo maturato alle soglie degli anni Sessanta, la giunta comunale manifesta la volontà di dotare Bologna di un nuovo quartiere fieristico.

Le tappe dello sviluppo fieristico e il concorso per il nuovo quartiere

Fin dal XIX secolo, apprezzabili manifestazioni espositive sorgono temporaneamente nelle zone più significative di una città che, all'epoca, risulta ancora racchiusa nel margine delle proprie mura (AA.VV., 1965). Già a partire dal 1888, anno della Grande Esposizione ai Giardini Margherita di Bologna in Figura 1, il carattere di vicinato che permea l'economia locale si presta favorevolmente a opportunità di innovazione produttiva e confronto sociale ed economico. Eppure, la mancanza di una collocazione strutturata e stabilmente dedicata limita fortemente l'affermarsi di tali eventi e il loro pieno sviluppo. A valle del primo conflitto mondiale, la Campionaria di Bologna viene spostata nel Littoriale, dove procede con cadenza annuale fino allo scoppio della nuova guerra.

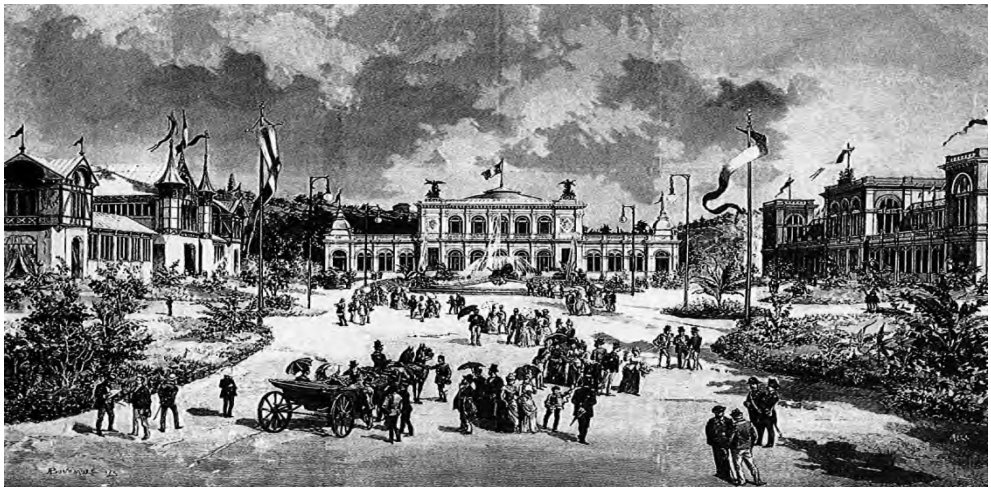


Fig. 1 – Bologna: la Grande Esposizione ai Giardini Margherita del 1888 (Ente Autonomo per le Fiere di Bologna, 1991).

Fig. 2 – Bologna: campionaria in Piazza VIII Agosto (Fiere Internazionali di Bologna, s.d.).

Nel Secondo dopoguerra, l'attenzione e le energie delle amministrazioni locali sono concentrate sulla ricostruzione del centro storico, con conseguente marginalizzazione del dibattito sulla promozione di un sistema fieristico unitario; infatti, benché le condizioni materiali manifestino via via dei confortanti segni di miglioramento, quest'ultima si inserisce a fatica tra gli obiettivi di sviluppo del boom economico. Questa inerzia decisionale comporta anche un ritardo nello stesso riconoscimento dell'Ente Autonomo per le Fiere di Bologna come Ente Fiera, costituito in via provvisoria nel 1947 e formalizzato solo dieci anni dopo. Per un segno tangibile della reale ripresa delle attività espositive bisogna attendere il 1951, anno in cui la Campionaria viene ospitata presso Piazza VIII Agosto e i padiglioni provvisori del vicino Parco della Montagnola, in Figura 2.

Fig. 3 – Bologna: il P.R.G. del 1955 pone nell'area del futuro quartiere fieristico un vincolo annonario (Rete Archivi Piani Urbanistici) *la cui campitura è indicata con una "A"*.

Gli anni Cinquanta segnano dunque, la ripresa del dialogo sulla collocazione della fiera, tema di importanza crescente nella transizione dall'economia contadina a quella industriale, ma in sensibile ritardo rispetto alle dinamiche di riorganizzazione strutturale di altre città del Nord Italia (Finanziaria Bologna Metropolitana, 2004).

Il decentramento della fiera e il cambio di rotta rispetto all'adozione di sedi occasionali si inseriscono a pieno titolo nei dibattiti finalizzati all'adozione di un nuovo P.R.G. entro il 1955 (Comune di Bologna, 1955), compatibilmente con la necessità di tutelare i caratteri peculiari della città storica e non gravare su una stratificazione di flussi veicolari che già affligge il centro storico. Le aree disponibili per l'insediamento di un nuovo quartiere fieristico sono individuate nel contesto extra-moenia a nord della città, in prossimità di una rete infrastrutturale in via di potenziamento, come mostrato in Figura 3.

Il progetto del nuovo quartiere fieristico di Bologna

Nel 1960 l'Ente Autonomo per le Fiere di Bologna bandisce un concorso nazionale per la sistemazione urbanistica e la progettazione di massima del nuovo quartiere fieristico. Tra le richieste del bando, la destinazione di una vasta area di 420.000 m^2 a parco[1] e la realizzazione non solo dei padiglioni fieristici, ma anche di funzioni complementari ma indipendenti rispetto a questi, adatte a soddisfare la crescente domanda di attrezzature della città anche nei periodi di chiusura della fiera (Benevolo et al., 1964).

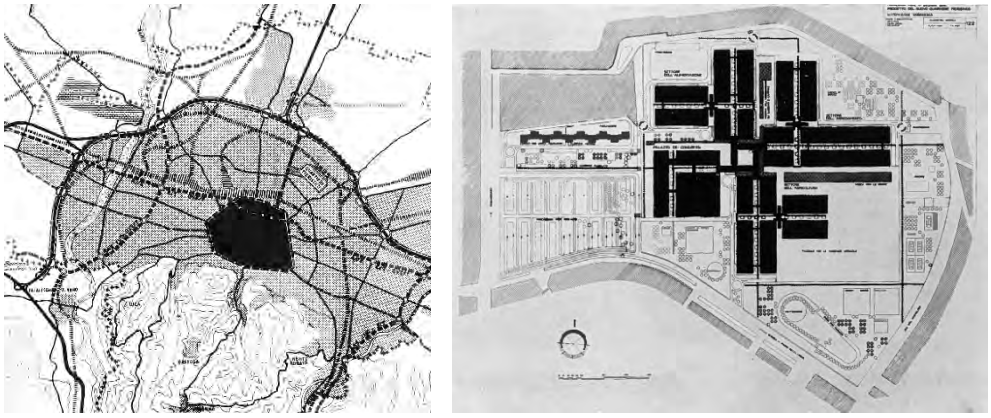


Fig. 4 – Bologna: il quartiere fieristico, indicato con una "B", nel sistema viario bolognese (a sinistra); l'assetto urbanistico definitivo (a destra) (Benevolo et al., 1964).

La versatilità fortemente voluta dai promotori del bando trova un amplificatore nella prossimità del quartiere a via Stalingrado (Benevolo et al., 1965), penetrazione che garantisce l'accesso al centro storico e la connessione al sistema autostradale a nord, come visibile in Figura 4. Attrezzatura di vicinato e urbana, il quartiere espositivo assurge a elemento unitario e strutturante, al contempo, dello sviluppo extraurbano e degli scenari più conservativi, tesi a scongiurare la temuta stratificazione terziaria a ridosso del centro storico.

Nel 1964 Comune, Provincia, Camera di Commercio e Ente Fiere costituiscono la Finanziaria Fiere di Bologna; un'operazione dall'implicito tenore politico, volta a supportare fattivamente la promozione di una sede permanente per la fiera e a indirizzarne lo sviluppo economico come volano per elevare Bologna a eccellenza nazionale ed europea (Finanziaria Bologna Metropolitana, 2004).

Nello stesso anno, si avviano i lavori del progetto vincitore, riguardanti i primi dieci padiglioni[2], per una superficie coperta di 43.000 m^2.

Per la prima volta dopo un lungo processo di trasformazione, la fiera di Bologna può svolgersi in strutture espressamente concepite e realizzate, dall'alto potenziale urbanistico e figurativo.

Il progetto vincitore del concorso

Il concorso di progettazione viene aggiudicato nel 1961 al gruppo composto dai progettisti Leonardo Benevolo, Tommaso Giura Longo e Carlo Melograni. L'approccio planimetrico proposto aspira a scongiurare la dispersione tipica delle fiere espositive; intercettando la richiesta di trattare gli aspetti architettonici e urbanistici sotto un'unica procedura, a favore di una maggiore snellezza del percorso progettuale, il

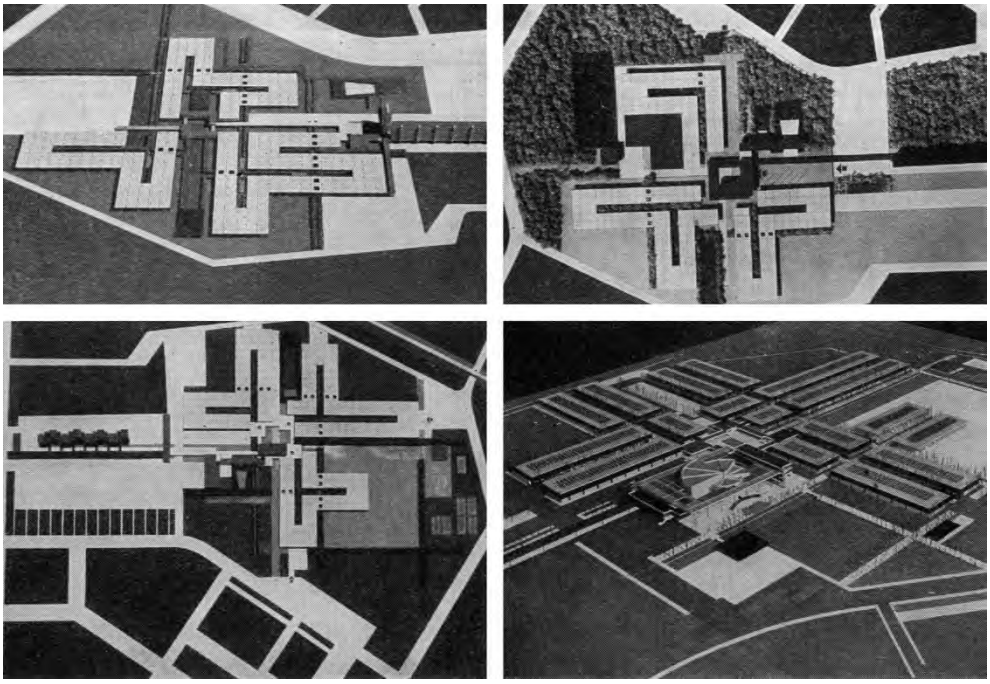


Fig. 5 – Bologna: il quartiere fieristico, dal progetto di concorso (a sinistra) al progetto definitivo (a destra) (Benevolo et al., 1964).

gruppo propone una configurazione architettonica compatta, visivamente concentrata al centro del lotto. Questa si materializza in un nastro continuo, largo 32 metri, che ripiega su se stesso per uno sviluppo di circa due chilometri e un'estensione complessiva di 80.000 m^2 (Benevolo et al., 1964: 34-37; Benevolo et al., 1965: 297). La copertura consente al visitatore di fruire degli spazi fieristici potendo muoversi sempre al coperto, reinterpretando la tradizionale spazialità del porticato, e comunicando una scala umana che arricchisce la vivibilità dello spazio, come mostrato in Figura 5.

Il sistema dei volumi dialoga con tre viali principali, che disegnano a loro volta tre distinti quadranti[3]. Coerentemente con le giaciture dell'orditura portante, la diramazione di percorsi a terra e viali alberati, interposti tra le anse del nastro, ripartisce le ampie aree verdi circostanti, stabilendo un intimo rapporto di prossimità fisica e visiva tra padiglioni e parco.

La struttura come elemento ordinatore dello spazio

All'interno del processo progettuale che si dispiega dal 1961 al 1964, l'impostazione urbanistica e architettonica è sottoposta a riletture e migliorie che consentono di recepire e incorporare le istanze dei soggetti a vario titolo coinvolti nel suo svilup-

po. La configurazione strutturale si eleva presto e fisiologicamente, in relazione alla specifica tipologia del padiglione fieristico, a elemento ordinatore del progetto, dalla proposta iniziale di concorso fino alla sua versione esecutiva.

La possibilità di realizzare strutture di luce ragguardevole, utilizzando elementi leggeri e di sezione contenuta, ben si presta alla necessità di procedere speditamente alla realizzazione del primo nucleo di dieci padiglioni, contenendo i costi delle operazioni di posa. La volontà di declinare efficacemente una precisa domanda strutturale e figurativa trova conforto nella sempre più consolidata produzione tecnica, individuando nell'acciaio un materiale dalle elevate potenzialità espressive.

La scelta di una struttura metallica, inoltre, appare assolutamente adeguata allo spirito innovativo che la fiera e la stessa città di Bologna intendono incarnare, proponendosi sulla scena dei mercati nazionali e internazionali in un momento storico di inedita vivacità industriale.

Le prime elaborazioni progettuali: un approccio modulare

Traducendo puntualmente la richiesta del bando di realizzare degli spazi che fossero modulari rispetto all'ingombro del box espositivo di 4 m · 4 metri, i progettisti impostano una maglia strutturale la cui crescita avviene per addizione di due cellule accoppiate in acciaio, modulari e standardizzate, di dimensioni 16 m · 16 metri.

Il sistema portante consta di 4 elementi verticali, con interasse pari a 8 metri, arretrati rispetto al filo esterno della copertura di 4 metri e sormontati da un solaio impostato su una griglia di 8 m · 8 m e 4 travi con estremità a mensola.

L'arretramento riduce al contempo il momento flettente che viene trasmesso alle colonne e il numero di pilastri necessari all'abbinamento degli elementi contigui.

La struttura è composta da elementi modulari e quanto più possibile dimensionalmente assimilabili, quali aste tubolari imbullonate a nodi standard. Al fine di non inficiare l'effetto di continuità visiva del reticolo introducendovi elementi eccessivamente singolari, la luce libera è affidata a travi principali di 32 metri, costituite da tralicci accoppiati che presentano ciascuno sezioni paragonabili a quelle delle travi secondarie di collegamento.

Nonostante la modularità apra tecnologicamente la strada alla grande luce e alla sovradimensione, è proprio grazie a essa e alle scelte compositive del sistema metallico di copertura, dunque, che i padiglioni riescono a esprimere una scala umana, scevra da ogni monumentalismo, che assurge presto a cifra espressiva e identitaria del progetto[4].

Gli sviluppi del progetto: un reticolo spaziale di grande luce

L'idea architettonica elaborata, in alto in Figura 6, funge da base per l'appalto-concorso delle strutture, indetto dalla Finanziaria Fiere e aggiudicato a C.M.F. (Benevolo et al., 1965: 295-300).

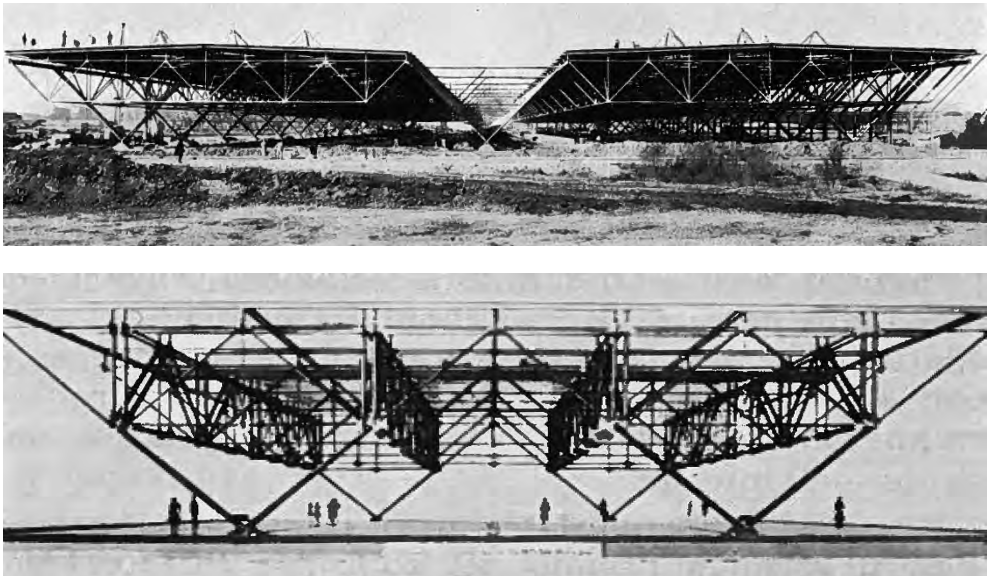


Fig. 6 – Bologna, il quartiere fieristico: l'evoluzione dell'assetto strutturale del progetto, la configurazione oggetto di appalto-concorso (in alto) e la struttura finale (in basso) (Benevolo et al., 1964).

I progettisti impostano con la ditta esecutrice un dialogo produttivo che, nonostante modeste divergenze sulla corrispondenza tra previsioni progettuali ed economia di realizzazione, consente loro di assorbire nella rielaborazione del progetto gli approfondimenti architettonici e urbanistici nel frattempo effettuati e di metterli a sistema con i necessari adeguamenti tecnologici richiesti dalla cantierizzazione e dalle tempistiche per la realizzazione.

Con un approccio singolare e antitetico rispetto alle più ricorrenti proporzioni degli ambienti espositivi, il traliccio è collocato a 4,70 metri di altezza, in un vano complessivamente alto 9 metri, come mostrato nel modello in Figura 7. Nelle aperte intenzioni dei progettisti, la ridotta distanza della struttura di copertura dal suolo e la parziale occupazione dello spazio interno da essa operata aspirano a suscitare nel visitatore la sensazione di trovarsi "dentro e non sotto" il traliccio (Benevolo et al., 1969).

La revisione del progetto di concorso conserva l'impostazione di massima della struttura, ma la alleggerisce, scegliendo di impiegare aste dalla sezione ridotta e un passo strutturale più generoso per le travi principali, che raddoppia da 8 a 16 metri.

L'innovazione maggiore risiede nel piano degli appoggi, che grazie a una rotazione di 90 gradi assumono la stessa giacitura delle travi principali, la cui lunghezza aumenta a 40 metri, in basso in Figura 6. Questa operazione apre la strada a una configurazione esecutiva di massima continuità tra i padiglioni e gli spazi verdi.

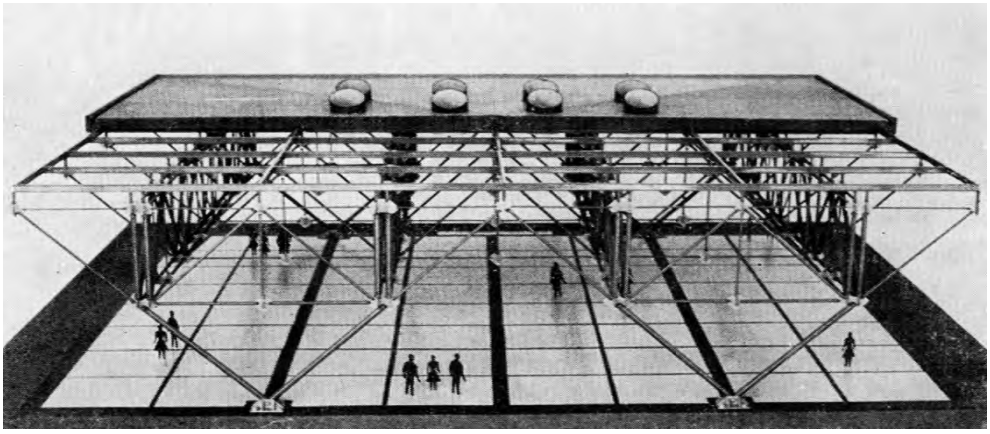


Fig. 7 – Bologna: il quartiere fieristico, modello di studio 1:20 della struttura (Benevolo et al., 1969).

Coerentemente con la logica unificatrice che aveva qualificato il progetto del 1961, la struttura è ancora elemento coesivo che lega trasversalmente lo spazio e ne veicola la leggibilità, per mezzo di un unico traliccio metallico di 96 metri di larghezza, che diventa copertura per ogni coppia di padiglioni, in Figura 8.

Conclusioni

La carica programmatica dell'intervento degli anni Sessanta ha permeato favorevolmente l'accrescimento della Fiera di Bologna e la progressiva dotazione di strutture che, a più riprese, hanno caratterizzato il quartiere fino ai giorni nostri. Nonostante la specificità della funzione che è chiamata ad assolvere e i possibili rischi di una deriva monofunzionale del comparto, la Fiera ha potuto beneficiare della sempre maggiore vitalità dell'economia territoriale e di una intensificazione dei traffici che ha validato il ruolo di Bologna come snodo commerciale strategico.

Le tematiche proprie del dibattito urbanistico e architettonico che hanno sotteso le vicende costruttive della fiera, e con esse gli esiti culturali e materiali di quelle speculazioni, si inseriscono nel sedime di avvenimenti storici peculiari di una particolare collocazione geografica, ma al contempo rappresentativi di molti contesti urbani nazionali del secondo Novecento.

Gli approcci alla prefabbricazione e le sperimentazioni sul tema della grande luce producono nel contesto bolognese risultati caratterizzati da una scala più umana e da una carica progressista mitigata, spesso positivamente, dalla tradizione locale.

In questo dualismo tra innovazione e conservazione, l'esperienza di Benevolo, Giura Longo e Melograni nel progetto dei primi padiglioni della Fiera di Bologna rappresenta un'inedita ed efficace sintesi di complesse istanze culturali, tecnologiche

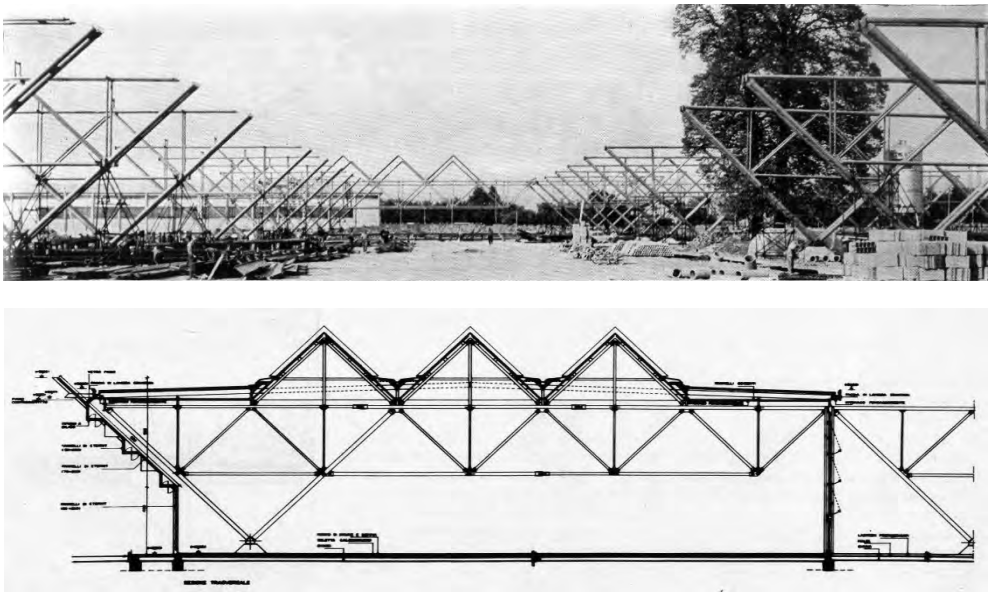


Fig. 8 – Bologna, il quartiere fieristico: sezione del progetto esecutivo (in alto); montaggio in cantiere delle strutture (in basso) (Benevolo et al., 1969).

e produttive e offre dei preziosi stimoli metodologici, che oggi come allora è possibile reinterpretare nell'avvincente panorama della costruzione metallica.

Bibliografia

AA.VV.. 1965. *Un nuovo quartiere per una fiera nuova*. Bologna: Ente autonomo per le fiere di Bologna.

Benevolo L., Giura Longo T., MelograniC. 1964. Progetto per il nuovo quartiere fieristico di Bologna. Casabella-Continuità, 289.

Benevolo L., Giura Longo T., Melograni C. 1965, I padiglioni del nuovo quartiere fieristico di Bologna. Costruzioni metalliche, 4, 295-300.

Benevolo L., Giura Longo T., Melograni C. 1969. Quartier des expositions de Bologne. L'architecture d'aujourd'hui, 141.

Comune di Bologna. 1955. Piano Regolatore Generale. Atti del Consiglio Comunale.

Ente autonomo per le fiere di Bologna. 1960. *Bando di concorso nazionale per la sistemazione urbanistica e progettazione di massima del nuovo quartiere fieristico*. Bologna: Ente autonomo per le fiere di Bologna.

Ente Autonomo per le Fiere di Bologna. 1991. *Una vetrina sul mondo. Storia per immagini della Fiera di Bologna*. Bologna, L'Inchiostroblu.

Fiere Internazionali di Bologna s.d. *Bologna Fiere dal 1947*. Bologna: Ente autonomo per le fiere di Bologna.

Finanziaria Bologna Metropolitana. 2004. *Un'idea di città. Radici, storia ed opere per il futuro metropolitano di Bologna.* Bologna: Finanziaria Bologna Metropolitana.

Note

1. Il quartiere è improntato al concetto di “Fiera giardino”, con aree verdi «intercalate fra i vari edifici del complesso» (Ente autonomo per le fiere di Bologna, 1960).
2. La prima pietra viene posata l’8 maggio 1964, all’apertura della 28a Campionaria. L’8 maggio 1965, inaugurazione alla presenza del Presidente del Consiglio Aldo Moro, la 29a Campionaria lascia la Montagnola e Piazza VIII Agosto per insediarsi nei nuovi padiglioni (Fiere Internazionali di Bologna, s.d.: 11-14).
3. La previsione di tre assi traspone la richiesta del bando di insediare i settori merceologici Agricoltura, Alimentazione e Arredamento (Ente autonomo per le fiere di Bologna, 1960).
4. La struttura viene insignita del premio INARCH-Domosic 1963 per l’idea architettonica (Benevolo et al., 1969).

Andrea Lizza

Le officine del gas ed i gasometri di Napoli

The gas works and gasometers of Naples

Sommario
La memoria descrive, a partire dalla storia dell'industria del gas, le officine del gas i gasometri di Napoli relativi alla produzione, all'immagazzinamento e allo stoccaggio del gas manifatturato, la cui attività è cessata nel 1987 a seguito dell'avvento del gas metano. Questi sistemi produttivi, di cui si sta nel tempo perdendo memoria, costituiscono dei veri e propri esempi di archeologia industriale. In particolare, le strutture gasometriche rappresentano, nei limiti delle disposizioni legislative e urbanistiche vigenti, delle vere e proprie opportunità per il recupero urbano delle aree industriali dismesse, da poter destinare alla fruizione del pubblico e per le attività sociali.

Abstract
The memoir describes, starting from the history of the gas industry, the gas works and gasometers of Naples relating to the production and storage of manufactured gas, whose activity ceased in 1987 following the advent of methane gas. These production systems of which memory is being lost over time constitute real examples of industrial archeology. In particular, the gasometric structures represent, within the limits of the legislative and urban planning provisions in force, real opportunities for the urban recovery of disused industrial areas, to be used for public use and for social activities.

Le Officine del gas e i gasometri

Le prime officine per la produzione del gas usato dapprima per l'illuminazione e poi per la produzione del cosiddetto gas di città iniziarono a diffondersi a partire dai primi dell'Ottocento. I gasometri avevano lo scopo di misurare e immagazzinare il gas a pressione costante, consentendo di sopperire ai picchi di richiesta e garantendo l'erogazione nel caso di fermi o guasti degli impianti di produzione. Attualmente i gasometri, a causa dell'avvento del metano distribuito nelle reti cittadine del gas, vengono utilizzati soltanto nell'ambito degli impianti a biogas e la loro diffusione è

estremamente limitata. Da un punto di vista storico i gasometri sono essenzialmente riconducibili a tre tipologie: a campana e a secco, che sono le più antiche, e a membrana, che è di concezione più recente.

Il gasometro a campana

Il gasometro a campana risulta costituito da un contenitore cilindrico, chiuso sul lato superiore e aperto in quello inferiore, che può muoversi verticalmente; la parte inferiore è immersa in una vasca d'acqua. In questo modo il serbatoio galleggia e si alza o si abbassa in funzione del volume di gas contenuto nel suo interno. L'acqua presente nella vasca inferiore impedisce al gas di uscire dal serbatoio realizzando la cosiddetta guardia idraulica. Il gas viene immesso e prelevato attraverso dei tubi che emergono dall'acqua. Per incrementare la capacità del serbatoio senza dover realizzare vasche profonde, si ricorre a campane telescopiche.

Le strutture esterne possono essere in muratura, tipiche dell'Ottocento, oppure in acciaio, realizzate a partire dai primi del Novecento.

Nei gasometri in muratura questa assolve al ruolo di involucro rigido cui ancorare gli elementi strutturali in acciaio, necessari per garantire il corretto sollevamento verticale delle campane telescopiche

I gasometri in acciaio si presentano invece come un reticolo di travi e il movimento verticale delle campane avviene per scorrimento delle guide che sono alloggiate direttamente nei montanti della struttura. Una evoluzione tecnologica di questa tipologia è data dai gasometri elicoidali, tipici della seconda metà del Novecento, che non hanno una struttura portante esterne e nei quali le campane sono autoportanti dotate di apposite guide elicoidali, collegate l'una all'altra. Ne deriva che il movimento verticale delle campane è ottenuto dalla loro rotazione intorno al proprio asse verticale; in questo modo si evita che le campane possano deformarsi e bloccarsi in quanto il movimento lungo le guide elicoidali obbliga la campana a muoversi con un avvitamento che determina uno spostamento perfettamente verticale. Non avendo struttura esterna questi gasometri una volta vuoti hanno la caratteristica che il fasciame scompare nel volume della vasca d'acqua che è alla loro base.

Il gasometro a secco

Il gasometro a secco è invece dotato di un involucro cilindrico chiuso sul lato inferiore e aperto su quello superiore, il cui volume viene delimitato da un tetto o coperchio mobile che scorre verticalmente dentro l'involucro. Il contenitore viene realizzato adottando lamiera chiodata o saldata.

Il gasometro a membrana

I gasometri a membrana sono di successiva realizzazione; sono di piccole dimensioni, realizzati con membrane saldate in modo da formare una sorta di camera d'aria

di varie forme. La tecnica costruttiva di questi gasometri può variare in funzione della forma e delle dimensioni.

La produzione del gas illuminante nella Napoli di inizio Ottocento

A seguito della diffusione dell'illuminazione a gas nelle principali capitali europee, dapprima a Londra e Parigi, anche Napoli ben presto si dotò di un sistema di illuminazione. Il primo esperimento riguardò l'illuminazione mediante 29 lanterne del porticato della Basilica di S. Francesco di Paola, in quella che attualmente è Piazza del Plebiscito, proprio di fronte al Palazzo Reale. La giornata del 10 settembre 1834 fu davvero memorabile: Napoli fu la prima città italiana ad essere illuminata col gas. Il sistema di alimentazione era piuttosto arcaico: i fanali a gas vennero alimentati mediante un piccolo impianto, ubicato nei sotterranei della Basilica, che consisteva in un impianto di cracking di olio d'oliva e che era dotato di una rudimentale campana gasometrica, della capacità di appena 7 metri cubi, costituita da un enorme tino di legno, foderato al suo interno con del piombo, coperto da un altro tino rovesciato di dimensione minore; nello spazio tra i due tini veniva messa dell'acqua in modo da realizzare quella che a tutti gli effetti poteva considerarsi una guardia idraulica per evitare le fughe del gas dal recipiente di accumulo.

Le officine del gas a Napoli

A seguito della concessione del 1838 al Cav. Giovanni De Frigiere per l'illuminazione a gas della città e del consistente sviluppo delle canalizzazioni stradali, si rese necessario realizzare un opificio per la produzione del gas. La scelta del sito fu dettata dal fatto che inizialmente l'illuminazione iniziò a svilupparsi lungo Via Toledo, nei pressi del Palazzo Reale e lungo l'adiacente Via Chiaia. L'officina gas, che presentava una capacità complessiva pari a 2.000 metri cubi ripartita su due unità gasometriche uguali, fu quindi installata in Vico Cupa a Chiaia.

L'impianto fu inaugurato il 28 maggio 1840. Dopo qualche settimana dalla messa in servizio, a seguito dello scoppio dovuto a una perdita da una conduttura nella zona di Chiaia, l'opinione pubblica iniziò a preoccuparsi circa la pericolosità degli impianti. A nulla valsero le rassicurazioni fatte anche da eminenti scienziati: ci volle del tempo per vincere la diffidenza dei napoletani sull'utilizzo del gas anche per l'illuminazione domestica.

Il gas veniva prodotto attraverso la distillazione dell'olio, ma nel 1841, a seguito del rincaro della materia prima, si iniziò a ipotizzare di produrlo attraverso l'estrazione dal carbone. A partire dal 1842 iniziò quindi l'importazione del carbone dall'Inghilterra, con la conseguente riconversione degli impianti di produzione. Nel giro di pochi anni, l'estensione dell'illuminazione pubblica ebbe uno sviluppo esponenziale e si rese pertanto necessario da un lato aumentare la produzione di gas e dall'altro individuare una nuova area su cui ubicare i nuovi impianti di produzione.

Nel 1862 la Compagnia di Illuminazione e Scaldamento col Gas sottoscrisse con il Comune il nuovo appalto per l'illuminazione a gas e si impegnò a costruire i nuovi impianti in un'apposita area assegnata per garantire una fornitura giornaliera di 4.500 metri cubi di gas. La scelta fu individuata nella zona all'epoca detta dell'Arenaccia, oggi corrispondente al comprensorio individuabile tra Via Benedetto Brin e Via Galileo Ferraris, nella parte orientale di Napoli, in un'area che in origine era paludosa, ricca di acqua da utilizzare per il processo di produzione del gas; la zona era inoltre immediatamente prospiciente alle mura cittadine e adiacente al porto e alle infrastrutture ferroviarie esistenti. L'area prescelta presentava una estensione di 55.000 m^2, con una superficie di ben 1.600 m^2 destinati a deposito di carbone. Il sito fu ufficialmente inaugurato alla presenza del principe ereditario Umberto di Savoia il 21 novembre 1863.

L'officina gas presentava inizialmente un impianto di produzione costituito da una sala distillazione composta da 4 gruppi di storte, ognuno a sua volta composto da 9 storte con 8 forni, per un totale di 36 storte a riscaldamento diretto e caricamento a mano. Erano inoltre presenti due condensatori a canne d'organo, un estrattore, due gruppi di depurazione, due misuratori di fabbricazione e un regolatore di emissione per una condotta da 500 mm.

Nel 1863 l'opificio aveva solo tre gasometri a una sola alzata da 4.000 m^3 ciascuno, necessari per l'accumulo del gas; nel 1899 i gasometri diventarono sei, con una configurazione che restò inalterata fino al 1943. Nel corso degli anni e fino alla dismissione degli impianti avvenuta negli anni '80 dello scorso secolo, in questo insediamento industriale è stato prodotto il gas manifatturato per la città di Napoli, raggiungendo una estensione nel suo periodo di massima espansione fino a 100.000 m^3.

Dalla sua realizzazione, il sito subì vari adeguamenti in relazione ai notevoli incrementi di utenza che si registrarono nel corso del tempo. Negli anni successivi alle vicende belliche della seconda guerra mondiale, si aprirono nuovi orizzonti tecnologici attraverso un'intensa e proficua attività di ricerca e sperimentazione. In particolare, nel 1955 si pervenne all'impiego del gas di raffineria per riscaldare i forni delle batterie, per il cracking nelle camere di distillazione e nei gasometri del gas integrale. Il gas manifatturato fu prodotto fino al 1987, anno in cui fu immesso nelle reti cittadine il gas naturale o metano. L'opificio di produzione a seguito della demolizione degli impianti ha conservato nella propria area tre gasometri dismessi, ospitando una delle principali cabine di prelievo e di riduzione per la distribuzione del gas metano.

La storia delle strutture gasometriche della Compagnia del Gas.

Nell'opificio di produzione, i gasometri hanno costituito nel tempo una componente necessaria per lo stoccaggio.

Agli inizi del Novecento, per consentire la distribuzione del gas manifatturato di prodotto in Via Ferraris nei vicini paesi vesuviani, si rese necessario dislocare sulla

rete di distribuzione, a configurazione radiale, alcuni gasometri intermedi che furono installati in Ercolano, a Torre Annunziata e a Castellammare di Stabia con funzione di volano per sopperire ai carichi di punta che potevano essere richiesti in alcune particolari condizioni di esercizio della rete.

A seguito dell'espansione della città di Napoli, nell'immediato dopoguerra, furono installati un gasometro nel quartiere collinare del Vomero e un altro nel quartiere di Fuorigrotta, nella parte occidentale della città per soddisfare l'aumento dei consumi dovuti alla alta densità abitativa dei due adiacenti quartieri satelliti di Soccavo e Pianura.

Negli anni delle vicende belliche dal 1940 al 1943 l'opificio di produzione fu più volte bombardato da bombe aeree di grosso calibro subendo numerose devastazioni, sia parziali che totali, che interessarono i sei gasometri. Il 23 marzo 1943 lo scoppio nel porto della nave Caterina Costa, carica di munizioni, produsse una deflagrazione tale da causare oltre 600 vittime e danneggiare moltissimi edifici: l'opificio dovette fermarsi per una settimana per riparare i danni.

Nel 1950 a seguito di un ulteriore intervento di ottimizzazione degli impianti i gasometri diventarono cinque, di cui tre presentavano una identica capacità di 11.500 m^3, uno era da 12.000 m^3, e uno da 60.000 m^3; nel tempo questi gasometri furono successivamente sostituiti e ricostruiti con capacità diverse.

Nel 1987, con la dismissione degli impianti di produzione del gas manifatturato, presso l'Opificio di Via Brin rimasero soltanto tre gasometri, rispettivamente da 80.000 m^3, 42.000 m^3 e 5.000 m^3; quest'ultimo fu successivamente demolito per realizzare un ampliamento dell'esistente parcheggio interno all'area dello stabilimento. Le strutture prima di essere messe fuori servizio e bonificate furono revisionate e manutenute per l'ultima volta nel 1985.

I gasometri di Napoli

I gasometri presenti nella città di Napoli attualmente sono soltanto quattro, di cui due in Via Brin. Le strutture non furono demolite poiché inizialmente si intendeva sfruttare l'esistente volumetria per realizzare un edifico da adibire a uffici e un parcheggio.

Con l'entrata in vigore del Piano Regolatore del Comune di Napoli, il gasometro da 80.000 m^3 rientra in un ambito di interesse costituendo un esempio di archelogia industriale Il gasometro, i cui lavori di costruzione iniziarono nel 1945, a cura della ditta Klonne di Dortmund, è a guida verticale radiale di tipo telescopico, presenta 4 alzate, ha una vasca alla base alta 10 metri, un diametro di base di 50 metri e una altezza complessiva di 50 metri. La tenuta del gas era assicurata da una guardia idraulica, le connessioni degli elementi strutturali sono del tipo chiodato.

Il gasometro da 42.000 m^3, costruito nel 1956 dalla ditta Safii Ing. De Bartolomeis, risulta strutturalmente analogo al precedente e ha la particolarità di avere le

connessioni degli elementi strutturali di tipo bullonato.

Nel quartiere Vomero si trova un piccolo gasometro da 5.000 m^2 in un'area di proprietà del Comune di Napoli in Salita Cacciottoli, che fu riconsegnata al Comune, comprensiva del manufatto, allo scadere della concessione da parte della società distributrice del gas.

L'ultimo gasometro è nel quartiere di Fuorigrotta, in Via Leopardi; prodotto dalla ditta inglese Dempster, presenta una capacità di 30.000 m^3 ed è a guida elicoidale; presenta tre alzate costituite da fasciame triangolare e la vasca di base è alta circa 10 metri. Il movimento verticale della alzate è dovuto alla rotazione e al contemporaneo sollevamento delle lamiere costituenti la struttura mobile.

Gli interventi per l'utilizzo ed il recupero dei gasometri di Napoli

Nel corso degli anni i gasometri di Napoli sono stati oggetto di numerose discussioni e di progetti che a tutt'oggi non sono stati ancora realizzati.

Per quanto riguarda i gasometri di Via Brin, quello da 80.000 m^3 è vincolato dal Piano regolatore del Comune, costituendo un esempio di archeologia industriale da conservare, mentre per quello da 42.000 m^2 sono ammessi, sempre secondo il Piano Regolatore, soltanto interventi manutentivi per la sua conservazione.

Nel 2000, in funzione del degrado delle strutture e a fini di prevenzione, fu avviata dalla proprietà, all'epoca la Napoletanagas, una procedura per definire lo studio di una messa in sicurezza dei gasometri, cui dal 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. Per il Gasometro del Vomero, da oltre 20 anni il Comune ha ipotizzato la realizzazione di un Parco Urbano in cui il gasometro diventerebbe parte integrante; i lavori per la realizzazione sono stati interrotti e iniziati più volte e il progetto è ancora in corso di esecuzione. Per quanto concerne il gasometro da 30.000 m^3 presente nel quartiere di Fuorigrotta, nel 2003 fu bandito dalla Napoletanagas con la Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli Federico II un concorso di idee finalizzato al recupero conservativo del gasometro; furono elaborate molte e interessanti soluzioni progettuali a cui non è stato dato ancora seguito.

I gasometri sono presenti in molte città italiane e straniere e possono essere considerati dei veri e propri riferimenti culturali e visivi.

Conclusioni

La storia delle officine del gas a Napoli nasce con la Compagnia del Gas che nel passato ha dimostrato di essere sempre all'avanguardia contribuendo attivamente al progresso tecnologico nel settore. I gasometri di Napoli, oltre a testimoniare un esempio di archeologia industriale, sono le vestigia di questa tradizione, oltre che costituire una concreta opportunità per il recupero urbano delle aree industriali dismesse.

Bibliografia generale di riferimento

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. In: *Atti del 2° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di A. Buccaro, G. fabricatore, L.M. Papa).. Napoli, 7-9 aprile. 1183-1191. Napoli: Cuzzolin Editore.

Lizza A. 2020. Storia dell'industria del gas a Napoli. In: *Atti dell'8° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria-4th International Conference* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). 159-170. Napoli: Cuzzolin Editore.

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.

Luigi D'Antonio, Vincenzo Di Florio

La diga in terra battuta di Bomba: storia di una diga diventata paesaggio

The Bomba's dam: History of a compacted earth dam that became landscape

Sommario
Un significativo impulso alla modernizzazione dell'Abruzzo si verificò con il contributo determinante degli ingegneri nel breve, ma intenso arco storico, denominato "Miracolo Economico". La prima elettrificazione e il suo sviluppo a scala regionale costituiscono una fase importante del boom economico abruzzese. In questo contesto economico e geografico si inserisce la centrale idroelettrica S. Angelo ad Altino, in provincia di Chieti, promossa e realizzata da ACEA, l'Azienda Comunale Elettricità e Acqua di Roma. La ricchezza del contributo che gli ingegneri hanno dato alla realizzazione della centrale S. Angelo, il più importante impianto realizzato da ACEA per l'utilizzo delle risorse idriche del fiume Sangro, è qui di seguito esemplificata attraverso il ruolo che l'ingegner Giorgio Wetter ha avuto nella progettazione e realizzazione della diga di Bomba, anch'essa in provincia di Chieti, completamente realizzata in terra battuta. La diga, ancora oggi, è un'importante opera infrastrutturale fortemente "sostenibile" che si inserisce armoniosamente nello straordinario paesaggio pedemontano abruzzese.

Abstract
A significant boost to the Abruzzo's modernisation occurred during the short period so called "The Economic Miracle". The contribution of engineers let the development of the first electrifications in the region and its progression during the economic prosperity time. In this economic and geographical context, one of the most important example is represented by the Hydroelectric Power Plan of Sant'Angelo in Altino (province of Chieti), which had been promoted and realized by ACEA-*Azienda Comunale Elettricità e Acqua di Roma.* Considered as one of the most important realizations, the power plan promoted the use of the water resources of the Sangro river, thanks also to the massive impact of engineers. Among them, the contribution of the engineer Giorgio Wetter can be representative of the entire work, with his de-

sign of the Bomba's dam (province of Chieti), entirely realized in compacted earth. Still today, the dam is an important and very "sustainable" infrastructure which is harmoniously inserted in the extraordinary piedmont landscape of Abruzzo.

Introduzione

Il paesaggio abruzzese, in continuità con il contesto italiano, è stato arricchito nel tempo di opere di notevole interesse per lo studio della storia dell'ingegneria, alcune delle quali lungamente trascurate dalla storiografia, a discapito delle architetture medioevali e rinascimentali, più largamente approfondite. La realizzazione di grandi opere infrastrutturali che hanno interessato dal finire del XIX secolo il territorio regionale, quali a titolo di esempio il prosciugamento del lago del Fucino e la realizzazione della rete viaria e ferroviaria, ha avviato la prima vera e propria modernizzazione della regione. Un ulteriore e significativo impulso allo sviluppo si verifica con il contributo determinante degli ingegneri durante il breve e intenso periodo storico del secondo dopoguerra.

In Abruzzo, sin dalla prima fase del "Miracolo economico", si è avuto un veloce processo di elettrificazione del territorio, propedeutico alla prima fase di industrializzazione della regione. Le prime reti elettriche e il loro sviluppo vennero presto a costituire una parte importante dell'architettura industriale del luogo, diventando nei tempi successivi e fino a oggi elementi inscindibili del paesaggio. Anche nella Frentania, in provincia di Chieti, vennero realizzate durante il periodo del boom economico, in particolare nei primi anni cinquanta del XX secolo, numerose e importanti opere infrastrutturali, come la strada Marrucina, che collegava Chieti ad Atessa, la ferrovia Sangritana, da Vito Chietino a Castel di Sangro, e contestualmente, gli allargamenti a scopi militari del porto di Ortona e di Vasto. Nel contesto introdotto e coerentemente con lo sviluppo economico della Valle del Sangro, si inserisce la centrale idroelettrica di Sant'Angelo ad Altino, in provincia di Chieti, promossa e realizzata da ACEA, l'Azienda Comunale Elettricità e Acqua di Roma[1]; l'infrastruttura elettrica comprendeva la costruzione, oltre che della centrale, anche di due dighe: quella di Bomba, che prevedeva lo sbarramento del fiume Sangro con un sistema in terra battuta, e quella di Casoli, sul fiume Aventino, affluente del Sangro, e realizzata in calcestruzzo armato. Nelle Figure da 1 a 3 sono riportate alcune immagini d'epoca.

Dato l'interesse che esercitava il bacino dell'alto Sangro già verso la Società Meridionale di Elettricità, ACEA scelse di programmare le proprie attività nel Medio e Basso Sangro, la cui natura geologica ha favorito la scelta tecnologica della diga in terra e la sua "architettura" strutturale.

Per la costruzione della diga di Bomba, ACEA affidò all'ingegnere Giorgio Wetter il ruolo della progettazione, e al proprio dirigente, ingegnere Mario Pediconi, la direzione lavori. La scelta dell'ingegnere Wetter venne favorita dalla sua attività di spicco nel campo dell'ingegneria geotecnica e nelle costruzioni di dighe in terra bat-

Fig. 1 – Diga di Bomba:veduta panoramica del bacino d'invaso del Sangro (Di Renzo, 2003).

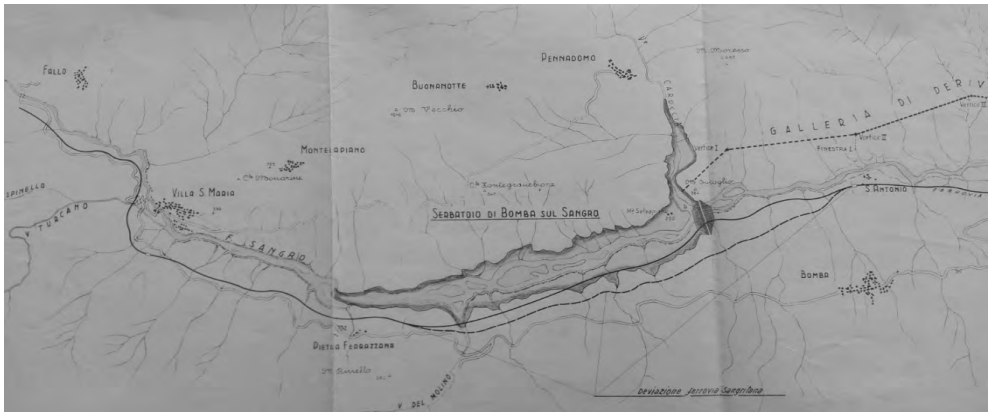


Fig. 2 – Diga di Bomba: planimetria del bacino (Archivio di Stato di Chieti[3]).

tuta sin dal primo dopoguerra[2]; formatosi negli Stati Uniti, aveva fondato, insieme al geologo Mastropietro, la WE.MA., studio di progettazione e laboratorio di geotecnica specializzato proprio nella realizzazione di tali opere.

Il progetto, gli elementi e la realizzazione

Il colle roccioso del monte Tutoglio, di natura calcarea e marnosa, con il ristringimento del solco vallico a ridosso della confluenza con il fiume Sangro offrì una sede sicura per il posizionamento della sezione di sbarramento e dell'intero complesso delle opere di scarico. Lo sbarramento creato definisce un invaso della capacità utile di 64.000.000 di metri cubi di acqua. La natura dei terreni impose la scelta materica della diga in terra, con la sponda Est formata da frane rimaneggiate e coni di deiezione, ricoprenti in parte gli strati ciottolo-argillosi di natura alluvionale, e con il

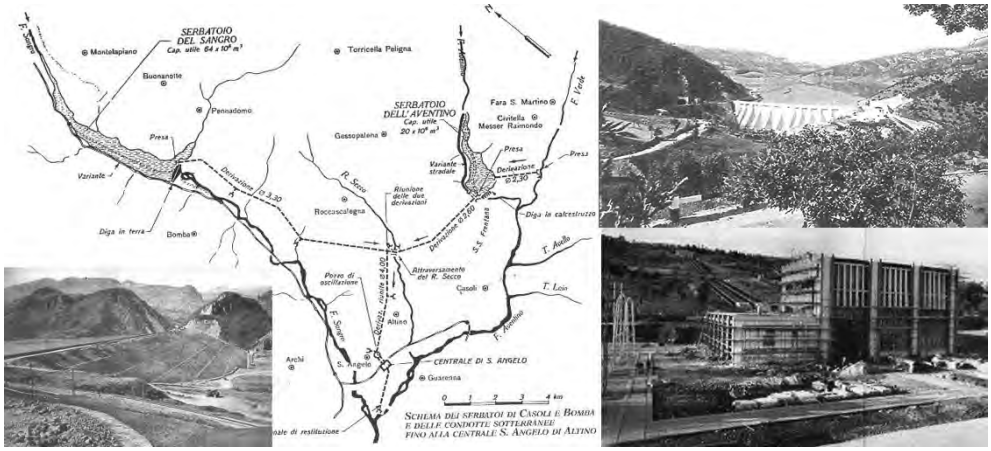


Fig. 3 – Schema dei serbatoi di Casoli e Bomba e delle varie condotte sotterranee fino alla centrale di S. Angelo di Altino, con foto delle due dighe di Bomba e Casoli e della centrale idroelettrica (Caniglia, 2003).

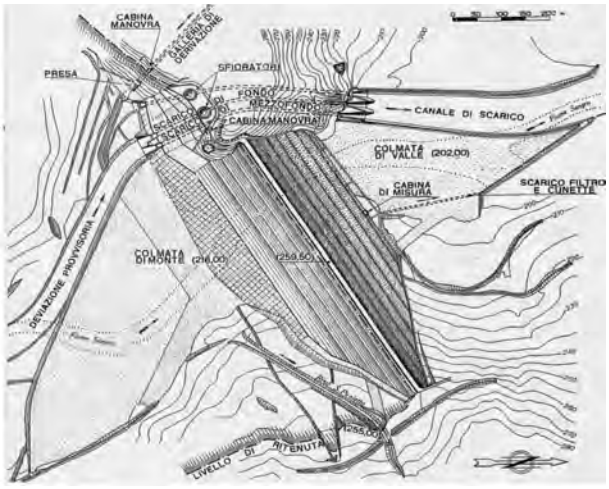


Fig. 4 – Planimetria generale (Archivio di Stato di Chieti[4]).

rilevato, come evidente dalla planimetria generale di Figura 4 e dalla sezione strutturale riportata nella Figura 5, costituito da zone con permeabilità crescente dal nucleo verso i paramenti; diversamente, il nucleo è costituito da materiale alluvionale fino miscelato con argilla, mentre i contronuclei e i rinfianchi sono di materiale alluvionale. Un sistema di drenaggi si estende sia in alveo sia nella parete rocciosa in sponda sinistra e la tenuta al di sotto del rilevato è realizzata a mezzo di un diaframma di iniezioni di argilla e cemento in prosecuzione del nucleo.

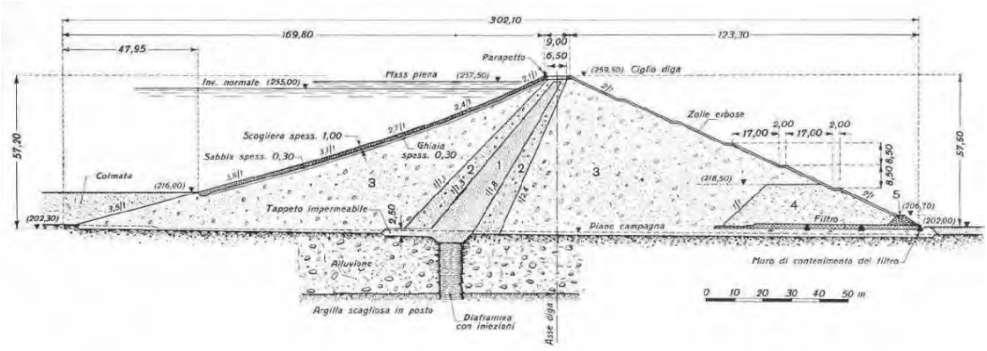


Fig. 5 – Diga di Bomba: sezione con evidenziate le cinque zone differenti per tipologia di terreno (Verducci, 1961).

Lo sbarramento

La capacità totale del serbatoio risulta pari a 83 milioni di metri cubi e la capacità utile fino alla quota 230 m prevista per lo svaso normale è pari a 64 milioni di metri cubi; il piano di coronamento fu previsto alla quota di 259,50 m e la ritenuta normale alla quota di 255 m, mentre il livello di massima piena è di 257,40 e il franco netto risulta di 1,5 m. L'altezza della diga è di 56,3 m sul piede dell'unghia a monte e di 59,80 m sull'alveo a valle, mentre quella della ritenuta normale è di 51,80 m. Il piano di coronamento si sviluppa per una lunghezza di quasi 700 m e presenta una larghezza pari a 9 m. Il paramento a monte invece presenta un'inclinazione variabile dal valore di 2/1 in sommità fino a 4,3/1 alla base, con inclinazione media di 3,1/1. Il paramento di valle è inclinato con rapporto 2/1 con interposizione di banchine orizzontali larghe 2 m ogni 8,5 m. L'unghia al piede è costituita da uno zoccolo di scogliera parzialmente sistemato a mano, con paramento esterno di inclinazione 1,5/1, che alla sommità, alla quota 206,70 m, ha una larghezza complessiva di 4 m. La larghezza totale della diga alla base risulta di 302 m.

Nella zona di valle, alla base della diga, è stato posto un filtro inverso allo scopo di drenare eventuali risorgenze dovute a possibili fenomeni di filtrazione attraverso il diaframma, costituito da cinque strati sovrapposti, dello spessore di 30 cm ciascuno, formati da materiali passanti progressivamente da sabbia fine, per il primo strato inferiore, a pietrame, per lo strato superiore di protezione; il filtro ottenuto viene ripartito in scomparti grazie a muretti divisori longitudinali e provvisto di quattro cunicoli trasversali di raccolta e di scarico, accessibili per l'ispezione.

Lungo il perimetro esterno è stato realizzato un muretto di contenimento del calcestruzzo, in cui ognuno dei cunicoli realizzati sbocca in una cabina di accesso provvista di stramazzi triangolari di misura delle filtrazioni e di idrometrografo per

registrare le perdite complessive. La superficie complessiva ricoperta dal filtro e di 23.000 m², sui 150.000 m² della superficie totale d'imposta.

La diga, considerata nella sua sezione normale, è costituita da cinque zone, distinte fra loro dalle diverse caratteristiche delle terre che le compongono, come mostrato in Figura 5. Le zone centrali 1 e 2 costituiscono il nucleo e i contronuclei impermeabili. Il nucleo, costituito da terra impermeabile di natura argillosa che ha subìto un processo di costipazione con rulli a spuntoni e pneumatici, ha la sua base in una trincea al di sotto del piano d'imposta per una profondità di 2,5 m e si prolunga verso monte a formare un tappeto; presenta uno spessore di 3 m in sommità, a quota 257,50 m, e fianchi inclinati di 1/10. I contronuclei che lo racchiudono, costituiti da terra poco permeabile a granulometria controllata separata al vaglio da 15 mm, e successivamente costipata con rulli e vibratori pesanti a strati di 30 cm dopo la lavorazione, hanno in sommità, a quota 258,50 m, uno spessore complessivo di 6,50 m e i fianchi inclinati 1/4. La zona 3, a monte e a valle, costituisce il corpo vero e proprio del rilevato, mentre la zona 4 a valle, di terra più grossolana, forma lo zoccolo alla zona 3, di natura permeabile al pari della zona con cui confina; sotto di essa è disposto il filtro che si estende oltre il piede dell'unghia di valle. Il paramento di monte è stato protetto da un rivestimento di scogliera dello spessore di 1 m posto su uno strato di ghiaia da 30 cm, sovrastante uno strato di 20 cm di sabbia fine, al vaglio da 8 mm, e da un successivo analogo strato di ghiaia, al vaglio da 8 a 80 mm, accuratamente costipati; Ultimata la formazione del sottofondo, sul versante di monte del rilevato è stata disposta la scogliera di protezione, costituita da pietrame sano con elementi di volume variabile da 20 a 400 litri ben assortiti. La sommità della diga è stata formata da uno strato di sabbia e ghiaia costipata dello spessore di 70 cm, in maniera tale che il coronamento risulta tale da costituire anche corpo stradale completo e, dopo gli assestamenti di prima fase, è stato provvisto di parapetto frangionde realizzato in calcestruzzo sul ciglio di monte.

Differentemente, il paramento a valle presenta un rivestimento con terra vegetale e zolle erbose per uno spessore di 40 cm, lungo cui tutto il piede, in corrispondenza di tutte le banchine previste sul paramento, risultano realizzate le cunette per lo scarico delle acque pluviali, presentando un pozzetto di raccolta ogni 30 m. Sulla scarpa del rilevato, al di sopra della zona 5, sono disposti, in corrispondenza dei pozzetti, tubi in calcestruzzo centrifugato per lo scarico delle acque. Il tutto è stato ricoperto da uno strato di terreno vegetale, di 40 cm di spessore, sul quale risulta presente un manto erboso.

Per reperire la terra necessaria alla costruzione della diga fu approntata un'estesa campagna di indagine dei terreni del territorio: sulla sponda Est, in prossimità dello sbarramento, è stata prelevata la terra per la costruzione del nucleo impermeabile (zona 1), mentre i depositi alluvionali nell'alveo del fiume Sangro, Figura 6, siti a monte e a valle dell'area della diga, fornirono ottimo materiale per i contronuclei (zona 2).

Fig. 6 – Diga di Bomba: cava di inerti nel letto del fiume Sangro (Caniglia, 2003).

Il rilevato risulta quindi costituito da una successione di diversi strati di terre dalle proprietà meccaniche diverse:

– zona 1: densità a secco: 1.600 Kg/m3; coefficiente di permeabilità: 10-8 cm/s; angolo di attrito: 20°; coesione: 0,2 Kg/cm2;
– zona 2: densità a secco: 2.100 Kg/m3; angolo di attrito: 35; coeff. di permeabilità 10-6 cm/s;
– zone 3 e 4: densità a secco: 2.100 t/m3; angolo di attrito 35°; coeff. di permeabilità 10-4 cm/s;
– zona 5: pietrame sano, sistemato a mano, e materiale detritico di riempimento.

Il diaframma

Dagli studi geologici emerse la necessità di realizzare una prosecuzione del nucleo centrale con diaframmi che attraversassero gli strati alluvionali rimaneggiati, sui quali fu impostata la diga, al fine di scongiurare fenomeni di filtrazione. In sponda Est, per una lunghezza di circa 120 m, il diaframma fu realizzato proseguendo il nucleo al di sotto del piano di imposta della diga fino alla profondità di 7-8 m, mentre per la parte rimanente fu previsto di approfondire la base del nucleo di 2,5 m e di eseguire sotto di essa il diaframma con iniezioni di miscela impermeabilizzante fino a raggiungere le argille scagliose. In sponda Ovest, in roccia, è stata progettata l'esecuzione di iniezioni cementizie fino a includere le gallerie di scarico per un'estensione di circa 10.000 m². La superficie ottenuta complessiva del diaframma è risultata quindi circa di 12.000 m².

Il drenaggio di protezione della spalla sinistra

Malgrado le impermeabilizzazioni con iniezioni cementizie nella roccia in sponda sinistra (Ovest), per impedire che eventuali infiltrazioni potessero raggiungere il corpo della diga a valle del nucleo e comprometterne la stabilità, fu previsto, su tutta la superficie di imposta a valle del nucleo, un dispositivo di drenaggio atto a raccogliere e convogliare al di fuori della diga tutte le acque che dovessero presentarsi. Il drenaggio, realizzato con più strati, sviluppa una superficie totale di circa 5000 m².

Il primo strato è costituito da pietrame dello spessore complessivo di 1,5 m, disposto parzialmente a mano a formare quasi muratura a secco sulla roccia, la cui superficie doveva essere stata opportunamente preparata in precedenza, e con cinque tubi in cemento armato centrifugato del diametro di 30 cm disposti superiormente ai fori alla distanza verticale di 10 m e saldamente allettati su una base in calcestruzzo fondata in roccia, tali da raccogliere l'acqua scaricata nella cunetta prevista al piede del rilevato; successivamente sono posti, attraverso strati orizzontali accuratamente costipati con appositi vibratori, uno strato di ghiaia con passante da 8 mm a 80 mm, dello spessore di 60 cm, con sopra un ulteriore strato di sabbia lavata per uno spessore di 40 cm, a formare così un risvolto alla testata interna, contro la terra del contronucleo di valle e con alla base un filtro inverso, simile a quello posto alla base della diga, necessario per raccogliere l'acqua e immetterla nel dispositivo di drenaggio; infine, a sormonto, fu disposta terra impermeabile da nucleo per uno spessore variabile da 2,4 m in sommità a 5 m alla base e contro di cui è stato impostato il corpo della diga. Alla base del dispositivo venne previsto un taglione in terra con nucleo incassato nella roccia, mentre al di sotto di esso vennero eseguite iniezioni cementizie fino a profondità adeguate, realizzando così la totale separazione fra il corpo della diga a valle del nucleo e la roccia di imposta, pur assicurando la continuità della struttura, con la raccolta e successivo smaltimento dell'acqua presente all'interno.

Galleria di derivazione provvisoria

Per la messa in secca del cantiere durante i lavori fu necessario provvedere alla deviazione provvisoria delle acque del fiume Sangro, realizzata attraverso una galleria circolare del diametro di circa 8,30 m per uno sviluppo complessivo di 357 m, interamente rivestita con calcestruzzo per uno spessore di 80 cm, che al termine dei lavori fu adattata, come per lo scarico di fondo, a scarico di superficie collegata al primo sfioratore a calice. L'imbocco, disposto in prossimità dell'estremo Ovest dell'argine di deviazione, è costituito da tre luci della larghezza di 3 m ciascuna, con soglia a quota 202,50 m, ed è preceduto da un ampio canale di raccolta.

Le acque del Carroccio invece furono deviate e immesse in una seconda galleria che, nel primo tratto di 80 m, presenta un diametro di 4,50 m con uno spessore medio del rivestimento di 50 cm, e nel tratto successivo, per uno sviluppo di circa 340 m, un diametro di 6,50 m e uno spessore medio del rivestimento di 80 cm.

Scarichi

Alla distanza di 68,60 m dall'inizio della galleria di deviazione del fiume Sangro furono installate in serie due valvole a saracinesca della luce di 2,20 m per 3,20 m, con soglia a quota 198,81 m, a valle delle quali fu realizzato un condotto di aereazione del diametro di 80 cm, per lo scarico di fondo del sistema. Diversamente, per lo scarico di alleggerimento venne ideata una galleria del diametro di 5 m con una pendenza del 9 per mille e uno spessore medio del rivestimento di 60 cm, dalla lunghezza totale di 175 m circa, con soglia dell'imbocco a quota 217 m, e con due valvole a saracinesca in serie, accessibili grazie a un pozzo situato nelle camere di manovra, poste a circa 50 m dall'imbocco.

Lo scarico di superficie, mostrato in Figura 7, è costituito da due sfioratori di tipo a calice a profilo Creager (Morning Glory-Nord America), che, a seconda dei carichi al di sopra della soglia, possono funzionare a stramazzo o a battente, con ciglio sfiorante a quota 255 m, come mostrato in Figura 8. Il primo sfioratore, più prossimo alla diga, immette le acque nella galleria di deviazione del Sangro a valle dello scarico di fondo, con calice di diametro al ciglio di 25 m, e provvisto, in sommità, di una crociera in cemento armato allo scopo di impedire la formazione di vortici della lama stramazzante, cui segue un pozzo verticale del diametro di 6,5 m, raccordato alla galleria attraverso una curva a 90° del raggio di 18 m. Il secondo sfioratore, gemello del primo, scarica le acque nella ex galleria di deviazione del Caroccia, tamponata alla base del pozzo di scarico. Complessivamente, gli sfioratori hanno una capacità di smaltire fino a una portata di 1.250 m^3/s di acqua, con un'altezza di vena sfiorante pari a 2,50 m.

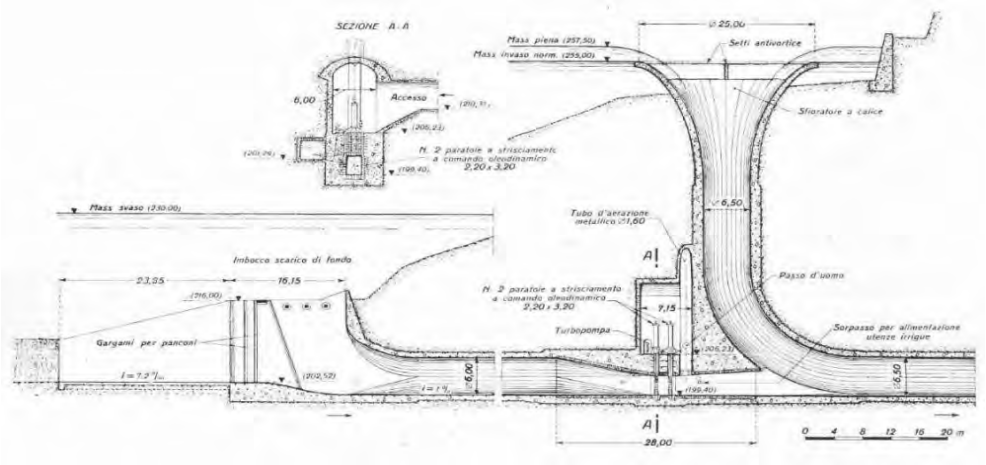


Fig. 7 – Diga di Bomba: sezione dell'impianto scarico di superficie (Verducci, 1961).

Fig. 8 – Diga di Bomba: sfioratori di superficie e guardiola con pozzo di accesso alle camere di manovra delle paratoie (Archivio Acea, YouTube).

Fig. 9 – Diga di Bomba: gallerie di scarico e vasca di smorzamento (Archivio Acea, Youtube).

I dissipatori dello sblocco delle gallerie di scarico

Date le forti velocità di efflusso e per restituire all'alveo del Sangro una corrente affine a quella dell'alveo naturale, a valle dello sbocco delle due gallerie fu realizzato un dispositivo di smorzamento, nelle Figure 9 e 10, costituito da un tronco di canale, rivestito a sezione gradatamente crescente e provvisto sul fondo di risalti trasversali tali da dissipare il carico posseduto dalla corrente.

Le opere accessorie

Sulla sponda est, a valle del bacino, venne realizzata la casa del custode, mentre sul lato opposto fu posizionata la guardiania, da cui, attraverso un pozzo, si rese possibile l'accesso alle camere interrate dei servomotori atti alla manovra delle paratie, in Figura 11, e all'interno della quale vennero installati i quadri che gestiscono l'intero complesso.

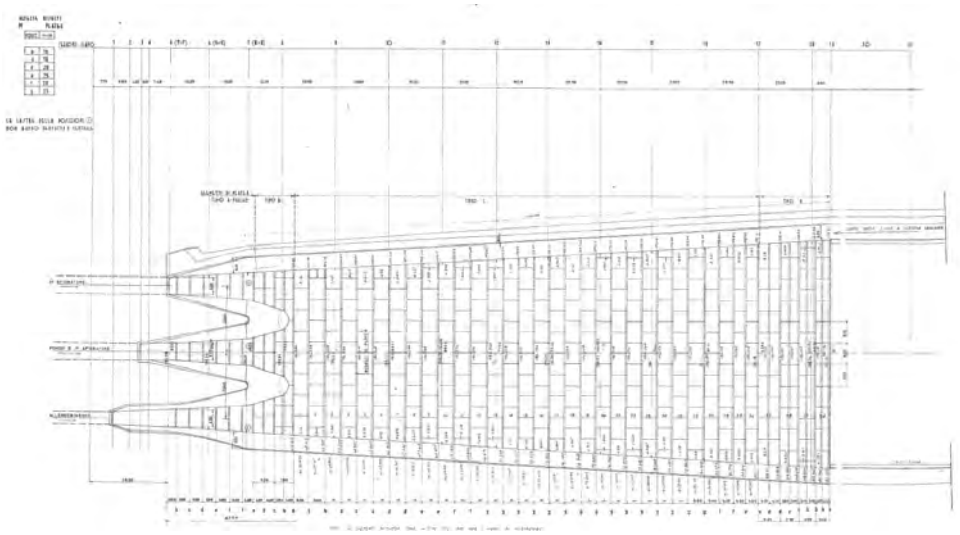


Fig. 10 – Diga di Bomba: sistema di smorzamento (Archivio di Stato di Chieti).

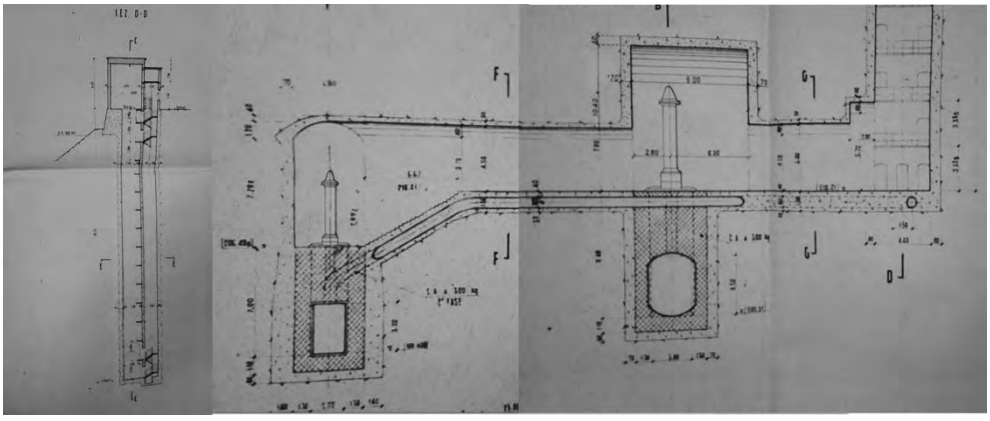


Fig. 11 – Diga di Bomba: guardiania, pozzo di accesso e camere di manovra delle paratoie (Archivio di Stato di Chieti).

La strada sul coronamento dello sbarramento che collega la casa del custode con le cabine di manovra della Guardiania prosegue, costeggiando gli sfioratori a calice, fino al fabbricato, riportato in Figura 12, dove sono posti i comandi per le opere di presa e da dove viene gestita la galleria che convoglia l'acqua alla centrale idroelettrica S. Angelo, realizzata a Selva di Altino.

Fig. 12 – Centrale idroelettrica a selva di Altino (Verducci, 1961).

Conclusioni

Una corretta gestione di tali beni presuppone il continuo monitoraggio delle strutture e un'idonea manutenzione. Questa assume un ruolo fondamentale in considerazione dei recenti eventi sismici e catastrofici che hanno interessato altre infrastrutture civili nel territorio nazionale.

Gli interventi su tali opere presuppongono una conoscenza completa, che passa attraverso la ricerca storica, il comportamento nel tempo dei materiali (durabilità), e le modifiche subìte nel corso della loro vita utile.

Gli impianti per la generazione idroelettrica collocati lungo il fiume Sangro e i suoi affluenti sono oggi oggetto di particolare attenzione. Collocati in zone sismogenetiche rilevanti, già fortemente interessati da complesse problematiche di equilibrio idrogeologico, risultano esposti a rischi e a difficoltà di gestione, per cui è necessario prevedere scenari critici di intervento.

Le conseguenti attività di analisi di vulnerabilità e di adeguamento sismico, in corso, coordinate tra vari soggetti (Enti Territoriali, Gestore e MIT), coinvolgono diverse figure professionali, in particolare ingegneri, tra cui uno degli autori del presente articolo.

La diga di Bomba, grazie alla sensibilità e al *know-how* dei pionieristici ingegneri che ne seguirono l'ideazione, la progettazione e la costruzione, rappresenta ancora oggi un modello esemplare sul piano sia tecnico che ambientale. Si inserisce infatti armoniosamente nel contesto territoriale abruzzese, configurandosi come un'opera eccelsa, moderna, sostenibile, prototipo per le future progettazioni.

Bibliografia

Di Renzo F. 2003. *Uno sviluppo sostenibile: la struttura industriale della Val di Sangro 1945-1980*. Tesi di Laurea, Università di Chieti.

Caniglia G. 2003. La diga di Bomba. Prolocis trimestrale di informazione, 1(5).

Verducci E. 1961, L'impianto idroelettrico di S. Angelo dell'Azienda Comunale Elettricità ed Acque di Roma, ACEA Roma. L'energia elettrica, 8, 727-748.

Sitografia di riferimento

La costruzione della diga di Bomba. Parte 1/2 https://www.youtube.com/watch?v=LAn7qmBOlJU&ab_channel=CasoliPuntoTV (consultato il 27/11/2021)

La costruzione della diga di Bomba. Parte 1/2 https://www.youtube.com/watch?v=GcDYl5oSa98&ab_channel=CasoliPuntoTV (consultato il 27/11/2021)

Note

1. Nel 1942 l'ACEA inizia il suo percorso di potenziamento, presentando, tra le altre, l'istanza al governo per "derivare acqua dai fiumi Sangro e Aventino". Nel 1951, l'ACEA rinnovò l'istanza, fino a quando nel 1955 la Commissione interministeriale convocata emanò un decreto di concessione; nello stesso anno, fu promosso un progetto esecutivo completo relativo alle due dighe e alla centrale idroelettrica che fu approvato e appaltato l'anno successivo. Le prime indagini geologiche vennero eseguite già nel 1953, mentre solo nel 1957 iniziarono i lavori, impiegando circa mille operai al giorno (forza massima raggiunta nel 1968), per terminare nel 1961. La diga fu riempita l'anno seguente.
2. Nel 1957, in Italia risultavano in corso di costruzione undici dighe in terra: Aya, Basso Nero, Castel San Vincenzo, La Selva, Santa Maria al Lago, Poggio Cancelli, Rendina, San Valentino, Trinità, Vernago e, appunto, Bomba.
3. Archivio di Stato di Chieti, *Opere di interesse pubblico*, b. 39, fasc. 1, "*impianti idroelettrici del Sangro"*
4. Archivio di Stato di Chieti, *Opere di interesse pubblico*, b. 42, fasc. 3, "*progetto della diga*".

Antonino Drago

The birth of the thermodynamic theory between cannons and steam engines. An incommensurability case

La nascita della teoria termodinamica tra i cannoni e le macchine termiche. Un caso di incommensurabilità

Abstract
After several centuries of uncertain development, in 18th Century guns and cannons achieved a reliable efficiency in wartime. Their enormous power became a symbol for revolutionary men wanting to shake ancient societies. At the same time heat engines elicited the first industrial revolution. In the first decades of 19th Century several scientists studied the great variety of heat engines by taking as theoretical model the most powerful machine, i.e. cannon, in the hope to obtain a source of unlimited power. Yet, since 1783 Lazare Carnot - a military strategist who had developed a complete theory of mechanical machines - had invited scholars to abandon any "chimerical dream" of obtaining an unbounded power from a machine, as that the development of military technology led to hope in. His son, Sadi, a former-military officer, introduced some notions - i.e. reversible processes, state of a system, cycle and a limitation of the efficiency - which are incompatible with a war machine. Actually, they have been already basic notions in L. Carnot's theory of civil mechanical machines, a theory which had already converted the aggressive attitude of both military strategy and mechanical theory into a flexible and conservative attitude. Hence, one may conclude that thermodynamics is born by converting the widespread attention on the military technology of cannons to the civil technology of heat engines and in particular dismissing the chimerical dream of an (unlimited) destructive power for instead establishing an essential limitation. It is remarked that this case study represents an instance of historical, philosophical and foundational incommensurability between two opposite theoretical attitudes.

Sommario
Dopo diversi secoli di sviluppo incerto, nel XVII secolo fucili e cannoni raggiunsero un'efficienza affidabile in tempo di guerra. Il loro enorme potere divenne un simbolo per gli uomini rivoluzionari che volevano scuotere le società antiche. Allo

stesso tempo, i motori termici provocarono la prima rivoluzione industriale. Nei primi decenni dell'Ottocento diversi scienziati studiarono la grande varietà dei motori termici prendendo come modello teorico la macchina più potente, ovvero il cannone, nella speranza di ottenere una fonte di potenza illimitata. Eppure, dal 1783 Lazare Carnot, uno stratega militare che aveva sviluppato una teoria completa delle macchine meccaniche, aveva invitato gli studiosi ad abbandonare qualsiasi "sogno chimerico" di ottenere una potenza illimitata da una macchina, così come faceva sperare lo sviluppo della tecnologia militare. Suo figlio, Sadi, un ex ufficiale militare, ha introdotto alcune nozioni, ad es processi reversibili, stato di un sistema, ciclo e limitazione dell'efficienza - che sono incompatibili con una macchina bellica. In realtà, erano già nozioni basilari nella teoria delle macchine meccaniche civili di L. Carnot, teoria che aveva già convertito l'atteggiamento aggressivo sia della strategia militare che della teoria meccanica in un atteggiamento flessibile e conservativo. Si può quindi concludere che la termodinamica nasce convertendo l'attenzione diffusa sulla tecnologia militare dei cannoni alla tecnologia civile dei motori termici e in particolare respingendo il sogno chimerico di un potere distruttivo (illimitato) per stabilire invece una limitazione essenziale. Si nota che questo caso di studio rappresenta un esempio di incommensurabilità storica, filosofica e fondazionale tra due opposti atteggiamenti teorici.

Theoretical thinking in physics and technology. L. Carnot' exception

It is commonly held that in order to theorize on reality one has to apply some abstract principles including idealistic notions of our mind. On the contrary, purely theoretical ideas may be misleading with respect to the progress of a technology. A clever attitude was L. Carnot's who formulated the first theory of mechanical machines by disclaiming the two idea of a perpetual motion and the idea of extracting from machines an infinite power (Carnot L., 1783). It is remarkable that he was also a strategist and paralleled his theory with his strategy in the aim to find the best strategy as a defensive strategy based on the "displacements of insensible degrees". Hence his attitude may be described as a conversion from an aggressive military strategy to a defensive strategy for preserving and improving civil society (Drago, 1990b). In addition his theoretical attitude represents a conversion of Newton's mechanics to an entirely operative theory, based on the impact of bodies interpreted by means of the ideal model of the elastic body instead of Wallis and Newton's ideal model of the perfectly hard body; and submitted to the principle of virtual works which does not require infinitesimal analysis but only geometric-trigonometric mathematics (Drago, 1990a; Drago, 2004; Drago, 2017).

At the same time the military technology improved the destructive power of the arms. Also this great advancement of military technology suggested a new strate-

gic school which won on the proposals by other strategists; it wanted the offensive strategy of a "total war", to be performed by means of a unscrupulous use of new destructive capabilities, in order to prevent any possible attack by the neighboring countries (Reinhardt, 1950-51: I, IX). This was the winning school, that, apart the period of time L. Carnot was the Chief of the *1783 Victoire,* dominated French strategic thinking, mainly then under the leadership of Napoléon. His strategy paralleled his theory of mechanics (Angelillo and Drago, 1997). Notice that in opposition to this strategy which may be called the "state's cannon strategy", the development of heat engines was independently promoted by private industry.

His son Sadi produced almost by alone the new theory of thermodynamics by reflecting as the father on the machines. This event was a great problem for the historians of physics, because apparently had no precedent, similar theory and afterwards the result was neglected along almost 25 years (Fox, 1978).

The interplay between civil and military technology of heat engines

Past history of heat technology shows interplay between military technology and civil technology through the relationships between cannons and civil engines. Both Lynn White Jr. and D. Bernal agree that «a cannon is not important in itself, [i.e. only] as a war machine consuming energy; it represents also one cylinder, inner combustion engine and all modern engines of this kind derived from the cannon» (White, 1967: 161-162; Bernal, 1973: 166-167).

Moreover, before and after French revolution the supporters of a radical change in traditional society - in particular in the first decades of the 19th Century, the numerous *anciens* élèves of the École *Polytéchnique* - saw the enormous power delivered by cannons as the symbol of a new social potentiality for mobilizing the people of the *anciens* régimes.

In the end of 18th century, the development of technology received a great momentum from the inventions of many marvelous heat machines; for examples, steam engines extracting materials from underground mines or propelling mobiles of all kinds (cars, ships and also flying machines, i.e. Montgolfier's balloon) (Klemm, 1959; Dickinson, 1978).

The cannons and the building of a thermodynamic theory

The celebrated book by Jean N.P. Hachette - a friend of L. Carnot who wrote the preface - stated that fuel generates power in three ways only: by transforming into a gas, as gunpowder does; by heating water to be steam; by rising up the temperature of a gas. As a consequence it recognized only three fire engines: «muzzles as cannons, mortars, etc., steam engines and the flowing air engines» (Hachette, 1811: 112).

Since (Robison, 1797) several scholars tried to compute the efficiency of heat engines.

Robison considered the phase of injection of the steam which gives a work:

$$W_1 = p_1 V_1$$

and an expansion phase (considered isothermal) which gives a power:

$$W_2 = p_1 V_1 \ln(V_2/V_1)$$

But it was not a reference point before in 1811 Hachette reiterated the result.

Indeed, great was the theoretical confusion, owing to the primordial stage of this field of theoretical study. I list the main problems met by a theorist in these years.

1) There existed two interpretations of the nature of heat: the caloric interpretation, according to which heat is an immaterial and conservative fluid, and the mechanical interpretation of heat as a motion of invisible little particles; since the year 1784, when Laplace e Lavoisier wrote the *Mémoire* putting the two interpretations on the same par, to the time of S. Carnot's book, they had alternating prevalence[1].
2) Kuhn stated: «In the first half of nineteenth century… the thermal properties of elastic fluids were too difficult to measure» (Kuhn, 1958: 140). Moreover, in the fear of explosions the experiments on gases have been performed always under little pressions.
3) The study of bodies was dominated by Newton's notion of an ideal perfectly hard body, whereas Leibniz' ideal model of an elastic body was almost ignored; hence the conservation of energy and input-output balance of energy were optional.
4) It was unknown which substance gives more "power": water, gas, alcohol, etc.
5) Few laws of gases were known and the relation of latent heat with temperature and pressure was ignored.
6) By following the chimera of an unlimited power, many scholars considered the behavior of engines as a particular case of the impressive behavior of a powerful cannon; the working process of this machine suggests only two phases: the explosion phase and the phase of expulsion of the ball (and not a Watt expansion and not even the phase for reloading both gunpowder and ball, since the latter operation seemed a natural and inexpensive one in comparison with the phase of explosion). Hence, how many phases a theorist had to take into account (only two, three or four phases) was unknown; in particular, why Watt's addition of an expansive phase increases the efficiency of a vapor machine (patent of the year 1782) had to be explained.
7) There was no idea of a cycle of operations in terms of the state of the internal fluid; the common requirement was to come back the piston to the initial point.
8) The requirement of reversibility was ignored before S. Carnot.

The progression of the studies of French theorists on this subject seems to be marked by *grosso modo* the following four intellectual steps, occurred also in a parallel way.

First intellectual step

Owing to Newton's suggestion of hard bodies, scholars studied machines first of all under the problem of the stress and the strains of the materials. Moreover, being the improvement of the expulsion of the ball a matter of metallurgy, rather the phase of expansion or explosion attracted the attention of the inventors. As Kuhn put it in terms of cycles of operations: «all … engines then known work in cycles composed of apparently incommensurable steps, and before Carnot, engineer theory had therefore concentrated upon the power stroke and ignored the rest of the cycle» (Kuhn, 1961: 572).

In addition physicists studied the hard bodies constituting the fuel: gunpowder, fossil coal, charcoal, wood, peat. Gunpowder was under the attention of the scientists: L. Carnot recalls it as the first fuel in the list he suggests when reviewing Niepce's engine (Charnay, 1984: 493). An economy consideration played a crucial role. In 1811 first Hachette performed a detailed comparison on the quantities of work produced by the different kinds of fuel with the same weight. He obtained that gunpowder produces much more power (six times) than heating a gas. Yet, the money costs of the two sources were in the reverse order. In order to obtain an economical convenience the choice was in favor of gas (steam) engines. (Hachette, 1811: 122-131) Hence, it was a practical reason which led to abandon the fuel of cannon for privileging the civil fuel. Hachette computed the power of a heat engine in static terms, i.e. by means of the force opposed to the weight of a column of water. In general, the effects of such machines were conceived as capable to overcome an exterior "resistance" (Gillispie and Pisano, 2013: IV); this idea made measurable the otherwise undefined power of a cannon.

Second intellectual step

Newtonian theory of perfectly hard bodies and their cognate bodies, the incompressible fluids, all obstructed advances in this theoretical field. They discovered "the elastic nature of gases" and recognized that, although very light bodies, the gases are capable to determine the behavior of a great and heavy machine. Hence, the Leibnizian-Carnotian attitude, based on elastic bodies, was adopted by someone for more adequately cover the cumbersome working of a heat machine. Such an attitude about elastic bodies was presented for the first time by Gaspard de Prony's celebrated book of 1796 (de Prony, 1976: II, 550-575). However, he bounded himself to merely describe how the "expansive force" of a gas works within a machine (without paying attention to the machine working). Then the above Hachette's book on machines exploited the idea of "the elastic force" of a gas for calculating in an algebraic way the work produced by a heat machine (Grattan-Guinness, 1990: 1097). For first time physicists theorized also on gases[2], which was the traditional subject of study by chemists (Notice that Robert Boyle and Joseph-Louis Gay-Lussac were chemists). In 1818 Claude-Louis Navier recalled L. Carnot's conservation of ener-

gy, but this fact did not receive much attention. The improvements of the military technology always attracted the attention of scientists; in 1819 the second edition of Hachette's book devoted a section to review two scientific papers describing the new steam guns (Hachette, 1819: 315-316).

Third intellectual step

The attitude of French scholars of that time was to exploit infinitesimal analysis, whose intellectual power was mythical and whose results were marvelous. They wanted to compute the power of a heat engine as a typical problem of this mathematical technique; a maximum (in power). Reviews of few pages on these contributions may be found in (Grattan-Guinness, 1990: 16.5.5.6; Gillispie and Pisano, 2013: VI). In 1818 Alexis Thérèse Petit, although first applying Leibniz-L. Carnot's conservation of kinetic energy, suggested through the infinitesimal analysis a calculation of the kinetic energy mv^2 of the motion of the piston (Petit, 1818: 292). A scholar wrote: «This result is ludicrous and the main source of error is that Petit only considers the outward stroke of the piston and does not deal with a complete cycle of operations…. Here and again there is the same failure to use a cycle of operations. Petit had calculated the efficiency of an engine from the work done on the outward stroke only; so did Clément» (Mendoza, 1959: 394-395).

Another scholar remarked: «Petit, along with virtually all his contemporaries (Carnot is the only exception), had considered the work done in the expansion stroke and not the work done in a complete cycle of operations» (Fox, 1971: 179).

Some scientists (e.g. Nicolas Clément) reiterated such formulas on the outward stroke, without taking in account of Watt's expansion of the gas. In fact, de Prony, Hachette, Coriolis, Navier and others, all they calculated the "expansive force" of a gas moving a piston in a cylinder – i.e. according to a theoretical scheme suitable for a cannon rather than for a complex heat engine. The calculations by Hachette and Poisson are quoted also by (Scott, 1970: 224). As a consequence, all the above scholars considered only one phase of this behavior. In his book of 1829 Jean-Victor Poncelet's considered just explosions (Poncelet, 1829: 172-198). As Fox put it, it was an «inveterate habit of considering only the motive power produced during the push phase of the piston towards the outside» (Fox, 1978: xxxvii); only Clément was an exception, but not always. See also: «the quantity of [the produced] action was the leading notion», so that «Navier's view of the behavior of elastic fluid at moment of sudden expansion was naïve» (Grattan-Guinness, 1990: 2, 1101).

However, a more attentive inspection of Petit's paper shows that he did not claim to apply his theory to heat engines: «… je ne pretend de déduire du rapprochement que je viens de faire aucune conséquence relative au meilleur moyen d'employer l'action de la chaleur comme force motrice,...» (Petit, 1818: 294), apart Niepce's engine which works as an extension of a cannon by means of une sorte d'éxplosion

(Petit, 1818: 294-295). Rather, he claims to have solved «le problème du mouvement d'un projectile dans une bouche à feu; [les équations précédentes] font connaître la vitesse du boulet et celle du recul, et permettent de déterminer l'étendue de la charge qui produit le maximum d'effet» (Petit, 1818: 296).

Hence, Petit's calculus and those of the following scholars wanted to approach the theory of heat engines by starting from the theory of cannons. Instead L. Carnot had discussed the maximum efficiency in the case of the hydraulic machines (Carnot L., 1783: LVIII-LXI) and S. Carnot did the same by means of an analogy between a heat engine with a hydraulic wheel (Carnot S., 1824: 28). This point marks a great distance between S. Carnot and the contemporary and next theorists of heat engines.

Fourth intellectual step

It is marked by the introduction of the idea of a cycle of operation, which is at divergence with both the infinitesimal analysis and the military technology. It born in L. Carnot when he wrote about the machines including strings (Carnot L., 1783: LXII-LXIII) and it was assumed by Sadi Carnot not before his book of 1824 (Gillispie and Pisano, 2013: 45).

The birth of thermodynamics as resulting from crucial notions belonging to civil society

Let us now turn the attention on S. Carnot. He was a pupil of the École *Polytéchnique* - which Napoléon had militarized. In 1814 he bravely fought for defending France from the attack of the united monarchist Armies. Afterwards he was a military career officer; yet after few years he retired. He devoted two years to collect knowledge for writing his booklet on the theory of heat machines. Remarkably, S. Carnot wrote a paper before his celebrated book (Drago and Vitiello, 1987). In this paper he developed a theory through the common attitude of applying infinitesimal analysis and moreover by computing the power of a stroke of a heat engine, yet together with two other phases, the expansion and the recovery; the last phase was (mistakenly) considered as completed when the piston comes back to the initial position. His conclusion stated that his results apply to *tous les appareils*, also those lacking a piston (Gabbey and Herivel, 1966: 21), hence cannons too.

Instead, in the subsequent book (Carnot S., 1824) his attitude radically changed. According to the historian Charles Gillispie he received the suggestion of studying heat engines from his father (Gillispie and Pisano, 2013: v). As Gillispie wisely remarked, the scientific relationship between the thermodynamic theorist S. Carnot and the mechanics' theorist L. Carnot is that of a filiation (Gillispie, 1971: IVD; Gillispie and Pisano, 2013). He starts the book by exalting the heat as a principle of motion in the entire universe; this point of view is opposite to Newton's view of the gravitational force (conceived as emanating from the authority of God) as the cause

of all kinds of motion, even between molecules. Remarkably, in the first pages of this booklet he compares a major civil activity with a major military activity of the most advanced nation of his time, England: he stated that nothing is worst for a Nation than the civil catastrophe of an energy crisis also in comparison with a military catastrophe as the destruction of its Navy: «Enlever aujourd'hui à l'Angleterre ses machines à vapeur, ce serait lui ôter à la fois la houille et le fer; ce serait tarir toutes ses sources de richesses, ruiner tous ses moyens de prospérité; ce serait anéantir cette puissance colossale. La destruction de sa marine, qu'elle regarde comme son plus ferme appui, lui serait peut-être moins funeste» (Carnot, 1824: 4).

Then he attributed to the progress of heat engines great social changes: he foresees the starting of a new historical era as determined by the employment of heat engines within civil society: «La navigation due aux machines à feu rapproche en quelque sorte les unes des autres les nations les plus lointaines. Elle tend à réunir entre eux les peuples de la terre comme s'ils habitaient tous une même contrée» (Carnot, 1824: 4).

It is clear that, by putting aside the military aspects of his subject of study, his choice is for a civil progress: «Le phénomène de la production du mouvement par la chaleur n'a pas été considéré sous un point de vue assez général. On l'a considéré seulement dans des machines dont la nature et le mode d'action ne lui permettaient pas de prendre toute l'étendue dont il est susceptible. Dans de pareilles machines le phénomène se trouve en quelque sorte tronqué, incomplet; il devient difficile de reconnaître ses principes et d'étudier ses lois» (Carnot, 1824: 7).

Surely the idea in Carnot's mind is the cycle; yet, it is not hazardous to think that here he thought that he discarded the study of heat engines as cannon-like machines; the word *tronqué* seems the best one for alluding to the cannon's working. Rather, he wants to widen the field of research to the whole generality: «Pour envisager dans toute sa généralité le principe de la production du mouvement par la chaleur, il faut le concevoir indépendamment d'aucun mécanisme, d'aucun agent particulier; il faut établir des raisonnements applicables, non seulement aux machines à vapeur (1), mais à toute machine à feu imaginable, quelle que soit la substance mise en œuvre et quelle que soit la manière dont on agisse sur elle (Fn.: Nous distinguons ici la machine à vapeur de la machine à feu en général: celle-ci peut faire usage d'un agent quelconque, de la vapeur d'eau ou de tout autre, pur réaliser la puissance motrice de la chaleur)» (Carnot, 1824: 8).

Next he states his principle: «La production de la puissance motrice est donc due, dans les machines à vapeur, non à une consommation réelle du calorique, mais à son transport d'un corps chaud à un corps froid…» (Carnot S., 1824: 10).

Whereas the common habit was to compute the pressure of the engine - because a general methodological principle was to consider pressures for the percussions, like those of cannon - S. Carnot's focus was on the temperatures. Here cannons are at all oblivied.

About his treatment of heat engines, let us remark that his arguments did not apply infinitesimal analysis. He submitted to his brother the manuscript for assuring himself that it was comprehensible to also scholars of other subjects (Carnot S., 1824: 76). Only in fn. 18 he introduced a calculus for summarizing in a highly abstract way the entire theory; yet it was unsuccessful and however Sadi wrote that his way to apply calculus was as father's, whose specific book was celebrated for having reduced the infinitesimal analysis to an operative mathematical calculus (Carnot L., 1813).

It is remarkable that scholars of the history of thermodynamics recognized the origins of Carnot's theory in the last four notions: maximum of efficiency, reversibility of operations, state of the system, cycle of operations (Kuhn, 1961; Takayama, 1979: 106). They, together with the notions of work and impossibility of a perpetual mobile were already present in L. Carnot's theory of mechanics; all these notions were devoted to only civil applications.

Among these notions, the last one, the cycle, has to be stressed. Likewise to L. Carnot's disclaim of the chimera of an infinite power of machines, a bound to the efficiency of steam engines was established (in mathematical terms) by S. Carnot. It was the first time that theoretical physics met a limitation (established in mathematical terms) to its dream of omniscience in the last 31 Queries of (Newton, 1704) and, through the technological applications, omnipotence. This point has suggested to Meyerson to qualify the resulting theory as "a defeat of the [mechanicistic] Reason" which was addressed to ever more powerful goals (Meyerson, 1904). Moreover, one has to stress the crucial role played in both L. Carnot's mechanics and L. Carnot's strategy by two notions: reversibility – strategist Sébastien Vauban's old motto "displacements by insensible degrees" and even more back Leibniz' suggestion of the principle of continuity – and the impossibility of a perpetual mobile; without these notions, essentially two limitations, S. Carnot would have to been unable to start the theory. These notions do not belong to the mythology of the conduction of a powerful Army, rather the thinking of a complex civil society.

Hence, S. Carnot's theory introduced the typical notion of civil engineering, i.e. a cycle, which, more than other notions, severs the reflections on civil engines from those on cannons. In fact, the theorizing on a cycle represents to make attention not to a disrupting destruction, but a restoration of the initial conditions of global situation; in other words, it underlines the idea of preservation in time, while the explosion power of cannon underlines the idea of an irretrivial and irrevocable event.

It is remarkable that the book shows that S. Carnot achieved this notion in a gradual way, by passing from some incomplete cycles to the final, adequate notion of cycle (Della Selva and Drago, 1991). It is remarkable also that after having theorized on steam machines, the last cycle represents an air machine. Hence, only air, which is a typical material of civil activities, led him to close the cycle.

Even more surprising is his kind of decisive argument, a *reductio ad absurdum*, which in the subject of concrete machines was the last thing to be expected. Since in classical logic each proof of this kind can be reverted into a direct proof, but Carnot's proof cannot, this fact shows that he made use of non-classical logic, the intuitionist one (Grize, 1970). This change in logic implies a change in the organization of the theory: a problem-based organization instead of a theory deduced from few principles (Drago and Pisano, 2004).

In such a way he obtained an ideal model of heat engine. Yet, not an idealistic model derived from *a prori* ideas, but a model extracted from the technological features of the heat engines; and however, it is so general that it may be applied to whatsoever heat engine for computing much more than the first-order efficiency (that is, according to the conservation of energy), but the second-order efficiency, which is obtained by comparing the given heat engine with the ideal heat engine (determined by the reversible working between two given different temperatures). No similar idea could be generated by thinking a cannon.

In sum, a retired officer of French Army, Sadi Carnot, contrarily to his colleagues of École *Polytéchnique*, took in account nothing of the military weapons and infinitesimal analysis. His attitude represents a very conversion of the thinking on technology from a destructive military thinking to a propositive civil one, form the mythical infinitesimal analysis to operational calculus and from Newton's idealized basic notions to experimental notions. One may trace back this conversion to L. Carnot, not only in scientific matters but also in the military strategy aimed to privilege civil society with respect to military plans. This is the same attitude then leading S. Carnot to promoting heat technology to empower civil society by means of steam engines, not to destabilizing it by means of cannons.

As a matter of fact, the booklet resulted as incomprehensible by even the friends of S. Carnot (Robelin, 1832). His change of thinking attitude with respect to the military thinking attitude maybe was a major reason for the long oblivion (25 years) of his booklet.

This long story had an end when in 1850 both Clausius and Kelvin introduced the first law of thermodynamics. It decisively obliged theoretical physicists to accept conservation of energy in theoretical mechanics too, at the cost of abandoning Newton's suggestion of a perfectly hard body, for rather assuming inside the entire theoretical physics the ideal model of an elastic body and treating gases as a subject study of theoretical physics on the same part of the study of solids and liquids (Scott, 1970). No trace of military technology remained.

Two historiographic conclusions

All the above shows that incorrectly historians of theoretical science have excluded technology from the reconstruction of the genesis of physical theories: technology

was greatly relevant in the process of construction of thermodynamics as a theoretical science. Rightly it was claimed that: «The steam engines did much more for science than science ever did for steam engines» (Koenig, 1959: 63). In particular, also military technology is commonly ignored by the historians of theoretical physics, apparently for decency' sake. But in the above we saw that the events in military technology have been relevant for the birth of that theory and that there exist conversions of military technology into improvements of both civil society and even theoretical science. Such conversions constitute historical lessons of a great ethical relevance in the history of science. The above illustrated case of the birth of thermodynamics by S. Carnot appears the most relevant one.

A second remark is of historiographic nature. A first historical interpretation was to see his contribution by means of a mythical category: a genius (although he was wrong about caloric theory) (Challey, 1971; Grattan-Guinness, 1990: 16.5.7). A second interpretation took into account the history of the influence of technology on the theory building in physics. However, its results did not give historical justification for the emergence of some crucial thermodynamics notions (reversibility, state, cycle) (Fox, 1988) on which instead the theory relies.

In present paper I followed Gillispie's category of a strong link of parentage between S. Carnot's ideas and L. Carnot's. My thesis is similar to Koyré's: some ideas played a decisive role. Yet, it does not correspond to the content of his thesis; the thermodynamic ideas were of a not idealistic nature, as in Koyré's case (e.g., absolute nature of Decartes' and Newton's ideas, infinitesimal analysis); rather, they have been generated by reflections on technology and, in particular, on civil technology instead of military technology. E.g. it was not the notion of an unbounded infinity that S. Carnot introduced, because thermodynamics originated without making use of the notion of actual infinity; instead, thermodynamics originated by introducing a limitation (mainly, an upper bound on the efficiency of the transformation of heat in work), a notion which corresponds to a very different philosophy from Newton's.

All that gives reason of the great difficulty historians of thermodynamics met in interpreting the birth of this theory: it requires new historiographic categories, which are at variance with those of an historiographic attitude which is suitable for interpreting the precedent Newton's mechanics. By reflecting on the birth of thermodynamics I discovered two dichotomic variables, one representing the kind of infinity, actual or potential, and another representing the kind of organization of the theory, either the deductive one or a problem-based one. S. Carnot thermodynamics results to be based on the latter choices on these two dimensions (the same holds true for L. Carnot's mechanics), whereas Newton mechanics on the former choices. This divergence implies an incommensurability, which generates radical variations in meanings of the basic shared notions (Drago, 2017).

Actually, in the above I have illustrated an incommensurability, materialized through:
- different kinds of theories (both L. Carnot's and S. Carnot's vs. Newton's),
- and also different kinds of technologies (civil technology: globality of a machines as an instance of an organization as a whole, limitation in the efficiency as an instance of potential infinity) vs. the military technology (a system conceived as deterministic relationships of cause-and-effect, cannon as aimed to hit a target at almost infinity)
- and so much radical variations in the meanings of the basic notions to disappear in some case: e.g. the notions reversibility, cycle, impossibility of perpetual motion, all ignored by Newton's mechanics.

In sum in the above the incommensurability was illustrated in theoretical terms, in scientific terms, and in cultural terms.

References

Angelillo E., Drago A. 1997. Un nuovo metodo di interpretazione delle strategie. In: *Peacekeeping and Peacebuilding* (A. Drago Ed.), 237-250. Sulmona: Qualevita.

Arago F. 1854. Éloge de Lazare Carnot. In: *Oeuvres complètes*, 511-638. Paris: Gide et Baudry.

Bernal J.D. 1973. *The Social Function of Science*. Cambridge: MIT.

Carnot L. 1783. *Essai sur les machines en général*. Dijon: Defay (Italian translation and critical edition by S.D. Manno and A. Drago. 1994. Napoli: CUEN).

Carnot L. 1813. *Réflexions sur la métaphysique du calcul infinitésimal*. Paris: Courcier.

Carnot S. 1824. *Réflexions sur la puissance motrice du feu.* Paris: Bachelier (English translation by E. Mendoza. 1960. New York: Dover; Italian translation by B. Iannamorelli. 1997. Napoli: CUEN; critical edition by Fox R. 1978. Paris: Vrin).

Challey F. 1971. Sadi Carnot. In: *Dictionary of Scientific Biography* (C.C. Gillispie Ed.). 3, 79-84. New York: Scribner.

Charnay J.-P. (Ed.). 1984. *Lazare Carnot. Révolution et Mathématique*. Paris: La Herne.

de Prony G. 1796. *Nouvelle Architecture Hydraulique*. Paris: Firmin Didot.

Della Selva A., Drago A. 1991. The introduction of the Cycle Method in Thermodynamics. In: *Thermodynamics: History and Philosophy. Facts, Trend, Debates* (K. Martinas, L. Ropolyi, P. Szegedi Eds.). 36-41. Singapore: World Scientific.

Dickinson H.W. 1978. The Steam-Engine to 1830. In: *A History of Technology* (C.E. Singer Ed.). II, 6, 168-197. Oxford: Oxford U.P.

Drago A. 1988. A Characterization of Newtonian Paradigm. In: *Newton's Scientific and Philosophical Legacy* (P.B. Scheurer and G. Debrock Eds.). 239-252. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.

Drago A. 1990a, Mécanique et défense dans la pensée de Lazare Carnot. In: *Lazare Carnot ou le savant-citoyen* (J.-P. Charnay Ed.). 557-576. Paris: Presses de l'Université de Paris-Sorbonne.

Drago A. 1990b. Le lien entre mathématique et physique dans la mécanique de Lazare Carnot. In: *Lazare Carnot ou le savant-citoyen* (J.P. Charnay Ed.). 501-515. Paris: Presses de l'Université de Paris-Sorbonne.

Drago A. 2004. A new appraisal of old formulations of mechanics, American Journal of

Physics, 72(3), 407-9.
Drago A. 2017. *Dalla Storia della Fisica ai Fondamenti della Scienza*, Roma: Aracne (English-translation in https://antoninodrago.com/).
Drago A., Vitiello O. 1987. Sulla datazione del manoscritto inedito di Sadi Carnot. Rivista di Storia della Scienza, 4, 61-72.
Drago A., Pisano R. 2004. Interpretation and reconstruction of the Réflexions by Sadi Carnot through non-classical logic. Atti della Fondazione Ronchi, 59, 615-644.
Fox R. 1971. *The caloric Theory of gases*. Oxford: Oxford University Press.
Fox R. 1978. Introduction. In: Carnot S. 1824. *Réflexions sur la puissance motrice du feu.* Critical edition, vii-liv. Paris: Vrin.
Fox R. 1988. Les Réflexions sur la puissance motrice du feu de Sadi Carnot et la leçon de leur édition critique. La Vie des Sciences, Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 5(4), 283-301.
Gabbey A.W., Herivel J.W. 1966. Un manuscrit inédit de Sadi Carnot. Revue d'histoire des sciences et de leurs applications, 19(2), 151-166.
Gillispie C.C. 1971. *Lazare Carnot Savant*. Princeton: Princeton University Press.
Gillispie C.C., Pisano R. 2013. *Lazare and Sadi Carnot. A Scientific and Filial Relationship*. Berlin: Springer.
Grattan-Guinnes I. 1990. *Convolutions in French Mathematics. 1800-1840*. Basel: Birkhauser.
Grize J.-B. 1970. Logique. In: *Logique et connaissance scientifique* (J. Piaget Ed.). 206-210. Paris: Gallimard.
Hachette J.N.P. 1811. *Traité élémentaire des machines*. Paris : Klosterman.
Klemm F. 1959. *Storia della tecnica.* Milano: Feltrinelli.
Koenig F.O. 1959. On the history of science and the second law of thermodynamics. In: *Men and Moments in History of Science* (H.M. Evans Ed.). 57-11. Washington: Washington University Press.
Kuhn T.S. 1958. The caloric theory of the adiabatic compression. ISIS, 49, 131-140.
Kuhn T.S. 1959. Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery. In: *Critical Problems in History of Science* (M. Clagett Ed.). 321-356. Madison: University of Wisconsin Press.
Kuhn T.S. 1961. Sadi Carnot an the Cagnard Engine. ISIS, 52, 567-573.
Mendoza E. 1959. Contributions to the study of Sadi Carnot and his work. Archives of Historical Sciences, 12, 377-396.
Meyerson É. 1904. *Identité et Réalité.* Paris: Alcan.
Newton I. 1704. *Optiks*, London: Printed for Sam. Smith, and Benj. Walford.
Petit A.T. 1818. Memoire pour l'emploi du principe des forces vives dans le calcul des machines. Annales de Mathématique et Physique, 8, 287-305.
Poncelet V. 1829. *Cours de Mécanique Industrielle*. Paris: Cluet.
Reinhard M. 1950-51. *Le grand Carnot*. Paris: Hachette.
Robelin L.P. 1832. Notice sur Sadi. Revue Encyclopédique, 55, 528-530.
Robison J.1797. Steam-engine. In: *Encyclopedia Britannica*, xvii. 765-766.
Scott W. L. 1970. *The Conflict between Atomism and Conservation Theory. 1644-1860*. New York: Elsevier.
Takayama S. 1979. Development of the Theory of steam engines. Japanese Studies in History of Science, 18, 101-116.
White L. Jr. 1967. *Tecnica e società nel medioevo.* Milano: Il Saggiatore.

Notes

1. For example, in 1798 Benjamin Thomson discovered by the boring of cannons that heat cannot be caloric, but motion of particles. However, neither he nor others calculated the heat equivalent quantity of work and his discovery was little influent on the scholars of that time.
2. Actually a first astonishing result on gases was in 1802 Laplace's correction of Newton's calculation of the speed of sound (by changing, said in modern terms, the kind of thermodynamic transformation considered: rather than an isothermal one an adiabatic one).

Marco Ceccarelli

Paolo Frisi with contributions to modern Mechanics

Paolo Frisi ed i suoi contributi per la moderna Meccanica

Sommario
Paolo Frisi (1728 - 1784), priest of the Barnabites order, also known in his time as the Italian D'Alembert, was a professor at the University of Pisa with notable contributions to the mechanics of the rigid body, especially from a theoretical point of view up to give feedbacks and practical applications in subsequent works especially by his students. During his academic career he has also been worked in civil engineering for the arrangement of canals and rivers with consultancy and innovative solutions that have been reported in textbooks of considerable interest for more than a century. In this work, his figure and his contributions are presented with a renewed interest in the historical analysis of the development of Italian engineering and mechanics, also considering his impact and influence at international and European levels.

Sommario
Paolo Frisi (1728 - 1784), dell'ordine dei Barnabiti, conosciuto a suo tempo anche come il D'Alembert italiano, fu professore all'Università di Pisa con notevoli contributi alla meccanica del corpo rigido, soprattutto dal punto di vista teorico, fino a dare soluzioni e applicazioni pratiche in lavori successivi soprattutto da parte dei suoi allievi. Nel corso della sua carriera accademica si è occupato anche di ingegneria civile per la sistemazione di canali e fiumi con consulenze e soluzioni innovative che per oltre un secolo sono state riportate in testi di notevole interesse. In quest'opera la sua figura e i suoi contributi sono presentati con rinnovato interesse per l'analisi storica dello sviluppo dell'ingegneria e della meccanica italiana, considerando anche il suo impatto e la sua influenza a livello internazionale ed europeo.

Introduction
Paolo Frisi's work is known in the history of science, especially in Italian contexts (Marcolongo, 1906) because of his contributions with a value recognized also in his

time in international terms, mentioned moreover at the level of the history of mathematics. However, the specific international literature on the history of rigid body mechanics very rarely mentions the contributions of Paolo Frisi and even his role in the development of mechanics and very often is even ignored, as for example in encyclopedic works such as (Singer et al., 2020; Capocaccia, 1972). In particular, in specific texts and papers on screw theory and its history, especially in modern ones, the name of Paolo Frisi and his contributions to the mechanics of the rigid body are completely ignored, as for example in (Ball 1876; Bottema and Roth 1980; Cayley 1891; Cheng and Gupta 1988; Davidson and Hunt 2004; Dimeterberg 1965; Duffy 1999; Hunt 1979; Phillips 1984).

This article aims to present a synthesis of these fundamental contributions to the development of theoretical mechanics with the aim of refreshing attention not only on the work of Paolo Frisi but on the activities of the Italians in that period such as with publications on Mozzi, his student (Mozzi, 1763; Ceccarelli, 2000), to recognize the intellectual paternity of the conceptualization of helical motion with mathematical treatments that later found modern formulations also for application fields, especially in the fields of multi-body systems and robotics, as in (Ball, 1876), but without any mention of the Italian contributions and especially of Frisi and Mozzi.

This paper presents the figure of Paolo Frisi with his academic experiences referring to his most important works in the field of rigid body motion mechanics and with attention to the application field relating to civil hydraulic engineering, also with the aim of to refresh the attention on the activities of Italians in the periods preceding and initializing the Industrial Revolution as a theoretical and technical basis for developments in modern mechanical engineering.

Biographical Notes

Paolo Frisi, Fig.1, has been called the Italian D'Alembert for his activity in not only academic but also social and political fields, ranging with contributions in philosophical and literature fields as well as in theoretical and applied research activities with professional consulting experiences in various fields engineering, not only mechanical, as also due to his academic positions permitting him an attitude with a modern dynamism that has seen him to travel and share problems and results throughout Europe, although being mainly located in northern Italy.

These biographical notes are based on the references (Baldini, 1958; De Tipaldo, 1837; Verri, 1825; Zobi, 1850).

Paolo Frisi (born with name Giuseppe), second child of the eight children of Giovanni Mattia Frisi and Francesca Magnetti, was born in Melegnano, near Milan, on 13 April 1728.

The paternal grandfather Antonio, a native of Strasbourg (the original form of the surname is unknown), had arrived in Lombardy as a soldier in the Habsburg

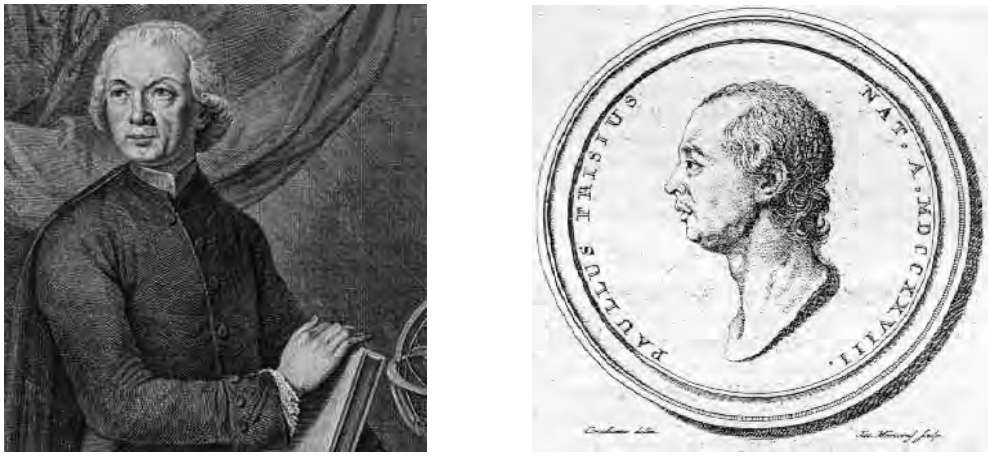


Fig. 1 - Portrait of Paolo Frisi (on the left) (Mondadori Archive of the magazine "Il Caffè), *from the title page of* (Frisi, 1765) *(on the right).*

army. The father worked in public procurement, providing the family with a certain comfort. When the father died prematurely, leaving the family in financial difficulties, the widow managed to initiate her children to study. In 1743, Paolo decided to join the Barnabites very likely for a life of study free from material needs, and on 11 July he was admitted to the novitiate of S. Maria in Carrobiolo in Monza. He took vows on 15 October 1744 and returned to S. Alessandro to study literature and philosophy in Italian and Latin. At the end of the philosophical course, he continued his mathematical studies alone. Between 1747 and 1749 he studied theology in the Pavia school of the Barnabites Order. During this period, he studies mathematics and physics even looking at Newton's Principia. After completing his theological studies in January 1750, he was sent to teach philosophy in the college of S. Giovanni delle Vigne in Lodi, where he remained for almost two years. In February 1751 he was ordained a priest. The first physical-mathematical work dates back to Lodi, as the *Disquisitio mathematica in causam physicam Figurae et magnitudinis telluris nostrae* (Milan, 1751). The censors of the Order denied permission to print it because, as General A. Viarigi of Roas wrote to him in August 1750, Frise asserted heliocentrism in this work. His brother Antonio then presented the *Disquisitio* to the count Silva, his protector and educated man, who offered to finance the printing as a start of a solid friendship even with cultural interactions. Since the work was going to be printed without the permission of the Order, Viarigi sent him a warning that however he did not prevent publication. Frisi disseminated the *Disquisitio* in Italy and abroad so that in 1752 it was reviewed and presented in several journals and collections.

In 1753, simultaneously with the second scientific publication – and the first in pure mathematics – *De methodo fluxionum geometricarum et eius usu in investigandis praecipuis curvarum affectionibus* (Milan 1753), Frisi was accepted as correspondent member of the *French Académie des sciences*. After asking for a new position, in 1751 he asked to be sent to the seminary of Bologna, where he was already known to the scientists of the university. In November, he was appointed in the chair of ethics in the royal college of Casale Monferrato, where perhaps he taught general philosophy too. In June 1752, the Chair of the Order asked Frisi to a more regulated life his "lack of religiosity". He continued his studies alone, while establishing contacts with other scientists and people for disseminating his own work. He also began to participate in competitions, such as sending in 1755 a dissertation to the Petersburg for a prize on the theory of electricity. But the dissertation was never published although considered the best work in the competition and not awarded because Frisi in attempting to be associated with the Academy, violated the rules by signing the text. Nevertheless, he was associated in the Academy but dissertation was printed with those of the winner J.A. Euler and L. Beraud - J.A. Euler, *Disquisitio de causa physica electricitatis una cum aliis duabus dissertationibus de eodem argumento* (Petropoli 1755). Then, in 1757 the Royal Society, after having asked him evaluation of works, admitted him as a fellow. Still in 1756 he won the Berlin Academy prize on the theory of the earth's rotation with *Dissertation sur le mouvement diurne de la terre* (Berlin 1756), and the Academy appointed him as a foreign ordinary member.

Still his nonconformity character cause him troubles within the order and therefore he continued to look for a university chair which he obtained thanks to the supervisor of the Pisa studio, G. Cerati (whom he met in Milan) and the Tuscan minister, D.-E. de Richecourt. for the teaching of metaphysics and ethics. In 1755 Frisi printed in Lugano an essay on moral philosophy and *De existentia* covering the topics of those two disciplines. In February 1756 he was in Pisa and from 1758, he got the positions for teaching algebra as substituting the previous chair nominated in higher position. From 1761 he took over, leaving the two philosophical professorships. Thus, as reputed teacher (in 1763 he was ascribed to the Physiocritics of Siena, and upon his return to Milan the Tuscan government decreed that his name remain in the roles of the Pisan University), he was visited by foreigners passing through Pisa.

Previously, in the competition of the Paris Academy for 1758 he claimed the existence of atmospheres in the planets, and his dissertation *De atmosphaera caelestium corporum dissertatio physico-mathematica* was awarded. Between June and the autumn of 1760, he visited Rome and Naples. The pope Clement XIII asked him for an opinion on the situation of the river Reno, which has been the subject of writings and consultancies by experts since the seventeenth century. Frisi addressed attention to the topic, although not related to his previous studies, and he soon got relevant expertise so that in 1760 he made plans of works to free and secure the regions of

Bologna, Ferrara, Ravenna, Rome from the waters. This was a start of a hydraulic consultancy activity practiced almost until his death. In this activity he was also involved in disputes among Bologna and cities at the Po river delta considering that the introduction of the Reno river into it would raise the delta branches. Frisi proposed a modification of an original plan by Manfredi to hive the Reno after Bologna along a previously proposed line, to then enter it in the so-called Benedictine Cable, extended up to a branch of the Po. He published those works and their results in Lucca in 1762 in the book *Of the way to regulate rivers, and streams, mainly of the Bolognese, and Romagna*, whose a synthesis was later printed a French edition (Paris 1774) and four other English editions until 1872. For this work Bologna city senate appointed him honorary lecturer in mathematics at the university in 1764.

In 1763 Frisi got the position of chair of mathematics in the Palatine Schools of Milan, simultaneously with Boscovich' moving to Pavia. In April 1764 he returned to Milan at the Longone Imperial College, entrusted to the Barnabites. In 1768 the Habsburg government, reforming higher education, started a course for architects and engineers in the school, transferring Boscovich to teach specialized disciplines and assigning basic mathematics to Frisi. But just later, using his contacts, he got the position for a chair of mechanics, hydrometry and theoretical architecture. In 1770, at the inauguration of the new course, he presented yet the philosophy faculty. Meanwhile Frisi was involved in government matters for a scientific plan on the Regulations of the College of Engineers, and Architects, with a decisive reform in December 1771. As per his teaching the statics of buildings in the second part of the textbook *Institutions of mechanics, hydrostatics, hydrometry and static architecture, and hydraulics* (Milan 1777), was already considered not relevant to contemporaries.

In March 1766, he was appointed censor to the press with a mandate "for the clergyman" after a consideration as a "modern" religious with a wide culture and orientation, although the service far from his expertise, and source of increased some hostility against him.

He spent a long period in 1776-77 with a trip to France and England, meeting several scientists of difference discipline with whom he had and will have later a long correspondence. Meanwhile he prepared the *De gravitate universali corporum* (Milan 1768), preceded in 1767 by three articles on mechanics in the Commentaries of the Bologna Institute. In July 1768 he went to in Vienna to present to Joseph II the *De gravitate*, dedicated to him. This trip was also a success since he had discussions with the emperor Joseph II not only about but even on Church-State relations (the controversy on the In Coena Domini bull was underway). In 1776 thanks also to those contacts he was elected member of the Patriotic Society of Milan.

His scientific reputation seemed to grow with the level of the dedicatees of his works and foreign relations, prizes and the diffusion of the works seemed to place him at the top of Italian mathematics. But after 1770 his reputation was slight re-

duced as per environmental limits and his religious status, and undisputed scientific authority, also after several disputes with several scientists both in Italy and abroad, including D'Alembert.

Frisi worked specific attention to the consideration of previous works mainly by elaborating Elogi (in English, Praises), as survey treatises on the life and contributions of late scientists, summarizing biographical and environmental reconstruction, analysis of the works and historical, ethical or epistemological generalizations, placing the scientific work of the individual in relation to the previous state of the discipline and to the historical-cultural situation. The most famous and significant ones are those on Galilei, Newton, Cavalieri, and D'Alembert (Frisi, 1786). Those works were influent in defining the Italian modules of the genre and certain evaluation schemes on personalities, periods and aspects of Italian scientific history.

Before and after his trips to Paris and Vienna, Frisi carried out a significant activity of consultancy in the field of hydraulic engineering. In 1765 he was consulted on the Modena-Pistoia road; in 1770 and years later he was in Trentino for water regulation from the Fersina small river; in 1772 he examined an aqueduct project for Genoa; from 1772 to 1775 he worked on the Kaunitz (an Austrian minister) idea of a waterway system in northern Italy, linking the Tyrrhenian to the Adriatic seas. In this period, he proposed a river port in Cremona; he studied a canalization of the Adda, a Milan-Pavia waterway and the development of the Naviglio di Milano. In addition, he worked also to other topics like for example In 1776 he designed and installed a lightning rod in a Milanese public building and reported this in a specific treatise published the same year.

Meanwhile, in 1773, the Jesuits were suppressed, and the Palatine schools became the royal school transferred to the former boarding school of the *Compagnia in Brera*, far from the residence of Frisi, who asked for the authorization of residing in the family, which implied secularization. The thing does not it was popular in ecclesiastical circles and, only in 1776, after an intervention by Kaunitz, Pius VI granted him the secular state as long as it was public teacher. He lived with his mother, three brothers and a sister with again economic problems.

In August 1778, Frisi made a third trip abroad, going to Switzerland visiting several scientists yet. In the following 1779 he suffered from nervous disorders between May and August, but later he reduced his activities and attention to society issues.

In 1781 in Milan, Frisi published *Opuscoli Filosofici*, summarizing also texts already published, with revision after the disputes over the previous years. From 1782 he printed a collection of his major scientific works, revised and expanded, with the addition of new writings: *Operum tomus primus, algebram et geometriam analyticam continens* (Milan 1782) *Operum tomus secundus, mechanicam universam et mechanicae applicationem ad aquarum ... theoriam continens*,(Milan 1783); *Operum tomus tertius, cosmographiam physicam et mathematicam continens* (Mi-

lan 1785), posthumously; a fourth volume, intended for praise, was not published. In 1783 the Petersburg academy awarded his dissertation on the uniformity of the earth's rotation.

In 1783 Frisi was visited by Vittorio Alfieri, who entrusted him with the diffusion in Milan of the second volume of his tragedies giving him letters of introduction for Paris cultural circles. In May 1784 his notoriety was sanctioned by an interview with Gustavo III of Sweden who visited him in Milan. In the summer, his health get worst and he was suggested to rest home but he suffered more until his death.

Paolo Frisi died in Milan on 22 November 1784 and the Barnabites wanted him buried in S. Alessandro.

His figure is still recognized today as to have named several schools with his name as for example Paolo Frisi State Scientific High School in the city of Monza, Paolo Frisi Comprehensive Institute in Melegnano (Milan) and Paolo Frisi Higher Secondary Education Institute in Milan.

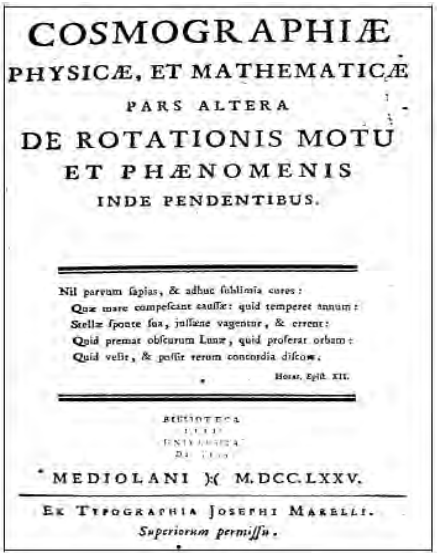
Main works

Paolo Frisi has addressed a wide variety of topics in different areas in the fields of humanistic, social, and technical culture. In this work his contributions are examined from a technical point of view, also due to space limits, and mainly in the engineering area related to mechanics and therefore the works that will be examined are:

- *Cosmographiae Physicae, et Mathematicae* (Frisi, 1765), in Fig. 2a);
- *De gravitate universali corporum* (Frisi, 1768a), in Fig. 2b);
- *Del Modo di Regolare i Fiumi, e i Torrenti* (Frisi, 1768b), in Fig. 3a);.
- *Instituzioni di Meccanica, d'Idrostatica, d'Idrometria e dell'Architettura Statica, e Idraulica* (Frisi, 1777), in Fig. 3b).

The books of *Cosmographiae* and *De gravitate*, address the problems and the formulation of the mechanics of rigid body essentially linked to the motion of the planets as a topic of particular interest in that period as well as documented by pioneering and fundamental works by Euler, (Euler, 1736; 1760) and D'Alembert (D'Alembert, 1749; 1796) to which Frisi refers and from which he finds inspiration for his original deductions. In reality his two texts also collect his various works which over time he has presented to the various awards competitions s indicated in the biographical notes. Frisi's most significant contribution to mechanics and mechanical engineering refers to these two works as a synthesis of his research on the mechanics of the rigid body and in particular on the general kinematics of motion, as also highlighted in (Marcolongo, 1906).

The book on the Way to regulate rivers, Fig. 3a), reports the synthesis of his consulting experiences in addressing the problems of hydraulic engineering related to the arrangement of rivers, as also documented in (Frisi, 1761; 1770). This book


COSMOGRAPHIÆ
PHYSICÆ, ET MATHEMATICÆ
PARS ALTERA
DE ROTATIONIS MOTU
ET PHÆNOMENIS
INDE PENDENTIBUS.

Nil parvum sapias, & adhuc sublimia cures:
Quæ mare compescant causlæ: quid temperet annum:
Stellæ sponte sua, jussæne vagentur, & errent:
Quid premat obscurum Lunæ, quid proferat orbem:
Quid velit, & possit rerum concordia discors.
Horat. Epist. XII.

MEDIOLANI)(M.DCC.LXXV.

Ex Typographia Josephi Marelli.
Superiorum permissu.

a)

PAULLI FRISII
PRESB. REGUL. BARNABITÆ,
IN MEDIOLANENSI, PISANO, ET BONONIENSI GYMNASIO
PUBLICI MATHESEOS PROFESSORIS,
SOCIETATIS REGIÆ LONDINENSIS, BONONIENSIS INSTITUTI,
BEROLINENSIS, PETROPOLITANÆ, HOLMIENSIS,
HAFNIENSIS, SENENSIS, LUGDUNENSIS &c.
SCIENTIARUM ACADEMIÆ SOCII,
PARISIENSIS ACADEMIÆ CORRESPONDENTIS,
DE GRAVITATE
UNIVERSALI CORPORUM
LIBRI TRES.

MEDIOLANI. MDCCLXVIII.

Apud Joseph Galeatium Regium Typographum,
Superiorum approbatione.

b)

Fig. 2 - The title pages of the works on mechanics of rigid body by Paolo Frisi: a) Cosmographiae, b) De Gravitate.

5.4.331

DEL MODO
DI REGOLARE
I FIUMI, E I TORRENTI,
PRINCIPALMENTE DEL BOLOGNESE,
E DELLA ROMAGNA,
Libri Tre
DEL P. D. PAOLO FRISI,
CHER. REG. DELLA CONGR. DI S. PAOLO,
PUBBLICO PROFESSORE DI MATEMATICA
NELL'UNIVERSITA' DI PISA,
Dell' Instituto delle Scienze di Bologna, dell' Imperiale Accademia di Pietroburgo, e delle Società Reali d'Inghilterra, e di Prussia, Corrispondente della Reale Accademia delle Scienze di Parigi.

Optime rebus mortalium consuluisse naturam, quæ sua ora fluminibus, suos cursus, atque originem, ita fines dederit. Tacitus Lib. I. Annal.

IN LUCCA MDCCLXII.

Per Vincenzo Giuntini)(*Con Lic. de' Sup.*
A spese di Giovanni Riccomini.

a)

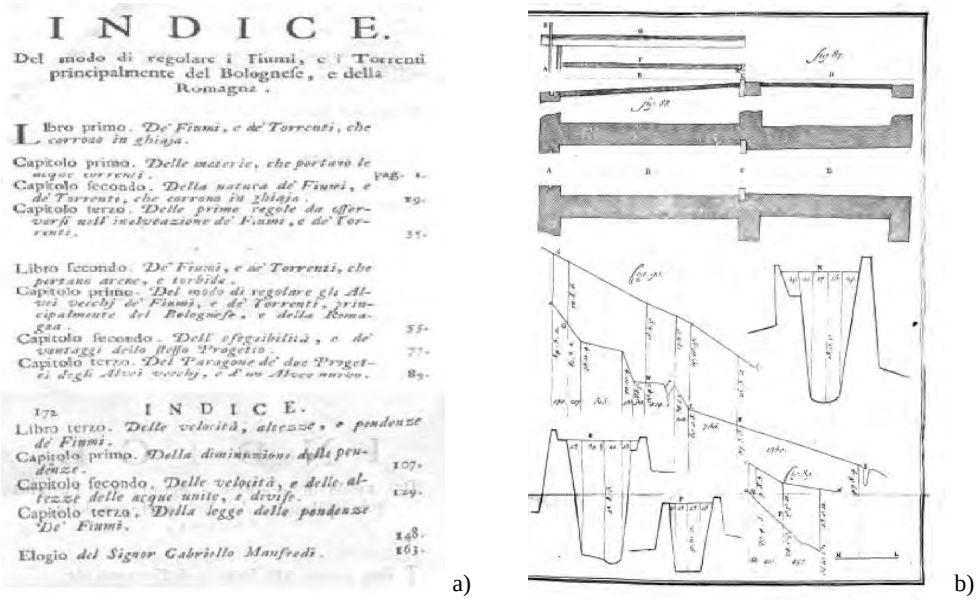
INSTITUZIONI
DI
MECCANICA, D'IDROSTATICA, D'IDROMETRIA
E DELL' ARCHITETTURA' STATICA, E IDRAULICA
AD USO DELLA REGIA SCUOLA ERETTA IN MILANO
PER GLI ARCHITETTI, E PER GL' INGEGNERI
DELL' A. D. P. FRISI
REGIO CENSORE, E PROFESSORE DI MATEMATICA
SOCIO DELLE ACCADEMIE DELLE SCIENZE
DI LONDRA, BERLINO, PIETROBURGO, BOLOGNA,
COPENHAGUE, STOCKOLM, UPSAL, HARLEM,
SIENA, LIONE, BERNA,
CORRISPONDENTE DELLA REALE ACCADEMIA
DELLE SCIENZE DI PARIGI.

IN MILANO. MDCCLXXVII.

Appresso Giuseppe Galeazzi Regio Stampatore.
Col permesso de' Superiori.

b)

Fig. 3 - The title pages of the works by Paolo Frisi: a) Treatise on the modes to regulate rivers… b) textbook of Mechanics and hydraulics.



I N D I C E.

Del modo di regolare i fiumi, e i Torrenti principalmente del Bolognese, e della Romagna.

Libro primo. De' Fiumi, e de' Torrenti, che corrono in ghiaja.
Capitolo primo. Delle materie, che portano le acque correnti. pag. 1.
Capitolo secondo. Della natura de' Fiumi, e de' Torrenti, che corrono in ghiaja. 19.
Capitolo terzo. Delle prime regole da osservarsi nell'inalveazione de' Fiumi, e de' Torrenti. 35.

Libro secondo. De' Fiumi, e de' Torrenti, che portano arene, e torbida.
Capitolo primo. Del modo di regolare gli Alvei vecchj de' Fiumi, e de' Torrenti, principalmente del Bolognese, e della Romagna. 55.
Capitolo secondo. Dell'esegibilità, e de' vantaggi della stessa Progetto. 77.
Capitolo terzo. Del Paragone de' due Progetti degli Alvei vecchj, e d'un Alveo nuovo. 89.

172. I N D I C E.

Libro terzo. Delle velocità, altezze, e pendenze de' Fiumi.
Capitolo primo. Della diminuzione delle pendenze. 107.
Capitolo secondo. Delle velocità, e delle altezze delle acque unite, e divise. 129.
Capitolo terzo. Della legge delle pendenze De' Fiumi. 148.
Elogio del Signor Gabriello Manfredi. 163.

a) b)

Fig. 4 - Content of the work of hydraulic engineering by Paolo Frisi: a) the table of content of the Treatise in Fig. 3a), b) models and calculations form the didactic book in Fig. 3b).

was also of particular interest not only at the Italian level, with translations in France and England. In Fig. 4a) the index of the book is reported to indicate the content with considerable levels of depth of the topics discussed and in Fig. 4b) an example of the determinations and evaluations of hydraulic engineering which are however reported in the didactic book of Fig. 3b).

Finally, the last book *Instituzioni*, Fig. 3 b), of this examination is a textbook for the teaching of the course that Frisi held at the University of Pisa according to academic schemes and programs deriving from previous traditions as indicated for example from the book of his predecessor Guido Grandi (Grandi, 1739).

In this textbook Frisi reports his experiences and his solutions regarding issues he deemed necessary for the training of engineers and architects for the development and modernization of structures and systems with a detailed program as reported in Fig. 5 showing hints of modernity. The textbook has a purely didactic purpose, also denoting Frisi's remarkable ability as an educator even at professional academic levels.

A survey of contributions

Frisi studied the motion of rigid bodies in several works both to participate to Academy Prizes (that he won in several occasions, although his approaches were discussed with criticism by D'Alembert, Euler and Lagrange yet) and to investigate on the

INDICE
DE' LIBRI, E DE' CAPITOLI.

DElla Meccanica, e della Statica, ossia delle leggi generali dell' equilibrio, e del moto de' corpi. Libro Primo.
Cap. I. Delle prime nozioni del moto. pag. 1
II. Delle prime leggi del moto uniforme, e variabile. 6
III. De' principj della compofizione, e della rifoluzione delle forze. 10
IV. Della difcefa libera de' corpi ne' piani inclinati. 14
V. Della difcefa nelle curve, e del moto de' Pendoli. 19
VI. Del moto de' Projetti. 24
VII. Dell' equilibrio, e del centro di gravità. 29
VIII. Della teoria, e del maneggio delle macchine femplici, e compofte. 34
Dell' Architettura Statica, ossia dell' applicazione de' principj precedenti alla teoria delle fabbriche. Libro Secondo.
Cap. I. Dell' idea generale, e degli ordini d'Architettura. 43
II. Della folidità reale, ed apparente nell' Architettura antica, e moderna. 50
III. Della refiftenza dei corpi folidi, dei corniccioni, e dei tetti. 58
IV. Della refiftenza delle chiavi, e delle catene, e della tenfione delle funi. 64
V. Della curvità della catenaria, e della figura più confiftente delle volte. 69
VI. Dei metodi di varj Autori per calcolare la fpinta delle volte. 75
VII. Del metodo generale di calcolare le fpinte, e dell' applicazione alla cupola del Duomo di Milano. 83
De' principj, e degli uli dell' Idroftatica, ossia delle leggi dell' equilibrio de' corpi fluidi, e della livellazione. Libro Terzo.
Cap. I. Delle leggi generali della preffione, e dell' equilibrio dei fluidi. 91
II. Della teoria delle gravità fpecifiche, e dei problemi delle mefcolanze delle arie fattizie, e di altri corpi. 98
III. Dell' equilibrio dell' aria, e del mercurio, e del metodo di mifurare le maggiori elevazioni dei luoghi. 108
IV. Dell'

INDICE DE' LIBRI,
IV. Dell' equilibrio dell' acqua, delle linee del livello vero, ed apparente, e dei difetti delle livellazioni ordinarie. 113
V. Della fcelta, e della rettificazione dei livelli a cannocchiale. 119
VI. Della livellazione, del calcolo delle altezze, e del profilo. 125
VII. Della livellazione, e della latitudine di Pavia, e del parallelo di gradi 45. 130
De' Principj dell' Idraulica. Libro Quarto.
Cap. I. Delle cagioni efterne del moto de' fluidi, delle chiocciole, delle trombe, e delle altre macchine Idrauliche. 135
II. Dei principj Meccanici del Torricelli, del Newton, e del Varignon per calcolare la velocità de' fluidi, che dipende dalla preffione. 145
III. Dei metodi Analitici de' Signori Giovanni, e Daniello Bernoulli, Alembert, ed Eulero. 150
IV. Delle leggi, e delle fperienze Fifiche intorno al moto dei fluidi, ch' efcono dai vafi. 159
V. Delle fuppofte, e delle vere cagioni delle differenti altezze dei getti d'acqua. 167
VI. Dei tubi di condotta, e delle foluzioni di alcuni Problemi analoghi. 173
VII. Dei principj generali della refiftenza dei fluidi, e dell' azione dell' aria fui getti d'acqua. 180
Dell' Idrometria de' Fiumi, e de' Canali. Libro Quinto.
Cap. I. Dei primi teoremi del Caftelli, e del Galileo intorno alla velocità delle acque correnti. 187
II. Della velocità delle acque correnti, che dipende dalla preffione, e de' varj ftrumenti propofti per mifurarla. 191
III. Delle refiftenze delle acque correnti, e della degradazione della velocità dal fondo alla fuperficie. 200
IV. Dei limiti del ringorgo, e delle fperienze fatte a Roveredo. 208
V. Della velocità, e della quantità d'acqua de' Fiumi, che corrono per la caduta, e per la preffione. 216
VI. Del ripurto, delle regole, e degli errori delle bocche d'irrigazione, principalmente del Milanefe. 223
VII. Del metodo di mifurare la quantità d'acqua in qualunque fezione d'un Fiume, e dell' applicazione ai Fiumi del Bolognefe. 235
VIII. Delle

E DE' CAPITOLI.
VIII. Delle fperienze del Sig. Gennetè, e di tutte le offervazioni delle velocità dei Fiumi, che fi unifcono, e fi dividono. 244
Della Geografia Fifica de' Fiumi. Libro Sefto.
Cap. I. Dell' origine dei Fiumi, e delle caufe, e dei fenomeni delle piene. 255
II. Della direzione generale dei principali Fiumi di tutto il globo. 263
III. Dello ftabilimento degli alvei, e delle direzioni particolari dei Fiumi. 267
IV. Delle materie mefcolate infieme coll' acqua, e della degradazione dei faffi, delle ghiaje, e delle arene. 275
V. Del rialzamento del fondo dei Fiumi, che corrono in ghiaja, e delle differenze dei Fiumi ghiarofi, ed arenofi. 282
VI. Della degradazione delle pendenze del fondo di tutt' i Fiumi. 289
VII. Della pendenza, e della difpofizione degli ultimi tronchi dei Fiumi. 296
VIII. Della foce dei Fiumi, della protrazione delle fpiagge, delle correnti, e delle variazioni dell' altezza del Mare. 303
Dell' Architettura de' Fiumi, e de' Torrenti. Libro Settimo.
Cap. I. Delle nuove inalveazioni dei Fiumi. 309
II. Della Storia, e delle controverfie del Reno, e degli altri Fiumi, e Torrenti del Bolognefe. 317
III. Delle rettificazioni dei Fiumi ghiarofi, e torbidi, e particolarmente dell' Arno. 325
IV. Degli fbocchi degl' influenti, e della diverfione del Tidone, di Fiume morto, e degl' influenti della Laguna di Venezia. 334
V. Delle chiufe, che foftengono il letto dei Fiumi, e delle controverfie della Ferfina. 342
VI. Dello fcolo, e della bonificazione delle campagne, e particolarmente delle Paludi Pontine. 354
VII. Dell' urto delle acque correnti, e della migliore difpofizione dei pennelli, e degli altri ripari delle ripe. 363
VIII. Delle rotte, e degli argini dei Fiumi, e dei diverfivi delle piene. 371
Dell' Architettura de' Canali Navigabili. Libro Ottavo.
Cap. I. De' Canali derivati dal Tefino, e dall' Adda, e della comuni-

INDICE DE' LIBRI, E DE' CAPITOLI.
municazione dei laghi fuperiori colle Città di Milano, e di Pavia. 377
II. De' Canali di Francia, de' Paefi-baffi, di Spagna, d'Inghilterra, di Pruffia, di Ruffia, e Suezia. 389
III. Della derivazione dei Navigli di Milano, e di Bologna, e delle regole principali delle chiufe, dei diverfivi, e dei paraporti. 401
IV. Della regolata quantità d'acqua, e della navigazione del piccolo Serio, e della Delmona. 412
V. Della pendenza, e dello fbocco dei canali navigabili. 420
VI. Della prima invenzione, e dei limiti dell' altezza dei foftegni. 426
VII. Del luogo, e della forma dei foftegni, femplici, ed accoppiati. 435
VIII. Dell' uso delle macchine per lo fpurgo dei fondi, e per la comodità della navigazione. 441

DELLA

Fig. 5 – Content of the didactic textbook by Paolo Frisi in Fig. 3b: the table of content.

motion of the moon and planets as following the interest of his time. The main work by Frisi can be considered the reference (Frisi, 1765), Fig. 2a), in which he revised and grouped all his previous works concerning with the motion of plants and their effects in a comprehensive form and formulation. Thus, one can find problems and treatments that were already published in (Frisi, 1768), Fig.2b), and even in (Frisi, 1759). Indeed, in his work (Frisi, 1759) one can find the first original rigorous statement and proof of the composition of rotations, much before the attempts by Euler and Lagrange (Lagrange 1773) as Marcolongo recognised in (Marcolongo, 1906). The theorem of the composition of rotations is declared in the form of Corollaries II and III on page 35 in (Frisi, 1768) and as Theorem IV with its proof and significant Corollaries on pages 31 and 32 in (Frisi, 1775). However, the original contribution can be found in *Problematum praecessionis aequinoctiorum nutationis terrestris axis, aliarumque vicissitudinum diurni motus geometrica solutio, cius specimen a Regia Berolinensi Scientiarum Academiae anno 1756 praemium obtinuit* (Frisi, 1759), where Fris stated: «*in quocumque binos motus totations in motum unum componi, eadem prorsus atione, qua duae vires duobus lateribus parallelogrammi alicuius expressae tertiam vim componunt, quae diagonali exprimitur*». In the following the procedure is outlined in the way that Frisi used to solve the composition of instantaneous rotations about intersecting axes. The velocity of a point rotating about an axis is obtained as the sum of the velocities of points, which are the projection points of the given point onto two axes that are orthogonal to each other and the given axis.

Consequently (i.e. it is a corollary in Frisi's work), when a rigid body rotates about two axes, the velocity of a point that does not lie on the plane that is identified by the two given axes, can be decomposed in four components. Two components are the velocity of the projection points onto the plane; the other two components are orthogonal to the given axes but in the plane. Thus, it is possible to determine an axis in the plane so that the sine functions of the angles between the given axes and the resultant axis are inversely proportional to the corresponding velocity. The points of the resultant axis have no velocity. Thus, this axis is the axis of the resultant rotation. In addition, Frisi proved with geometrical arguments that the velocity of any point of the plane or any point of a rigid body containing the plane is orthogonal to the plane containing the two axes. Moreover, the velocity magnitude of a point is proportional to the distance of the point from the resultant axis. In conclusion, the resultant motion of the two rotations about the two axes can be considered a rotation about the resultant axis of the rotations. This proof is given in (Frisi, 1759) but is repeated more clearly in (Frisi, 1768) and is based on the schemes, which have been reported in Fig. 6.

Finally, it seems that Frisi understood also the generation of the helicoidal motion when in (Frisi, 1768) he wrote *Propositio* XXI the following: «... *corpus duplicem motum concipiet projectionis, et rotationis circa axem per G transeuntem, et eidem plano perpendicularem*». However, the screw motion as helicoidal motion

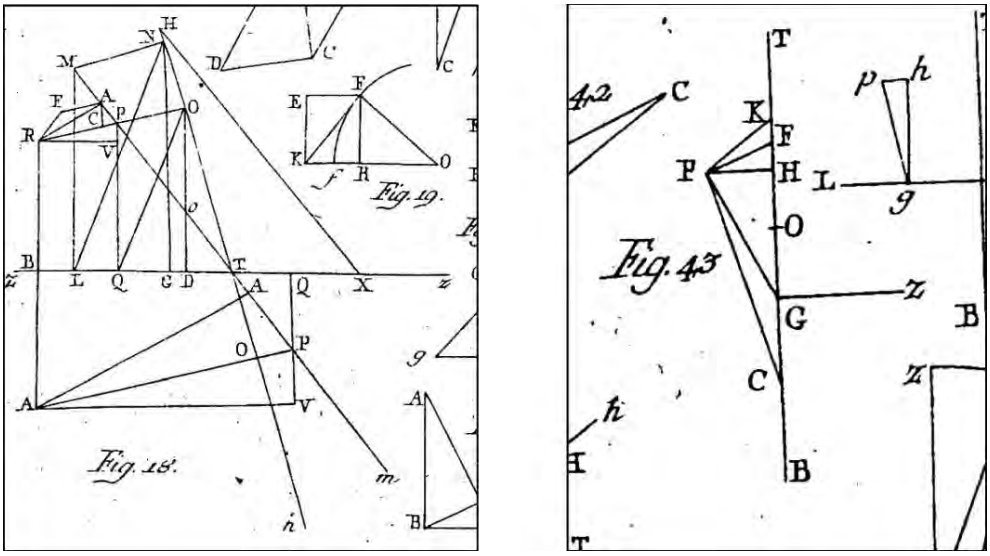


Fig. 6 - Drawings of Fig. 18, 19, and 20 used by Frisi to prove the composition of rotations about intersecting axe (Frisi, 1768).

was clearly defined and formulated in (Mozzi, 1763), as explained in (Ceccarelli, 2000). Frisi wrote several times about the theorem of composition of rotations and his works circulated for long time in Europe. He won also several Academy Prizes on Mechanics, and particularly his specific work *Problematun praecessionis* ... in (Frisi, 1759) got the Prize of the Berlin Academy in 1756 (as declared in the title as above-mentioned). Therefore, it is quite curious that today the theorem is still not recognized to Frisi but to Euler. This is probably due to the fact that Euler achieved greatest results in Dynamics of rigid bodies, particularly concerning with the motion of rotation so that everything developed in his time was ascribed to him by posterity. In addition, the evolution of Italian unification during 19the century made very limited the circulation of works from the previous kingdoms in which Italy was partitioned. In fact, even in Italy the work of Frisi on the kinematics of rigid motion was not recognized, as for example in the fundamental work (Giorgini, 1836) and (Battaglini, 1870).

As significant dissemination of his achievements in the kinematics of rigid bodies, Paolo Frisi helped also the circulation of Mozzi's work (Mozzi, 1763) very likely though his long continuous correspondence with several scientists in France and abroad, as also indicated in some letters to D'Alembert during the disputes and discussion they had on the subject. It is noteworthy Frisi and D'Alembert they

had a frequent correspondence with exchange also of works by friends and pupils. Therefore, it seems likely that Frisi sent to D'Alembert a copy of Mozzi's Treatise. As more illustrative example, the reference (Frisi, 1768) clearly mentioned Mozzi's Treatise in the Introduction, although the work was on hydraulic engineering. In addition, some letters between Paolo Frisi and Roger Boscovich (1711-1787) of Milan University, reported in (Costa, 1967), illustrate the will of Frisi to help the circulation of Mozzi's work also in a formal way.

Conclusions

The figure of Paolo Frisi is considered in this paper as an attempt to revitalize the attention on his contributions to mechanical engineering especially in terms of theoretical studies on the mechanics of the rigid body with repercussions on both teaching and engineering practices. His polyhedric activity and expertise that had given him the character of an Italian D'Alembert, is examined mainly in term of biographical notes with consideration also on his successful consultancy activity regarding hydraulic engineering. The paper aims to underline and stimulate further studies of reconsideration of Italian figures and contributions that, especially in the context of the history of science inn an international frame, are not recognized or even forgotten.

References

Baldini U. 1958. Frisi Paolo. In: *Dizionario Biografico*, 50. Milano: Treccani.

Ball R.S. 1876. *A Treatise on the Theory of Screws*. Dublin: Hodges.

Battaglini G. 1870. Sul movimento geometrico infinitesimo di un sistema rigido. Rendiconto dell'Accademia delle Scienze, Napoli, IX, 89-100.

Bottema O., Roth B. 1980. *Theoretical Kinematics*, New York: Dover.

Capocaccia A. (Ed.) 1973. *History of technique – from prehistory to the year one thousand*. UTET, Turin. (in Italian)

Cayley A. 1891. Kinematics of a solid body. In: *The Collected Mathematical Papers*, IV, 580-593. Cambridge: Cambridge Press.

Ceccarelli M. 2000. Screw Axis defined by Giulio Mozzi in 1763 and Early Studies on Helicoidal Motion. Mechanism and Machine Theory, 35, 761-770.

Cheng H., Gupta K.C. 1988. An historical note on finite rotations. Journal of Mechanical Design, 56, 139-146.

Costa C. 1967. *Il rapporto Frisi-Boscovich alla luce di lettere inedite di Frisi, Boscovich, Mozzi, Lalande e Pietro Verri*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.

D'Alembert J.B. 1749. *Recherches sur la precession des equinoxes, et sur la nutation de l'axe de la terre, dans le systeme newtonien*. Paris: Chez David

D'Alembert J.B. 1796. Traité de Dynamique. Paris: Chez Fuchs. (1st Ed. 1743).

Davidson J.K., Hunt K.H. 2004. *Robots and ScrewTheory*. Oxfort: Oxford University Press.

De Tipaldo E. 1837. *Biografia degli Italiani Illustri*. Venezia: dalla Tipografia di Gio. Cecchini.

Dimentberg F.M. 1965. *The Screw Calculus and Its Applications*. WP-AFB, Ohio: Foreign technology division. (English Ed. 1968)

Duffy J. 1999. A Short History on the Theory of Screws. In: Proceedings of the Xth IFToMM World Congress on Theory of Mechanisms and Machines, Oulu, 1, 48-51.
Euler L. 1736. *Mechanica sive motus scientia*. Petropoli: Ex Typografia Academiae Scientiarum.
Euler L. 1765. *Theoria Motus Corporum Solidorum seu Rigidorum*, Ex primis nostrae cognitionis principiis stabilita et ad omnes motus, qui in huiusmodi corpora cadere possunt, accommodata. Bernae: C. Blanc, Bernae.
Frisi P. 1759. *Dissertatiorum Variarum*. Lucca: apud Vincentium Junctinum.
Frisi P. 1761. *Piano dei lavori da farsi per liberare e assicurare dalle acque le province di Bologna Ferrara e Ravenna*. Lucca: Giuntini stampatore.
Frisi P. 1765. *Cosmographiae Physicae, et Mathematicae pars altera de rotationis motu et phaenomenis inde pendentibus*. 2 Vols. Mediolanum: Ex Tipographia Josephi Marelli..
Frisi P. 1768a. *Libris tres de gravitate universali corporum*, Mediolani: apud Joseph Gleatium regium Typographum.
Frisi P. 1768b. *Del Modo di Regolare i Fiumi, e i Torrenti, principalmente del bolognese e della Romagna*. Lucca: per Vincenzo Giuntini.
Frisi P. 1770. *Dei fiumi e dei torrenti*. Firenze: G.Gambiagi stampatore.
Frisi P. 1777. *Instituzioni di Meccanica, d'Idrostatica, d'Idrometria e dell'Architettura Statica, e Idraulica a uso della regia Scuola eletta in Milano per gli architetti e per gl'ingegneri*. Milano: Galeazzi Regio Stampatore.
Frisi P. 1786. *Elogio del Signor D'Alembert*. Milano: Galeazzi Regio Stampatore.
Giorgini G. 1836. Intorno alle proprietà geometriche dei movimenti di un sistema di punti di forma invariabile. In: *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana delle Scienze*, XXI, 1-54. Modena: Tipografia Camerale.
Grandi G. 1739. *Instituzioni Meccaniche*. Firenze: Stamperia Tartini e Franchi.
Hunt K.H. 1979. *Kinematic Geometry of Mechanisms*. Oxford: Oxford University Press.
Lagrange J.L. 1773. Nouvelle solution du problème du movement de rotation d'un corps. Nouveaux Mèmoires de l'Académie de Berlin.
Marcolongo R.1906. Sul Teorema della composizione delle rotazioni istantanee. Appunti per la storia della meccanica nel secolo XVIII. Bollettino di Bibliografia e Storia delle Scienze Matematiche, IX(1), 1-12.
Mozzi G. 1763. *Discorso matematico sopra il rotamento momentaneo dei corpi*. Napoli: Stamperia di Donato Campo.
Phillips J. 1984. *Freedom in Machinery I - Introducing Screw Theory*. Cambridge: Cambridge Press.
Singer C et al. (Eds) 2012. *History of technology*, vol 2. Bollati Boringhieri, Turin. (In Italian)
Verri P. 1825. Necrologio di Paolo Frisi. In: *Operette scelte di Paolo Frisi milanese con le memorie storiche intorno al medesimo*. Milano: per Giovanni Silvestrini.
Zobi A. 1850. *Storia civile della Toscana dal 1737 al 1848*. Firenze: presso Luigi Molini.

Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Matteo Abita, Renato Morganti

Ingegneria italiana e lotta alla tubercolosi nel ’900. Il grande cantiere sanatoriale e il caso studio abruzzese

Italian engineering and the fight against tuberculosis in the 1900s. The sanatorium workshop and the Abruzzo case study

Sommario

Il patrimonio dell’architettura sanatoriale in Italia è testimonianza delle vicende di un vasto programma sociale che, iniziato nel periodo post-unitario, trova la sua massima espansione negli anni ’30 del Novecento. Il tema della salute come diritto per tutti e le nuove acquisizioni mediche implicano modifiche rilevanti nei sistemi di cura e nella dotazione di strutture sanitarie. Dopo il I Congresso Italiano di Tisiologia nel 1900, in cui viene bandito un concorso per il progetto di un sanatorio per poveri, alcuni giovani medici si adoperano per la realizzazione di diverse strutture. Nel 1916, l’intervento della Cassa Depositi e Prestiti dà avvio a un vero e proprio piano nazionale per la realizzazione di sanatori, cui segue, nel 1927, il secondo, caratterizzato da un processo di normazione che traduce l’edifico di cura in un tipo architettonico moderno, efficace, economico e riproducibile. Il patrimonio sanatoriale, diffuso su tutto il territorio nazionale, è stato oggetto di un rapido e forse sommario giudizio di inadeguatezza funzionale che ne ha decretato un progressivo processo di abbandono. Il contributo intende, nel quadro di una ricostruzione dei programmi nazionali, documentare la storia del patrimonio sanatoriale abruzzese al fine di delineare, nell’ottica di una conservazione attiva, indirizzi strategici coerenti con un progetto di recupero rigenerativo.

Abstract

The architectural heritage of the Italian sanatoria testifies to the events of a vast national social program that began in the post-unification period and found its maximum expansion in the 1930s. The issue of health as everyone’s right and new medical improvements led to significant changes in health systems and in the construction of hospitals. In 1900 the 1st Italian Congress of Tisiology promoted a competition for the design of a sanatorium for the poor; as a result, some young physiologists undertook to build various sanatoriums. In 1916, the investment of Cassa Depositi e Prestiti, bank of the Italian government, started a first national building plan began; a second plan followed in 1927 and was inspired by a building standardization process, to define

the sanatorium as an economic and reproducible architectural typology. The sanatorium patrimony, widespread throughout Italy, was hastily considered inadequate from a functional point of view. We want to document and reinterpret the history of sanatorium heritage in Abruzzo within the general events of the two building plans. The goal is to define strategic lines that can be coherent and compatible with a regenerative and resilient restoration project appropriate to the principles of "active conservation".

Introduzione

Il "mal sottile", la tubercolosi, già malattia endemica, si trasforma, alla fine del Settecento, in fenomeno epidemico, in relazione all'aumento demografico e ai processi di urbanizzazione, per assumere, a metà dell'Ottocento, i caratteri di una moderna malattia sociale. In Italia, nel contesto di un'assistenza sanitaria ancora legata ai valori della solidarietà, centrale è la figura di medici come Giuseppe Barellai, promotore della cura di giovani scrofolosi indigenti, e Biagio Castaldi, che sperimenta, prima su sé stesso e poi su malati adulti, una cura connessa alla degenza in altura.

Il ricovero sanatoriale resta per lungo tempo, fino all'individuazione della cura antibiotica, l'unico rimedio alla tubercolosi polmonare. La terapia, prima legata al solo isolamento dei malati per il controllo dei rischi di contagio, si trasforma in un vero e proprio sistema di cura basato sui precetti fondamentali di igiene, sana alimentazione, pulizia, nonché sul riposo in ambienti salubri, caratterizzati dalla presenza di luce e sole e da continui ricambi di aria; la cura si perfeziona con la scelta della degenza nei luoghi di montagna, funzionale al trattamento degli aspetti polmonari della malattia. In Figura 1 è riportata una immagine a riguardo, tratta da un testo pubblicato alla fine del XIX secolo.

Dopo il X Congresso Internazionale di Berlino del 1890, anche in Italia, come negli altri paesi europei, viene istituita la Lega Nazionale per la lotta contro la TBC e si avviano iniziative utili alla conoscenza delle esperienze europee più avanzate.

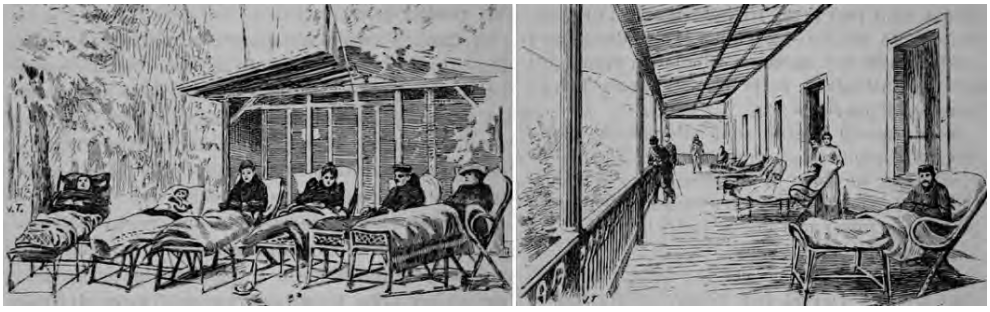


Fig. 1 – I precetti fondamentali di igiene: la cura all'aria aperta e la galleria coperta (Zubiani 1898).

Esperienze di cura e programmi sanitari italiani nel XX secolo

Il 1900 si apre con la prima Esposizione di Igiene, organizzata a Napoli tra maggio e luglio, prima promossa dalla Lega antitubercolosi della città e poi sostenuta e significativamente ampliata, in un particolare connubio tra filantropia, politica e scienza (s.a., 1900). In un’area di 72.000 m^2 della Villa Nazionale, dove era in costruzione il grande auditorium progettato dall’ingegner Comancini, viene ospitato un padiglione dedicato all’Ingegneria Sanitaria con una Mostra Speciale sulle novità di cura e le strutture sanitarie per la cura della tubercolosi, in Figura 2. Coordinatore di tutte le iniziative previste, tra cui il primo congresso italiano di Tisiologia, è il dottor Guido Bacelli, nella sua veste di clinico, scienziato e ministro. Il governo promuove una lotteria per la realizzazione di un Sanatorio per poveri, una volta noti gli esiti di un concorso bandito a luglio dal Ministero dell’Interno (Corradini, 1900).

Un organico programma nazionale per un’ampia dotazione di strutture sanatoriali pubbliche si delinea tra il 1906 e il 1916, in parallelo con i Congressi Italiani contro la TBC che sanciscono definitivamente il ricorso al sanatorio come strumento di cura e profilassi e individuano la necessità non solo di una assicurazione obbligatoria, ma anche di strumenti legislativi e finanziari da parte dello Stato.

Nel 1917 la Cassa Depositi e Prestiti finanzia, con 45 milioni di lire, Comuni, Province e Associazioni benefiche per la realizzazione di strutture sanatoriali, a fronte della recrudescenza del “mal sottile” dopo la guerra. Superato il carattere privatistico e filantropico dei primi anni del Novecento, sono le iniziative più strutturate, attuate durante il periodo bellico, a creare i presupposti per la successiva fase. Nel 1919 gli stanziamenti vengono notevolmente incrementati e i Comitati provinciali antitubercolari riorganizzati in Consorzi tra Province, Comuni e Opere benefiche. Negli anni ’20 i Consorzi vengono resi obbligatori e il processo di allargamento della

Fig. 2 – L’Esposizione d’Igiene di Napoli del 1900 (s.a., 1900).

disciplina assicurativa, già avviato nel 1919 con la creazione della Cassa Nazionale per le Assicurazioni Sociali, segna un punto di svolta. Con il D.L. 2055 del 1927, lo Stato predispone infatti, uno strumento previdenziale aggiuntivo e impone a tutti gli assicurati un contributo per la loro cura e per quella dei familiari. La gestione della cura della malattia viene affidata al CNAS, mentre la profilassi resta in capo ai Consorzi (Sabbatani, 2005). Il regime assicurativo dà inizio alla seconda fase del programma sanatoriale a carattere pubblico e sociale. Eugenio Morelli, direttore della Clinica di tubercolosi e malattie respiratorie di Roma, viene nominato "alto consulente medico" della CNAS con il compito di verificare l'applicazione delle norme e di programmare e impegnare le risorse disponibili per la costruzione dei sanatori.

La tipologia italiana del sanatorio

Nella prima fase del programma sanatoriale il compito cui sono chiamati i progettisti è quello di «uniformare le soluzioni tecniche così da soddisfare i desiderata degli specialisti della cura del tubercolotico polmonare; interessandosi, in massima, di conoscere la *climatologia* relativa alla cura del tubercolotico, la più logica *ubicazione* del sanatorio e le *esigenze* intime del servizio di cura» (Donghi, 1930). Così l'accademismo dell'epoca, con un ruolo prevalente della figura dell'ingegnere, sperimenta le nuove e diverse tipologie di edifici ricercando un punto di mediazione tra soluzioni formali e architettoniche ed esigenze funzionali e tecnico-sanitarie (Zubiani, 1898). Questo serrato confronto e scambio tra tisiologi e ingegneri è testimoniato nelle pagine della rivista Ingegneria Sanitaria che riportano, nella fase di avvio della prima sperimentazione sul tipo sanatoriale, le informazioni di carattere medico utili al progettista, come quelle contenute nelle lezioni del professor A. Serafini presso la Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri della Regia Università di Padova (Serafini, 1900) o documentano le esperienze di medici italiani nelle strutture sanatoriali d'oltralpe con lo scopo «di portare l'aiuto delle cognizioni mediche all'architetto che vuole erigere una tal casa di cura» (Lamarchia, 1901).

Nella seconda fase del programma la CNAS, in relazione alle specifiche esigenze di cura individua le categorie di sanatori veri e propri o sanatori climatici, ospedali sanatoriali, reparti ospedalieri per tubercolotici, infermerie per tubercolotici e colonie post-sanatoriali. Viene poi organizzato l'Ufficio Costruzioni Sanatoriali, guidato dall'ingegner M. Gobbi Belcredi, con il compito di normare le tipologie delle strutture di cura e supportare la costruzione di quello che Piacentini chiamerà «un grande cantiere sanatoriale» (Del Curto, 2010), con la realizzazione di 20.000 posti letto in dieci anni. Il tema degli ospedali sanatoriali viene affrontato attraverso un processo di normazione utile alla definizione di un "moderno" tipo architettonico, assunto come prototipo, modello reiterabile, efficace ed economico caratterizzato da "stile architettonico" sobrio, in grado di emanciparlo dall'immagine tradizionale di luogo di sofferenza e di isolamento (Morelli, 1934).

Le sperimentazioni tipologiche

Agli inizi del ‘900 i progettisti, facendo proprie le esperienze d’oltralpe e aprendosi al rinnovamento dell’ingegneria sanitaria, anche relativamente agli aggiornati criteri igienico-ambientali utili alla scelta del sito e all’orientamento dell’edificio, avviano una fase di vera e propria sperimentazione tipologica per la realizzazione delle diverse strutture sanatoriali.

L’edificio, a uno o più piani, è posto in un lotto d’impianto, adeguato per dimensione, ricco di vegetazione, in modo da avere la massima protezione dai venti dominanti e assicurare agli spazi di degenza la massima quantità di luce e calore nell’arco della giornata. In particolare, è la diversa soluzione adottata per lo spazio delle “verande”, luogo in cui il malato passa sdraiato gran parte della giornata, a caratterizzare le diverse soluzioni tipologiche in termini distributivi e funzionali, connotando gli edifici da un punto di vista architettonico secondo differenti codici formali e linguistici. Il sanatorio è distinto in due categorie, per la cura della malattia e per la sola profilassi; alla prima appartengono i sanatori veri e propri, distinti tra popolari, in Figura 3, e a pagamento; alla seconda, i dispensari antitubercolari, gli ospizi marini e le colonie.

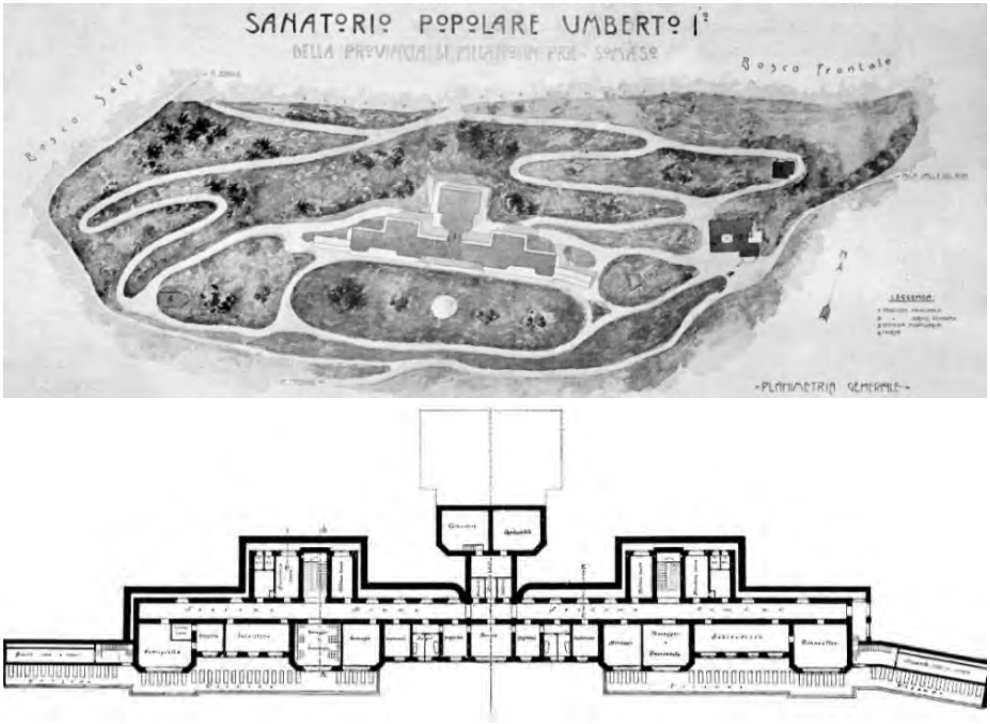


Fig. 3 – Milano: l’Umberto I, un sanatorio popolare (s.a., 1906).

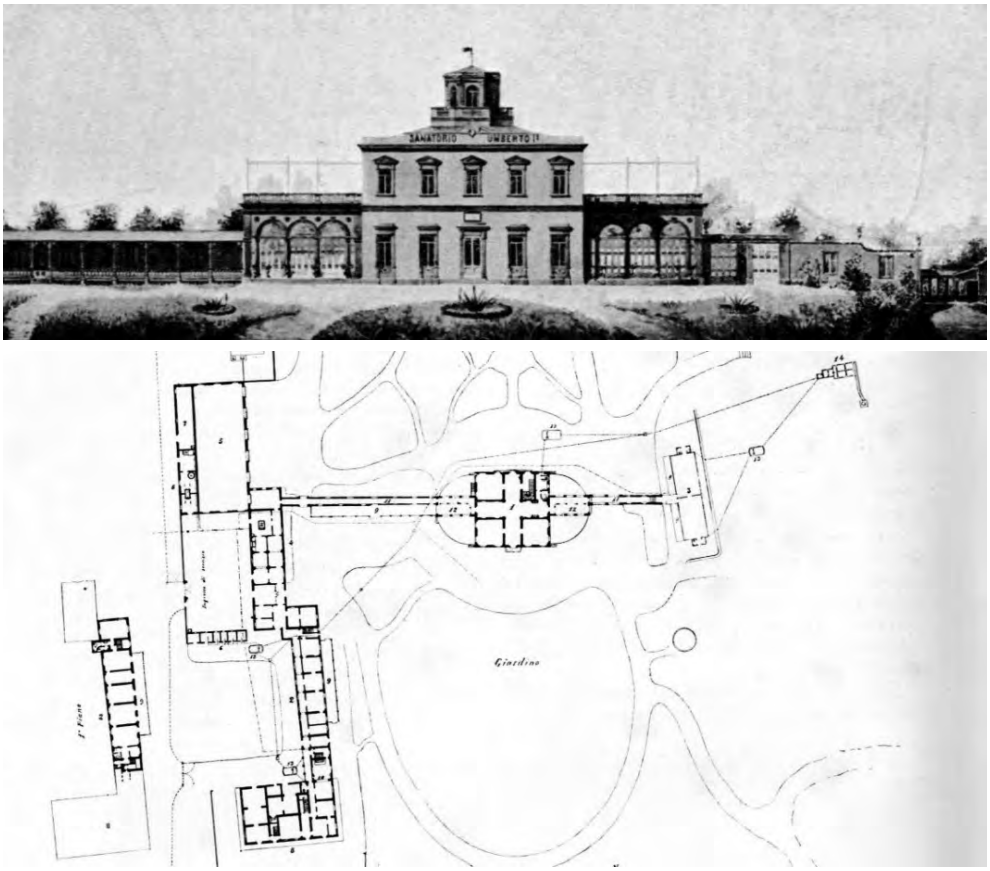


Fig. 4 – Livorno: il sanatorio Umberto I: la tipologia a "padiglione" (Padova, 1905).

Per i sanatori le soluzioni adottate prevedono un unico edificio pluripiano o un complesso di edifici funzionalmente specializzati e diversamente collegati tra loro. L'edificio pluripiano "monoblocco" è utilizzato per la costruzione di strutture private, destinate ai più abbienti, e assume i caratteri architettonici del grande albergo: un edificio di grande dimensione, a sviluppo prevalentemente orizzontale, distributivamente organizzato su un asse longitudinale che, configurato secondo una linea curva o retta, ne caratterizza la soluzione in alzato.

La tipologia a "padiglione", in Figura 4, è quella che viene prevalentemente adottata nei sanatori popolari per i quali le prime sperimentazioni prevedono la compresenza di strutture fisse e temporanee: secondo schemi planimetrici semplici, piccoli edifici, destinati a refettori, cucina e alloggi del personale, sono posti tra il padiglione centrale, con le "verande di cura" a sud, e le "baracche" per la degenza.

I sanatori popolari assumono più tardi diverse soluzioni in funzione della loro dimensione, configurandosi secondo due articolazioni tipologiche: “a padiglione unico” per strutture di piccola dimensione in cui edifici funzionalmente specializzati affiancano quello principale destinato alla degenza, per il quale si ricorre al criterio del “monoblocco” ad andamento rettilineo, con piani interrati ben ventilati per servizi e alloggi del personale, e tre piani fuori terra per la degenza, e “a padiglione separati” per strutture di grande dimensione, tra i 100 e 200 posti letto, in cui gli edifici, con due soli piani fuori terra, sono posti secondo giaciture parallele e orientati in modo da assicurare l’esposizione a sud delle camere e delle verande. Le stanze di degenza, diversificate per numero di posti letto, rispondono a precisi standard dimensionali sia in pianta che in alzato. Per il sanatorio popolare le “gallerie di riposo”, trovano diverse soluzioni: anteposte in facciata all’edifico principale, collocate tra due diversi padiglioni o per ciascun edificio risolte come elementi di testata.

Il sanatorio-tipo della CNAS

Il processo di normazione che caratterizza l’approccio alla definizione del moderno sanatorio da parte dell’Ufficio Costruzioni Sanatoriali prevede l’individuazione di una tipologia prevalente e dettagliati capitolati d’appalto con precise prescrizioni dimensionali, funzionali e di arredamento, indicazioni tecniche su materiali, componenti e impianti. Sulla base di questi documenti è possibile determinare una precisa stima dei costi e un costo medio a posto letto, parametri utili alla programmazione economica degli interventi.

Il tipo “a monoblocco” è ritenuto più economico di quello “a padiglioni”, più facilmente ampliabile attraverso la sopraelevazione di un piano e più coerente ai principi di cura secondo una organizzazione funzionale interna con la degenza ai piani alti, più ventilati, distinta tra uomini e donne mediante il semplice raddoppio dei collegamenti verticali nei bracci laterali, la cui organizzazione risulta pressoché identica. Il sanatorio-tipo, in Figura 5, con due o tre piani fuori terra, ha un impianto planimetrico a T, simmetrico e rettilineo nei due bracci che terminano con volumi aggettanti a

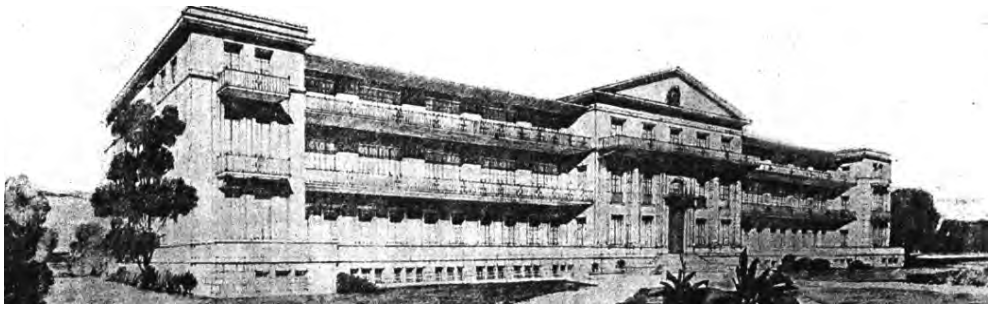


Fig. 5 – Un sanatorio–tipo come proposto da CNAS nel 1927 (Morelli, 1934).

protezione del fronte dai venti ed è orientato in considerazione dei diversi parametri ambientali: «se vogliamo far predominare il fattore luce la facciata dell'edificio dovrà essere orientata in modo da risultare normale all'asse luce, […]; se invece vogliamo dare maggiore importanza al fattore calore allora dobbiamo disporre la facciata in modo che essa sia orientata normalmente all'asse termico» (Morelli, 1934), mentre studi di tipo climatico vengono fatti per l'identificazione delle località più adeguate.

Le tipologie previste sono due: il Tipo Nord e il Tipo Sud; entrambe mantengono inalterato l'assetto distributivo e funzionale e la posizione delle verande, rivolte a sud, mentre variano la posizione dell'ingresso principale per adattarsi alle condizioni del lotto d'impianto secondo diverse soluzioni architettoniche.

La collocazione provinciale del sanatorio determina il suo dimensionamento, che può variare da 120 a 200 posti letto; l'edificio deve essere provvisto di un parco con una estensione minima di 3 ettari, per 120 posti letto, incrementabile per ogni 50 posti letto aggiuntivi. Uno studio di dettaglio riguarda il modulo funzionale integrato della "camera veranda", in Figura 6. La camera, dimensionata in modo da definire una dotazione standard di 28 m^3 a malato, ospita sei posti letto ed è collegata alla veranda attraverso "una parete di vetro", un ampio serramento scorrevole.

«La porta si inoltrerà nella veranda a piacimento tanto da poterla dividere completamente qualora se ne dimostrasse l'utilità. Queste divisioni elimineranno il colpo di vento laterale e aumenteranno ancora l'impressione di camera veranda» (Morelli, 1934). La veranda è dimensionata sul modulo della sdraio: «nei nostri sanatori la veranda sarà larga solamente 2,40. Sarà portata a 2,50 incurvando la ringhiera. Essendo la sdraio lunga 1,90 vi sarà giusto spazio per il passaggio del medico» (Morelli, 1934). Un sistema di oscuramento in legno o ferro è posto a corredo delle verande, in sostituzione delle più tradizionali tende per riparare dal sole i malati. Per ovviare al problema di una eccessiva calura estiva nelle verande esposte a sud, si prevede di dotare l'edifico di verande poste a nord, separate dalle stanze di degenza e fruibili attraverso il corridoio.

Il patrimonio sanatoriale abruzzese

Il patrimonio sanatoriale, rilevante per quantità e qualità e diffuso su tutto il territorio nazionale, è ben rappresentato nel contesto della Regione Abruzzo da edifici che, costruiti in un arco temporale piuttosto ampio, ben esemplificano le vicende legate alla definizione e all'evoluzione dell'architettura sanatoriale. In particolare, il programma dell'architettura sociale, in cui è possibile ricomprendere anche quello delle colonie, accompagna in modo determinante la storia regionale, a partire dalle vicende connesse al suo riassetto amministrativo, contribuendo a cambiamenti dell'immagine delle città come del paesaggio.

Le tre strutture sanatoriali abruzzesi, in Figura 7, ben testimoniano la centralità e complessità dei temi progettuali proposti e diversamente risolti per questo "moderno" tipo edilizio.

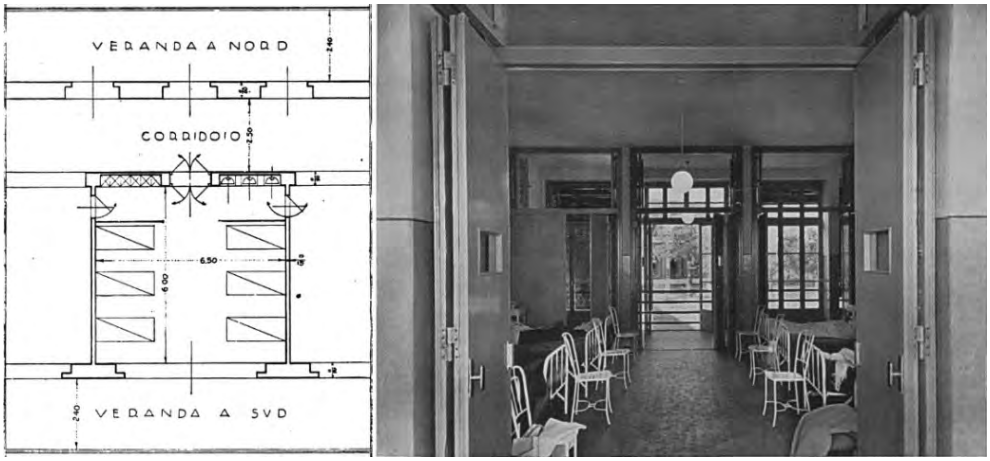


Fig. 6 – La camera–veranda: layout organizzativo e vista di una camerata a doppia esposizione (Morelli, 1934).

Fig. 7 – Il patrimonio di sanatori in Abruzzo: da sinistra, l’Ospizio Marino di Giulianova (1897), il Sanatorio di Teramo (1934) e quello di Chieti (1936).

L’Ospizio Marino di Giulianova

La costruzione dell’Ospizio Marino di Giulianova è testimonianza del carattere privatistico e benefico delle iniziative di fine Ottocento per la cura dei bambini indigenti malati di tubercolosi. Anche nel contesto giuliese è un medico, Gennaro Finamore, a promuovere una serie di iniziative che porteranno alla costruzione dell’ospizio: alla donazione in denaro del senatore teramano Vincenzo Irelli, segue quella dell’ingegner Gaetano de Bartolomei, che dona un terreno posto sul litorale marino. Così, redatto il progetto da parte dell’ingegner Nicola Palombieri, si avviano i lavori, che risultano ultimati nel 1897. La porzione di edificio realizzato, corrispondente al corpo centrale, ospita circa 70 bambini malati cui si aggiungeranno progressivamente anche bambini sani, in una forma mista di cura e profilassi. Nel 1930, sotto la gestione del Consorzio antitubercolare di Teramo, l’ospizio è destinato a sede dell’Istituto di profilassi antitubercolare e nel 1933 diviene colonia Principessa di Piemonte (Galantini, 2015).

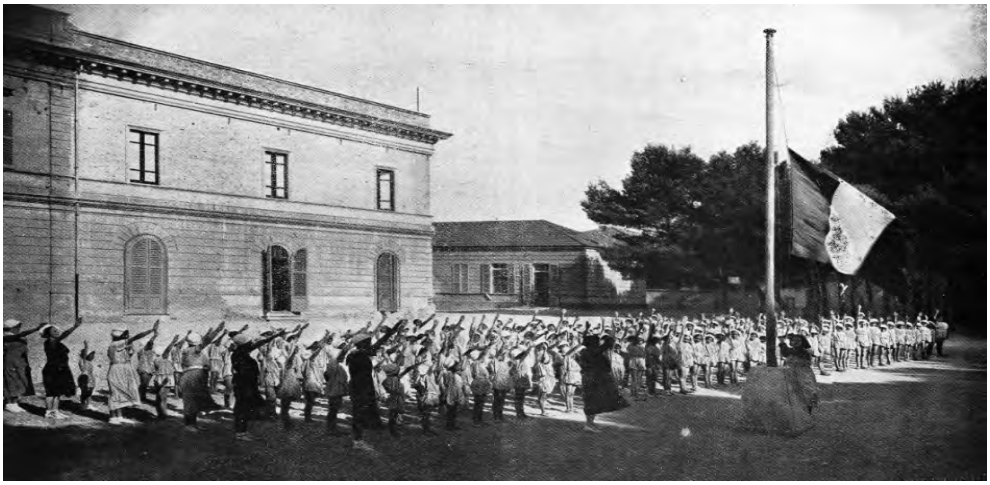


Fig. 8 – Giulianova: l'Ospizio Marino, progetto di N. Palombieri, Giulianova, 1897 (Galantini, 2015).

Alle alterne vicende della gestione dell'ospizio si accompagnano le sue fasi trasformative: il corpo principale viene ampliato con un piccolo blocco aggiunto sul lato verso la pineta per ospitare l'infermeria; nel 1912 e 1914 vengono costruiti due padiglioni in continuità con l'edificio preesistente, che assume la morfologia di una C. Nel 1920 si realizza un padiglione a sud, un edificio a un piano, perpendicolare alla linea del litorale e destinato a contenere il refettorio, mentre nell'edifico principale si aggiunge un piano nella parte centrale in modo da avere a disposizione le terrazze in copertura, in Figura 8. Negli anni successivi la sopraelevazione riguarderà l'intera struttura e il padiglione del refettorio, nonché la realizzazione del collegamento tra due corpi di fabbrica. L'edificio si riconfigura secondo un disegno omogeneo dei fronti, con la riorganizzazione del partito architettonico scandito da un'unica tipologia di bucatura.

ll sanatorio Alessandrini Romualdi di Teramo

Il sanatorio di Teramo, il primo a essere costruito in Abruzzo, viene inaugurato nel luglio del 1934. Realizzato su progetto dell'ingegner Alfonso De Albentiis, è l'esito di una vicenda durata due decenni circa, a partire dal lascito della famiglia Alessandrini-Romualdi alla Congregazione di carità (Congregazione carità di Teramo, 1924). Un primo progetto, del tipo "a padiglione" viene redatto dall'architetto Gaetano Galli nel 1925. Bandita la gara, i lavori avviati sotto la direzione dell'ingegner Alfonso De Albentiis vengono improvvisamente interrotti a causa dei gravi problemi di stabilità del terreno (s.a.,1931).

Un secondo progetto, redatto dallo stesso Albentiis, prevede un sanatorio del tipo a “padiglione unico” in località Villa Mosca, che viene inaugurato nel 1934 (S.d.P., 1933).

Il sanatorio teramano è costituito da un edificio principale, a prevalente sviluppo longitudinale, e da un padiglione a esso collegato destinato ai “servizi tecnici generali”, cui si aggiungono padiglioni satelliti, collocati nel parco e destinati agli impianti (Arduini, 1930).

L’edificio per i servizi generali a pianta rettangolare è collegato all’edifico principale attraverso un volume destinato a ospitare la cappella, al piano terra, e i refettori, ai piani superiori. L’edificio principale si sviluppa su tre livelli; il pianterreno è destinato a ospitare tutti i servizi sanitari e di cura; al primo e al secondo piano si trovano le camere da letto e di riunione, disposte a mezzogiorno, mentre sul fronte nord sono situati i corridoi, le scale e i locali accessori.

Il sanatorio ha un fronte lungo 148 metri, orientato a sud, che si sviluppa secondo una linea architettonica spezzata, leggermente concava, utile a proteggere i dormitori e le verande dai venti. Il suo partito architettonico si organizza, nella parte centrale, attraverso una diversa articolazione del modulo finestra, che replica il dimensionamento delle stanze in base al numero di degenti, con uno, tre o quattro posti letto, e della soluzione delle verande, scandita all’estremità da un triplice ordine di esili colonne, come mostrato in Figura 9.

Fig. 9 – Teramo: il sanatorio Alessandrini Romualdi, progetto di A. De Albentiis, 1934 (Azienda Sanitaria Locale di Teramo, 1934).

Il sanatorio San Camillo de Lellis di Chieti

L'edificio, costruito in località Fontanelle, replica in modo puntuale il sanatorio-tipo, per quanto riguarda il layout funzionale, ma ne altera le regole codificate proponendo una più articolata organizzazione degli accessi (s.a., 1936).

I lavori iniziano nel 1931 sotto la direzione dell'ing. Giuseppe Florio. Dopo un significativo rallentamento per le difficoltà riscontrate nella sistemazione del terreno e nella realizzazione delle fondazioni, la struttura viene inaugurata nel maggio del 1936 (s.a., 1930).

Il sanatorio occupa un'area di circa 27.000 m^2, di cui circa 20.000 destinati a parco, ed è costituito da un grande edificio pluripiano a forma di T e da uno più piccolo, posto all'ingresso dell'area con funzione di portineria. L'assetto morfologico del monoblocco evidenzia la composizione delle sue parti attraverso una diversa articolazione planimetrica dei due bracci della T. É l'asse trasversale a strutturare l'organizzazione distributiva dell'intero edificio a partire dall'ingresso, che, leggermente aggettante sul filo facciata, ne replica la maggiore larghezza del corpo di fabbrica e riporta i due corpi scala a sviluppo ottagonale, posti simmetricamente. L'asse prosegue poi, dopo aver attraversato il grande spazio del refettorio, nel settore destinato ai servizi generali e al personale medico terminando, per il solo piano terra, nella soluzione di testata con l'ingresso posto in angolo. L'asse longitudinale ordina, in modo perfettamente simmetrico gli spazi della degenza, secondo la reiterazione del modulo della stanza-veranda, e quelli dell'isolamento, nella soluzione

Fig. 10 – Chieti: il sanatorio San Camillo de Lellis progettato da G. Florio, 1930 (Italia Fascista, 1936).

di testata, a definire le due ali simmetriche del fronte principale. Questa organizzazione si rilegge nelle regole di costruzione degli alzati: il fronte principale, nella parte centrale aggettante, riporta la scansione del modulo finestra che caratterizza i prospetti laterali, organizzato però in asole verticali, mentre nelle due ali è connotato dallo sviluppo orizzontale degli spazi delle verande e dalla scansione dei sistemi di oscuramento, come mostrato in Figura 10. I fronti laterali costruiscono in modo regolare il partito architettonico attraverso la reiterazione dei moduli finestra, segnando con dei salti di scala le zone degli ingressi caratterizzati da più evidenti scorniciature.

Conclusioni

Il patrimonio sanatoriale, diffuso su tutto il territorio nazionale, è stato oggetto di un rapido e forse sommario giudizio di inadeguatezza funzionale che, se in alcuni casi ne ha decretato il progressivo processo di abbandono in altri ne ha giustificato pratiche trasformative pesanti, giustificate da necessità di un riuso, spesso ancora di tipo sanitario, o al più legato a condizioni di urgenza o occasionalità. É quanto testimoniato anche dalle vicende più o meno recenti delle strutture sanatoriali abruzzesi: il sanatorio di Chieti, utilizzato come struttura ospedaliera fino al 2006, è oggi in uno stato di totale abbandono e degrado; quello di Teramo, anch’esso destinato a servizi sanitari, dagli anni ’70 a oggi ha subito continue trasformazioni che ne hanno alterato gli spazi interni e l’aspetto architettonico con l’aggiunta di nuovi volumi. L’ospizio marino di Giulianova, dopo un periodo di non uso, a partire dagli anni ‘80 ha ospitato prima una scuola, poi un ufficio postale, il distretto sanitario e attualmente è sede della Croce Rossa e del servizio veterinario.

Il riconoscimento d’interesse e la necessità della loro tutela pongono come centrali due tematiche: da un lato la conservazione e il corretto riuso del costruito e dall’altro la preservazione e valorizzazione delle aree verdi e del complesso dei valori ambientali. Appare utile e coerente assumere proprio i contenuti dell’*enviromental design*, che hanno caratterizzato da sempre questo patrimonio, come il potenziale di resilienza cui attingere per avviare un progetto di recupero rigenerativo e di riuso adattativo.

Tutela e conservazione possono rintracciare un primo piano di confronto e relazione con le necessità poste da un’ipotesi rigenerativa che lavora sulla marginalità come «concetto-chiave vedendovi non un limite della rappresentazione e dell’esistenza, ma la condizione interna dell’esperienza possibile» (Latini, 2006). Una marginalità possibile può essere la condizione su cui misurare un progetto di conservazione attiva, in grado di assicurare l’efficacia degli interventi tra finalità conservative e potenzialità attuative. Una modulazione operativa tale da rendere conservazione e riuso termini complementari e non oppositivi, su cui definire strategie e indirizzi che non si limitino al solo dato oggettuale dell’edificio, ma ne ricomprendano anche le condizioni di marginalità storicizzate.

Altro registro può poi regolare le relazioni tra istanze conservative e necessità di rifunzionalizzazione in relazione all'ipotesi di un riuso adattivo in grado di delineare una condizione di "abitabilità" disponibile ad assorbire processi di riassetto e riorganizzazione funzionale, partendo dal presupposto di operare su un sistema "maturo" e "consolidato" da assumere come sistema invariante. La previsione funzionale di questo è resa agibile mediante l'individuazione di condizioni e di elementi varianti quali componenti a trasformabilità selettiva, in grado di assicurare la condizione di adattività.

Bibliografia

Arduini E. 1930. Il sanatorio ospedale "Alessandrni-Romualdi". Il solco, Organo della Federazione Provinciale Fascista Teramana, 31 agosto.

Congregazione di Carità di Teramo 1924. *Statuto dell'Opera Pia Filippo Alessandrini e Giuditta Romualdi*. Teramo: Tip. E Cart. A. De Carolis.

Corradini F. 1900. Concorso ministeriale per un sanatorio per poveri in secondo grado. L'Ingegneria Sanitaria, 3, 59-60.

Del Curto D. 2010. *Il sanatorio Alpino. L'architetture per la cura della tubercolosi dall'europa alla valtellina*. Roma: Aracne editrice

Donghi D. 1930. Stabilimenti Sanitari. Sanatori. In*: Manuale dell'Architetto*, 541-580. Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese.

Galantini S. 2015 *Giulianova tra storia e memoria. Architetture società e avvenimenti dall'età umbertina al ventennio*. Pescara: Paolo De Siena editore.

Lamarchia L. 1901. Come dovrebbe costruirsi un sanatorio per la cura dei tubercolotico. L'Ingegneria Sanitaria, 1, 1-8 e 2, 23-27.

Latini M. 2006. *Il possibile e il marginale. Saggio su Ernst Bloch*. Milano: Mimesis Edizioni.

Morelli E. 1934. L'applicazione della legge sulla assicurazione obbligatoria contro la tubercolosi. Le Forze sanitarie, 33-34, 2171- 2207.

Padova A. A. 1905. Sanatorio Umberto I di Livorno. L'Ingegneria Sanitaria, 18, 269-273.

s.a. 1900. L'esposizione di igiene in Napoli del 1900. L'Ingegneria Sanitaria, 2, 21 e 40.

s.a. 1906. Il sanatorio popolare Umberto Idella città e provincia di Milano. L'Ingegneria Sanitaria, 14, 205-210.

s.a. 1930. La Previdenza Sociale nella provincia di Chieti. Italia Fascista, Editoriale ,1-3, 24.

s.a. 1931. L'ospedale sanatoriale di Teramo. Il primo in costruzione in Abruzzo. La Tribuna. Cronache d'Abruzzo, Agosto, Editoriale.

s.a 1936. Attraverso gli ospedali. S.E. Biagi inaugura il sanatorio antitubercolare della provincia di Chieti. L'Ospedale maggiore, Editoriale 5, 235-235.

Sabbatani S. 2005. La nascita dei sanatori e lo sviluppo socio-sanitario in Europa e in Italia. La lotta alla tubercolosi dal periodo post-risorgimentale al 1930. Le infezioni in medicina, 2, 123-132.

Serafini A. 1900. Principi d'igiene applicati all'ingegneria. L'Ingegneria Sanitaria, 12, 236-238.

S.d.P. 1933. L'Ospedale sanatoriale di Teramo. Popolo di Roma, IX(ottobre), 241.

Zubiani A. 1898. *La cura razionale dei tisici e i sanatori*. Milano: Ulrico Hoepli.

Mario Marchetti

La nascita del Settore Astronautico in Italia

The birth of the astronautical sector in Italy

Sommario
In Italia i primi studi sulla moderna missilistica risalgono al periodo antecedente la seconda guerra mondiale. In realtà l'interesse era già vivo da diversi anni, ma era molto settoriale e la sua maturazione avvenne solamente durante e subito dopo il conflitto. Nel 1937 una delegazione italiana, composta da eminenti scienziati e tecnici delle Università di Roma, Pisa, Torino e del Genio Aeronautico, tutti appartenenti all'A.I.D.A., Associazione Italiana di Aerotecnica, fondata nel 1920, si recò, su invito della Associazione aeronautica tedesca Lilienthal, in Germania per visitare i più importanti centri di ricerca aeronautici. Fu durante questa visita che i partecipanti poterono constatare come il settore missilistico aveva ormai raggiunto alti livelli. Ma in Italia erano ancora molti, anche accademici, che non credevano nello sviluppo del settore missilistico nonostante gli studi di Aurelio Robotti, professore al Politecnico di Torino e le ricerche che si svolgevano a Guidonia presso la D.S.S.E., Direzione Superiore Studi ed Esperienze del Ministero dell'Aeronautica, avessero già avuto rilevanza internazionale. Questa situazione di stallo non faceva altro che incrementare il divario tecnico tra l'Italia ed altri Paesi e per non peggiorarla ancora di più, un gruppo di eminenti scienziati, Gaetano A. Crocco, Antonio Eula, Enrico Pistolesi, Giorgio Abetti e Giovanni Casiraghi, allora Direttore dell'Ufficio Tecnico della Piaggio, si riunirono il 6 giugno 1951 presso l'Accademia dei Lincei a Roma e fondarono una nuova Associazione denominata A.I.R., Associazione Italiana Razzi. Lo scopo di questa Associazione era riunire le persone interessate allo studio della dinamica dei razzi e delle sue applicazioni astronautiche e divulgare la cultura dell'impiego dei razzi e la diffusione del pensiero astronautico. La nascita dell'A.I.R. decretò l'inizio dell' "era astronautica italiana" diffondendo l'interesse nelle università, nei centri di ricerca e nelle industrie. Questo lavoro descrive la successione degli eventi intercorsi nel periodo pre e post bellico, che portarono alla nascita e allo sviluppo del settore missilistico italiano, oggi chiamato "settore astronautico", culminato, in seguito, con Luigi Broglio, il padre dello Spazio Italiano.

Abstract
The first studies and research in the modern rocketry started in Italy in the period before the Second World War. Interest had indeed been great for a number of years, but it was highly sectorial and only came to fruition during and immediately after the conflict. In 1937, an Italian delegation of eminent scientists and technicians from the Universities of Rome, Pisa and Turin, and from the Corps of Air Force Engineers, all belonging to A.I.D.A., the Italian Association of Aerotechnics, was invited by the German Aeronautical Association Lilienthal, to visit the most important aeronautical research centres in Germany. It was during this visit that, those taking part, realized what high levels the modern rocketry had achieved. Already in 1933, Eugen Sänger, a professor in Vienna later involved in the development of the V-2, had proposed a remotely piloted rocket capable of reaching a flight speed of 2,500 km/h at stratospheric altitude. Yet in Italy there were many people, even within universities, who did not believe in the development of the rocketry sector, in spite of the fact that the studies carried out by Aurelio Robotti, professor at the Turin Polytechnic, and the researches going forward at Guidonia at the D.S.S.E., the Air Force Ministry's High Directorate for Studies and Tests, had already achieved international importance. This situation only served to increase the technical gap between Italy and other countries. To avoid further deterioration, a group of eminent scientists, Gaetano A. Crocco, Antonio Eula, Enrico Pistolesi, Giorgio Abetti and Giovanni Casiraghi, at the time Director of the Piaggio Technical Office, met on June 6, 1951 at the Accademia dei Lincei in Rome and founded a new Association called A.I.R.-Associazione Italiana Razzi. The purpose of this Association was bringing together the people interested in the study of rocket dynamics and its astronautical applications, and of propagating the culture of the use of rockets and the diffusion of astronautical thought. Thus came into being the A.I.R., which was the beginning of the Italian astronautical age, awakening interest in universities, research centres and industries. This work describes the series of events that followed in the pre-and post-war periods and led to the inception and development of the Italian modern rocketry, today referred to as the "astronautical sector", culminating then with Luigi Broglio, the father of Italian Space.

Analisi storica e nascita dell'A.I.R., Associazione Italiana Razzi
Agli inizi del ventesimo secolo il settore missilistico suscitava già molto interesse tra tecnici e scienziati di diverse nazionalità: il russo K.E. Ziolkovsky, l'ingegnere francese Robert Esnault-Pelterie, l'americano Robert H. Goddard, il romeno Hermann Oberth ed altri, meno famosi, ma pur sempre determinanti.

Il Prof. Goddard, padre della moderna missilistica, il 16 marzo 1926 lanciò il primo razzo a propellente liquido, in Figura 1, ad Auburn nel Massachusetts.

In Europa i lavori di Hermann Oberth, più impostati sulla formulazione mate-

matica, portarono nel 1929 alla fondazione a Berlino di una associazione missilistica amatoriale, la *Verein für Raumschiffahrt*–V.f.R., *Society for Space Travel*, con la presenza di tecnici ed esperti che costituiranno in seguito il nucleo principale su cui si svilupperà il settore missilistico tedesco: Hermann Oberth, Walter Hohmann, Werner von Braun, Eugen Sänger, Walter Dornberger e Karl H. Emil Becker.

Fig. 1 – Goddard, il primo razzo a propellente liquido.

Negli anni 1929-1933 i soci della V.f.R. lanciarono diversi razzi e nel 1931 il modello di razzo Repulsor, su cui aveva lavorato Oberth, raggiunse i 10.000 metri di altezza e fu il primo esperimento per lo sviluppo del missile da guerra V-2

Anche in ambito governativo tedesco lo sviluppo e utilizzo dei razzi era molto sentito. Nel 1935, sotto la spinta di Adolf Hitler, il Generale d'artiglieria prof. Karl Becher, il vero padre della V-2, fu il promotore della creazione di un nuovo stabilimento a Peenemünde, situato sulla costa orientale tedesca sul Mar Baltico, per la progettazione e lo studio di razzi a lunga gittata.

Ma questa fervente attività all'interno dell'Esercito non era condivisa da Hermann Göring e dallo Stato Maggiore dell'Aeronautica, anche loro desiderosi di dedicarsi al settore missilistico. La Luftwaffe decise quindi di costruire, nel 1936, un secondo stabilimento a Trauen in Germania, per lo studio dei razzi a propellente liquido. La direzione dello stabilimento fu assegnata al Prof. Eugen Sänger, specialista in missilistica e proveniente dall'Università di Vienna.

Anche in Italia erano presenti tecnici e scienziati interessati allo sviluppo della moderna missilistica. Tra i primi, Giulio Costanzi, il pioniere dell'astronautica, ufficiale del Corpo del Genio Aeronautico; nel 1914, pubblicò un articolo sulla navigazione spaziale proponendo la propulsione nucleare per i razzi.

Importanti ricerche si svolsero negli anni '30 e '40 anche a Guidonia presso la D.S.S.E., Direzione Superiore Studi ed Esperienze, dove lavoravano eminenti scienziati tra cui Antonio Eula, Gaetano A. Crocco, Antonio Ferri, Luigi Broglio, Giuseppe Schepisi, Bernardino Lattanzi, Pietro Teofilato, Renato Koch, Giorgio Bordoni, Giorgio Barzilai, Algeri Marino, Bruno Peroni, Tommaso Lomonaco, Carlo Riparbelli (Lattanzi, 1990).

Erano anni in cui l'avvento del Nazismo e del Fascismo influiva su tutti i settori industriali compreso quello aeronautico. Sia Hitler che Mussolini sapevano quanto fosse importante possedere il dominio dei cieli e per questo cercarono di incrementare il più possibile la collaborazione tra i due Paesi creando il cosiddetto *Achse Berlin-Roma auch der Lufftwarettechink*, l'Asse Berlino-Roma nel settore delle tec-

nologie aeronautiche. Questo legame prevedeva lo scambio di esperti e tecnici e la compartecipazione a congressi ed eventi.

Gli Enti istituzionali che maggiormente rappresentavano il settore aeronautico erano la *Lilienthal-Gesellschaft*, Associazione Lilienthal in Germania e l'A.I.D.A, Associazione Italiana di Aerotecnica, in Italia fondata nel 1920. In entrambe le associazioni erano presenti scienziati e tecnici appartenenti al mondo accademico ed industriale che si occupavano di aeronautica ed anche personalità politiche e semplici appassionati.

Nell'autunno del 1938 l'A.I.D.A. fu invitata a Berlino al Congresso annuale della Lilienthal. La partecipazione italiana fu numerosa, con la presenza di ufficiali del Genio Aeronautico e docenti universitari: Felice Porro, Cambilargiu, Alippi, Cosci, Eula, Minelli, Gaetano A. Crocco, Antonio Ferri, Panetti, Cremona, Capetti, Ferretti e Ferrari. Le memorie italiane furono molto apprezzate, in particolare quella di Ferri che illustrò i primi risultati sperimentali sui profili alari nella galleria ultrasonora, in Figura 2 (AIDAA-CNR,1981).

Al termine del Congresso alla sola delegazione italiana fu data la possibilità di visitare alcuni impianti scientifici situati in diverse zone della Germania.

Nel 1939 fu l'Italia, tramite l'A.I.D.A., ad invitare l'Associazione Lilienthal per mostrare il livello tecnico scientifico raggiunto nel settore aeronautico. Alla visita, sostenuta dal Ministro dell'Aeronautica e Comandante dell'Arma Aerea Feldmaresciallo Generale Göring, parteciparono un folto gruppo di rappresentanti tedeschi: il Dr. Feiedrich Seewald dei laboratori di Aerodinamica di Göttingen, il Prof. George Hans Madelung dell'Università di Stuttgart, il Dr. Claude Dornier, proprietario della Dornier e membro corrispondente dell'A.I.D.A., il Presidente della Lilienthal Dr.

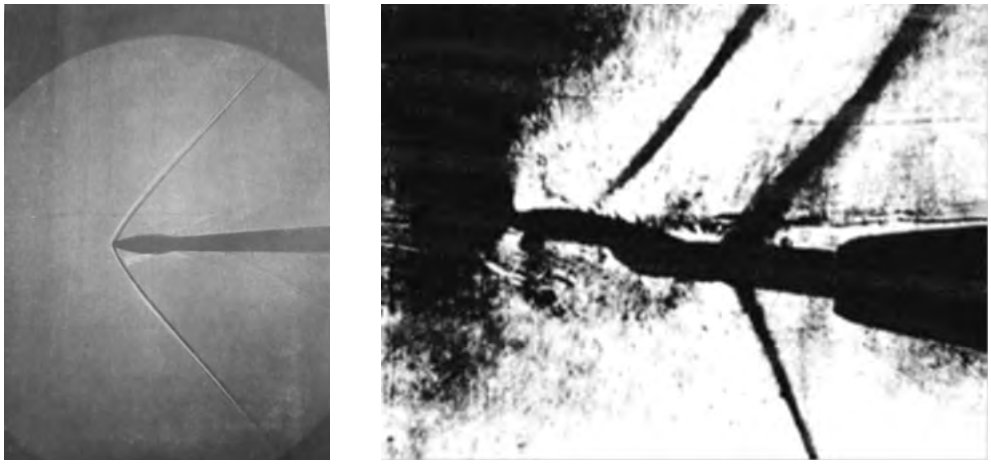


Fig. 2 – Test su profili alari effettuati nella galleria ultrasonora (Ferri, 1938).

Adolf Baeumker, ritratto in Figura 3, e altre importanti personalità civili e militari tedesche.

Le attività iniziarono l'11 aprile a Milano, con visite presso le industrie lombarde e proseguirono poi per Torino presso gli stabilimenti FIAT. Il viaggio si concluse a Roma con la tappa obbligata al Centro Sperimentale di Guidonia presso la D.S.S.E., dove il Gen. Cristoforo Ferrari illustrò le attività in corso.

L'interesse della Delegazione Tedesca era rivolto soprattutto agli sviluppi delle ricerche che venivano effettuate sulla grande galleria del vento ad alta velocità, sulle velocità iperacustiche, sulla propulsione a razzo e su tutti gli studi inerenti la missilistica.

Questi scambi reciproci permisero ai tecnici italiani di conoscere gli ultimi sviluppi sulla missilistica effettuati in Germania, sviluppi che raggiunsero il culmine durante la Seconda guerra mondiale quando Hitler utilizzò le V-2, un proiettile razzo tecnicamente molto avanzato, successivamente trasformato ed utilizzato dagli U.S.A. come vettore spaziale, Saturno V, per raggiungere la Luna.

Fig. 3 – Adolf Baeumker, Presidente dell'Associazione Lilienthal (a sinistra) e Gaetano A. Crocco, Commissario Straordinario dell'A.I.D.A.

Con l'avvento della guerra tutto cambiò ed al termine del conflitto l'Italia si trovò in una situazione tragica in ambito sia civile che militare. La D.S.S.E., che solo pochi anni prima era stata apprezzata dai Tedeschi, fu dagli stessi distrutta e successivamente bombardata dagli alleati nel 1948 (Di Martino, 2019).

L'industria aeronautica italiana, sotto la spinta di tecnici ed esperti come Giuseppe Gabrielli, Luigi Pascale, Ermenegildo Preti, Ermanno Bazzocchi, Giovanni Pegna, Alberto Faraboschi, Amedeo Caporaletti, cercava la rinascita dato che, per motivi politici ed industriali, non era mai riuscita a raggiungere quella maturazione necessaria per competere con le industrie straniere.

Ma rimanere fuori dal settore spaziale significava per l'Italia isolarsi e perdere i contatti con altri Paesi soprattutto con gli U.S.A. dove alcuni dei nostri scienziati, tra cui Antonio Ferri, Angelo Miele e Carlo Riparbelli, si erano trasferiti per l'impossibilità di lavorare nel loro Paese.

Questa situazione era fonte di tante discussioni presso l'A.I.D.A., ma non tutti i Soci, anche accademici, la condividevano. L'Italia si stava indirizzando verso lo sviluppo del trasporto aeronautico con ricerche ben finalizzate, rivolte soprattutto al settore della propulsione, ai nuovi materiali e l'avvento del settore spaziale veniva considerato secondario.

Tra i Soci dell'A.I.D.A. vi erano tuttavia diverse persone che credevano nel settore missilistico, come Crocco, Eula, Broglio e Pistolesi, che erano a conoscenza degli studi e degli sviluppi effettuati dai tedeschi e le loro applicazioni nel settore spaziale. Anche nell'ambito militare il settore spaziale assumeva sempre maggiore importanza. La persona più rappresentativa in quel periodo era certamente Luigi Broglio, allora Colonnello del Corpo del Genio Aeronautico.

Tenendo conto di queste titubanze ed al fine di non creare contrasti all'interno dell'A.I.D.A., alcuni Soci pensarono che la cosa più semplice fosse quella di costituire una nuova associazione, affiancata all'A.I.D.A., ma rivolta esclusivamente al settore missilistico e spaziale.

Si costituì, a tal proposito, un Comitato Promotore composto da Crocco, Antonio Eula, Enrico Pistolesi, Giorgio Abetti e Giovanni Casiraghi, allora Direttore dell'Ufficio Tecnico della Piaggio. Il Comitato si riunì il 6 giugno 1951 in una sala dell'Accademia dei Lincei a Roma ed in quella occasione fu fondata una nuova Associazione, l'A.I.R., Associazione Italiana Razzi, intesa allo sviluppo della missilistica e dell'astronautica il cui logo è in Figura 4.

Lo scopo principale della nuova Associazione, cosi come indicato nello Statuto, era riunire le persone interessate allo studio della dinamica dei razzi e delle sue applicazioni astronautiche e divulgare la cultura dell'impiego dei razzi e la diffusione del pensiero astronautico.

L'A.I.R. poteva essere considerata una filiazione o una sorella dell'A.I.D.A. dato che i proponenti erano gli stessi Soci. Fu questo, come disse Eula, un atto di coraggio e di fede perché allora pochi in Italia credevano nello spazio e nelle future missioni spaziali e l'A.I.R. entrò come precursore in quella che oggi viene definita "era astronautica". La nuova associazione seguì l'esempio di altre già operanti in diversi i Paesi come la *British Interplanetary Society* e l'*American Rocket Society*.

Il primo Presidente fu il Prof. Gaetano A. Crocco ed i primi membri del Consiglio furono Antonio Eula, Silva, Riccardo Corelli, Arnaldo Castagna, Giovanni P. Casiraghi e Glauco Partel, quest'ultimo ultimo Capitano della Marina ed esperto missilistico.

Fig. 4 – Logo dell'AIR.

Le adesioni di esperti, tecnici e cultori dello spazio furono subito numerose, tanto che vennero costituite alcune Sezioni sparse in tutto il Paese. La prima, nel 1957, presso la Facoltà di Ingegneria Federico II a Napoli, Presidente il Prof. Cesare Cremona; la seconda a Roma nel 1959 presso la Scuola di Ingegneria Aeronautica dell'Università La Sapienza dove si sono succeduti tre Presidenti, il Prof. Luigi Marchetti, il Prof. Salvatore Lomonaco e il Prof. Paolo Santini. Una ulteriore Sezione fu costituita nel 1959 dal Prof. Corrado Casci presso il Politecnico di Milano.

Attività dell'A.I.R. Associazione Italiana Razzi

Sotto la spinta di Eula e Crocco, l'A.I.R. iniziò subito la sua attività partecipando a eventi nazionali e internazionali al fine di farsi conoscere e rimanere costantemente aggiornata sugli sviluppi della missilistica.

Nel 1951 Eula, Casiraghi e Partel, parteciparono, in rappresentanza dell'A.I.R., al Congresso Internazionale di Astronautica organizzato dalla *British Interplanetary Society* a Londra in Figura 5. In quella sede fu presa una decisione storica: le 10 Associazioni Nazionali presenti, provenienti da Argentina, Austria, Francia, Germania, Italia, Spagna, Svezia, Svizzera, Inghilterra e Stati Uniti d'America, si riunirono e fondarono la I.A.F. *International Astronautical Federation*, oggi il più importante organismo astronautico mondiale.

Il primo Presidente della I.A.F. fu il Prof. Eugen Sänger, nato in Boemia, esperto della propulsione a razzo e pioniere dello spazio. Subito dopo la guerra si trasferì in Francia dopo aver rifiutato la proposta di Stalin di andare in Russia dove era molto richiesto.

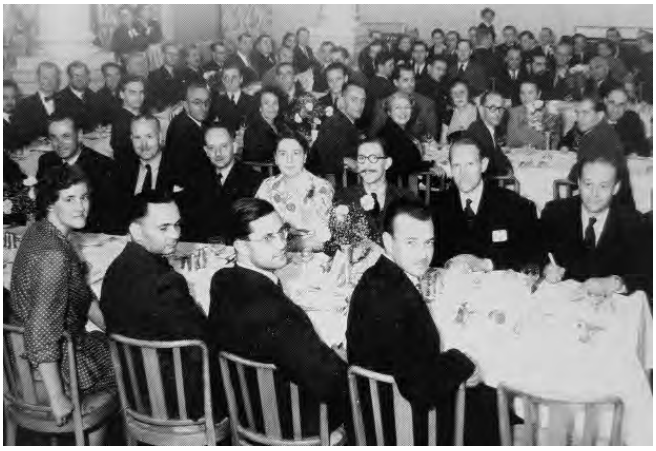


Fig. 5 – Londra: 1951, Congresso Astronautico. La delegazione italiana (a destra): A. Eula, G. Casiraghi e G. Partel.

Il Prof. Eula ed il Prof. Sänger erano legati da una profonda amicizia e stima, un legame che trovava le fondamenta sugli avvenimenti tragici che avevano coinvolto e profondamente segnato le loro vite: il dramma di due guerre mondiali, il fascismo e il nazismo.

Sänger apprezzava molto l'A.I.R., questa piccola Associazione Italiana costituita da uomini che credevano veramente nello sviluppo dell'astronautica e trovava in Eula non solo un collega ma un amico con cui condividere le idee ed i progetti (Marchetti, 2022). Questo legame continuò sino alla morte del Prof. Sänger, avvenuta nel 1964 a soli 59 anni, mentre insegnava all'Università di Stoccarda.

L'attività principale della I.A.F. è, ancora oggi, il Congresso Internazionale e l'A.I.R. ha sempre partecipato con i propri Soci a tutti i Congressi presentando diverse memorie.

L'Associazione era considerata tra le più serie e più idonee a portare contributi scientifici importanti per il progresso dell'astronautica. All'interno dell'A.I.R. erano presenti scienziati molto apprezzati all'estero: il Prof. Luigi Crocco, figlio di Gaetano ed esperto di gasdinamica e teoria della combustione, il Prof. Riccardo M. Corelli specialista nel settore dei propellenti per razzi, il Prof. Corrado Casci del Politecnico di Milano ed il Prof. Dino Dini dell'Università di Pisa entrambi esperti di propulsione aeronautica e spaziale.

Nel IV Congresso svoltosi a Zurigo nel 1953, l'A.I.R. ebbe un grande successo tanto che si iniziò a parlare della possibilità di organizzare un Congresso I.A.F. in Italia. Nel successivo Congresso, svoltosi a Copenaghen nel 1955, i due rappresentanti Italiani, Eula e Partel, proposero formalmente la candidatura italiana e ottennero unanime consenso.

Il Congresso ebbe luogo a Roma, nel settembre 1956, nel Palazzo dei Congressi dell'EUR, in Figura 6. Alla Cerimonia inaugurale intervennero il Presidente della Repubblica On. Antonio Segni e il Sindaco di Roma On. Tupini. Fu un grande successo, parteciparono 500 Congressisti di 25 Nazioni e tra le memorie discusse otto

Fig. 6 – Roma 1956: VII Congresso IAF.

erano dei Soci A.I.R.: Corelli, Corbetta, Cremona, Crocco, Boni, Jona, Robotti e Romano.

Storica è la memoria presentata da Crocco "Giro di esplorazione di un anno Terra-Marte-Venere-Terra", che si basava sullo sfruttamento del campo gravitazionale di Marte e di Venere, la ben nota teoria gravity assist o fionda gravitazionale.

Il successivo Congresso I.A.F., l'VIII, si è svolto, nel 1957, a Barcellona, all'insegna dello "Sputnik 1", il satellite artificiale terrestre lanciato pochi giorni prima.

Durante il Congresso, il Consiglio stabilì che la successiva Presidenza I.A.F. avrebbe dovuto essere italiana e l'A.I.R. propose tre nominativi nell'ordine seguente: Antonio Eula, Luigi Broglio e Luigi G. Napolitano. Il Prof. Eula per motivi di salute rinunciò alla nomina proponendo la candidatura del Prof. Broglio, ma la *Nomination Committee* votò il Prof. Luigi G. Napolitano con l'astensione dello stesso Eula, unico rappresentante italiano.

Un'altra importante attività dell'A.I.R. fu la creazione di una propria Rivista chiamata Missili, unica rivista tecnico-scientifica italiana di specializzazione missilistica e spaziale. Il primo Direttore fu l'Ing. Ercole Trigona della Floresta, noto esperto nel settore missilistico che aveva ricoperto, dal 1942 al 1943, la carica di Direttore tecnico del Centro Sperimentale di Guidonia.

Il primo numero uscì nel febbraio 1959 con articoli di Gaetano A. Crocco, Luigi Napolitano e Cesare Cremona. L'articolo di Crocco riguardava le problematiche del Diritto Spaziale e i risvolti giuridici ad esso connessi; nel suo lavoro Napolitano illustrò i recenti sviluppi dell'aerodinamica, dell'aerotermodinamica e della magnetofluidodinamica. L'articolo di Cremona era invece rivolto allo studio del tracciamento delle orbite.

Nel 1965 la Rivista cambiò denominazione in Missili e Spazio per celebrare l'ingresso nello spazio del primo satellite italiano, il San Marco 1 (Di Bernardo Nicolai, 2005).

Oltre alle attività internazionali e alla propria Rivista, l'A.I.R. organizzò anche tre propri congressi nazionali negli anni 1959, 1961, 1963. Questo fervore ed interesse verso le scienze spaziali si riversò ed influì anche presso il Governo Italiano, allora presieduto da Amintore Fanfani. Nel settembre 1959 fu costituita la "Commissione per le ricerche spaziali" con Presidente Broglio preside della Scuola di Ingegneria Aeronautica della Sapienza.

Il terzo e ultimo Congresso A.I.R. si svolse a Firenze nel 1963 in collaborazione con la Società IBM che finanziò il Convegno. I temi principali erano le applicazioni aerospaziali dei calcolatori elettronici, in particolare per l'aeromissilistica e l'astronautica. Il Sindaco di Firenze On. Prof. Giorgio La Pira ricevette in Palazzo Vecchio tutti i Delegati.

La Pira ha sempre partecipato attivamente a tutti i congressi nazionali e internazionali dell'A.I.R. e dell'A.I.D.A. che si sono svolti a Firenze. Il suo non era

solo un mero interesse culturale, egli credeva nello sviluppo del settore spaziale ed i Congressi dell'A.I.R. e dell'A.I.D.A. gli permisero di conoscere l'alto livello tecnico-scientifico italiano nel settore aerospaziale; questo lo convinse ancora di più sulla necessità di incrementare la ricerca in un settore così fortemente in crescita come quello spaziale. Il suo legame con Broglio, entrambi ferventi cattolici, fu molto importante e continuò per lunghi anni. Nel 1967 intervenne presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche per sbloccare il finanziamento per il Progetto San Marco, dando la possibilità a Broglio di continuare nelle attività che portarono al lancio di diversi satelliti dalla base di Malindi in Kenya.

Questo veloce sviluppo dell'A.I.R. creò un certo imbarazzo all'interno dell'A.I.D.A. I Soci dell'A.I.R. erano per la maggior parte gli stessi dell'A.I.D.A. ma anche altri provenienti da istituzioni a forte partecipazione industriale; nel 1963 erano arrivati a 504. L'accavallamento delle attività tra le due Associazioni diventava però sempre più problematico per cui si decise di organizzare un Congresso congiunto.

Il primo Congresso A.I.D.A.-A.I.R., si tenne a Napoli nel 1965 e fu ospitato nella nuova sede della Facoltà di Ingegneria a Piazzale Tecchio. L'organizzazione fu curata dalle Sezioni napoletane dell'A.I.D.A. e dell'A.I.R. presiedute da Cremona e, per la parte scientifica, da Napolitano.

Furono presentate 80 memorie con una buona partecipazione di fisici provenienti da ambienti non aeronautici e, come argomento spaziale, furono trattate l'aerotermodinamica, l'iperaerodinamica e la superaerodinamica (Russo et al., 2012).

Anche se le attività tecnico-scientifiche erano fiorenti, il problema di tenere in vita le due Associazioni si faceva sempre più sentire. Nei Consigli e Assemblee delle due Associazioni si iniziò, sin dal 1961, a parlare di fusione ma non tutte le Sezioni erano d'accordo. L'A.I.R. promosse, nel 1963, un referendum tra i propri Soci, ma il risultato fu negativo; le Sezioni di Roma e Milano erano favorevoli alla fusione, mentre quella di Napoli, Presidente Cremona, era nettamente contraria perché temeva una forte perdita dei soci. Solo nell'Assemblea Generale Straordinaria del 16 marzo 1968, fu approvata la fusione con l'A.I.D.A.

Il 30 giugno 1969, nell'Assemblea Generale Straordinaria Congiunta A.I.D.A. e A.I.R., fu votata la fusione delle due Associazioni e scelto il nome della nuova Associazione: A.I.D.A.A. Associazione Italiana di Aeronautica e Astronautica, oggi la più importante associazione aerospaziale in Italia nel settore aeronautico e spaziale (Marchetti, 2020).

Conclusioni

L'A.I.R. ha operato per soli 18 anni, dal 1951 al 1969, un periodo breve ma con complessità politiche elevate e con uno stato sociale che, con grande coraggio, cercava di risollevarsi per dare stimolo alla ripresa economica. La guerra era appena terminata, tanti erano i problemi da risolvere e gli obiettivi prioritari erano la ricostruzione in-

dustriale, il riassetto politico-sociale, la povertà e la disoccupazione.

Le istituzioni governative dovevano raggiungere questi obiettivi in breve tempo ed il settore spaziale non era tra queste priorità.

Grazie al coraggio di alcuni uomini che sapevano quanto fosse importante e quanto avrebbe influito sul progresso civile tale settore, l'Italia è riuscita a rimanere inserita nei programmi spaziali internazionali che stavano già dando i primi frutti e di cui oggi tutto il mondo è affascinato.

Una piccola associazione, l'A.I.R. Associazione Italiana Razzi, riuscì a raccogliere esperti e scienziati e a diffondere in tutte le sedi, politiche e sociali, questa incombente necessità. La risposta fu positiva; politici come Fanfani e La Pira compresero che anche l'Italia doveva sviluppare propri programmi nel settore spaziale ed i più importanti di quel periodo, furono il Progetto SIRIO, le Missioni Spacelab e il Progetto San Marco (Caprara, 2019).

Questo è stato il contributo dell'A.I.R. e dei suoi Soci, la maggior parte dei quali erano docenti presso le Facoltà di Ingegneria delle Università Italiane.

Tra i tanti desidero ricordarne alcuni.

Antonio Eula, illustre aerodinamico, Presidente dell'A.I.D.A., A.I.R. e A.I.D.A.A., è stato il garante, insieme ad Antonio Ferri, del legame con gli U.S.A. per il Piano Marshall nel settore spaziale. Il gruppo, goliardicamente chiamato, "3C,F", costituito da Gaetano Arturo Crocco, Luigi Crocco, Cesare Cremona e Antonio Ferri. Eminenti scienziati che hanno onorato l'Italia. Se nel 1969, l'uomo ha raggiunto la Luna è anche grazie al contributo di queste persone.

L'Italia è oggi coinvolta in diversi programmi spaziali internazionali e l'A.I.D.A.A., Associazione Italiana di Aeronautica e Astronautica, le cui origini risalgono al 1920 (Marchetti, 2022), è inserita in questo contesto con associazioni aeronautiche e spaziali mondiali: l'*International Astronautical Federation*, l'*International Council of Aeronautical Sciences* e il *Council of European Aerospace Societies*. Come riconoscimento dell'eccellenza italiana nel settore aeronautico e spaziale, l'Italia ospiterà, nel 2024, i Congressi dell'I.C.A.S. a Firenze e della I.A.F. a Milano, entrambi con il supporto e l'organizzazione dell'A.I.D.A.A.

Bibliografia

AIDAA-CNR (a cura di). 1981. *Ferri Antonio. Selecta*. Roma: Tipografia Leberit.

Caprara G. 2019. *Storia Italiana dello spazio*. Milano: Bompiani.

Di Bernardo Nicolai G. 2005. *Nella nebbia in attesa del sole. Breve storia di Luigi Broglio*. Roma: Di Renzo Editore.

Di Martino B. 2019. A Lost Chance: The High Directorate for Studies and Tests (1927-1943). In: *Proceeding AIDAA 2019 Congress*, I, 377-385. Bologna: Ed. Persiani.

Ferri A. 1938. Caratteristiche aerodinamiche di in profilo alare a velocità prossime a quella del suono. In: *Atti del V Convegno Interprovinciale di Aerotecnica*, A.I.D.A., Napoli, 19-22 maggio.

Lattanzi B. 1990. *Vita ignorata del centro studi ed esperienze di Guidonia*. Roma: Istituto Bibliografico Napoleone.
Marchetti M. 2020, The History of A.I.D.A.A. The Italian Association of Aeronautics and Astronautics (1920–2020). *Aerotecnica Missili & Spazio*, 99, 157-170.
Marchetti M. 2022. *A century in the history of aeronautics and space - AIDAA, The Italian Association of Aeronautics and Astronautics*. Bologna: Editore Persiani.
Russo G., Savino R., Fortezza R. 2012. *Spazio: oltre 50 anni di storia in Campania*. Napoli: Denaro Libri.
Vallerani E. 1995. *Italy and Space.* New York: McGraw-Hill.

Laura Greco

Casi di industrializzazione edilizia in Italia: le stazioni di servizio di Andrea Marchetti e Renzo Zavanella (1947-54)

Cases of building industrialization in Italy: the service stations of Andrea Marchetti and Renzo Zavanella (1947-54)

Sommario

Il contributo intende analizzare alcune sperimentazioni sull'industrializzazione delle costruzioni in Italia nel secondo dopoguerra. A partire dal dibattito teorico e dalle realizzazioni nazionali nel decennio 1945-55, lo studio considera il segmento tipologico delle stazioni di servizio stradali. La prospettiva di analisi suggerita, sostenuta dall'esame della letteratura e dei documenti d'archivio disponibili, mira ad arricchire le conoscenze sugli sviluppi del rapporto tra canoni tipologici e apparati costruttivi nel campo delle architetture autostradali e, in termini più generali, a riferirne i caratteri specifici al più ampio orizzonte dell'industrializzazione edilizia nell'Italia della ricostruzione e dell'avvio del boom economico. L'industrializzazione della costruzione in questo ambito è rallentata, in quel frangente, dal programma delle stazioni Agip di Mario Bacciocchi (1952) che favorisce le tecniche tradizionali in opera. Cionondimeno, nella cornice nazionale si dipana un percorso di applicazioni industrializzate che dai chioschi Fiat-Petrolea di Luigi Piccinato (1938-39) giunge al dopoguerra con i progetti di Andrea Marchetti (1947-48) e di Renzo Zavanella (1954). Le stazioni prefabbricate ad elementi metallici del dopoguerra sono assunte a testimonianza di una tensione all'industrializzazione del processo progettuale e costruttivo, ispirata dall'approccio internazionale al tema, per alcuni versi alternativa alla modernità domestica delle stazioni Agip, di cui il contributo tiene comunque conto per comparare le diverse esperienze. Il lavoro di Marchetti ha gli esiti più evidenti nella stazione tipo LG, composta di elementi in lamiera di ferro e alluminio, alla cui prima versione (1947), seguono ulteriori proposte per il marchio Shell. Zavanella, nell'ambito della X Triennale di Milano (1954), presenta la Stazione Dalmine, soluzione prefabbricata in elementi metallici smontabili. Nei due casi gli elementi formali e costruttivi essenziali della stazione ricorrono a una sintassi moderna, che disegna, al di là dei manufatti Agip e degli autogrill Pavesi e Motta, un profilo ulteriore delle architetture autostradali italiane degli anni Cinquanta.

Abstract
The paper analyses some cases of building industrialization in Italy after World War II. Starting from the theoretical debate and national achievements during 1945-55, the study considers service stations. The analysis aims to enrich the knowledge on the development of the relationship between typological characters and construction systems in the field of motorway architectures and, in more general terms, to relate the specific characteristics of these buildings to the evolution of industrialization in Italy during reconstruction years and the early period of economic boom. The path of industrialized applications started from the Fiat-Petrolea kiosks of Luigi Piccinato (1938-39) and, in the post-war period, achieved the projects of Andrea Marchetti (1947-48) and Renzo Zavanella (1954). Marchetti's work had the most evident results in the LG-type station, composed of elements in iron and aluminium sheet. Zavanella presented the Dalmine station, a prefabricated solution in removable metal elements, at the X Triennale of Milan (1954). In both cases, the aesthetical and construction elements of the stations resorted to a modern language, which outlined - beyond the Agip stations and the Pavesi and Motta autogrills - a further profile of the Italian motorway architecture of the 1950s.

Introduzione
Il tema dell'industrializzazione edilizia in Italia è parte del dibattito sulle tecniche edilizie del secondo dopoguerra, come testimonia il primo convegno nazionale sulla ricostruzione tenutosi a Milano nel 1945, nel quale confluiscono i contributi di Mario Ridolfi, che manifesta l'esigenza di un coordinamento nazionale degli elementi costruttivi, e di Ignazio Gardella, che inserisce la prefabbricazione nell'ambito del processo di rinnovamento del settore edilizio nazionale (Brunetti, 1986). D'altra parte, nel quadro costruttivo e produttivo italiano si manifestano sforzi di salvaguardia delle tecniche tradizionali, avanzati in nome del ruolo socio-economico che le politiche del governo per la ripresa economica nel Paese assegnano al settore delle costruzioni.

L'area milanese si dimostra particolarmente attiva nel promuovere un'alleanza strategica tra il mondo della produzione e quello della cultura architettonica, in vista di un radicale ripensamento dell'organizzazione dei processi progettuali e costruttivi. Passaggi fondamentali di questa stagione sono la fondazione del "Centro industriale Lombardo di coordinamento per l'edilizia" (1946), i programmi della Triennale di Milano (1947-1951-1954), il lavoro della rivista Cantieri (1946-50) per «Mobilitare le intelligenze» e «aiutare gli intellettuali, […] 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, 1946).

Il rilievo assunto dalla diffusione dell'automobile alla metà del decennio Cinquanta negli scenari di ripresa economica e di trasformazione sociale, complice la promulgazione della legge n. 463/1955 "Provvedimenti per la ricostruzione di autostrade e strade", divenuta nota come Piano Romita, colloca il settore delle architetture di servizio stradali e autostradali tra i settori più originali e promettenti per la sperimentazione di nuovi approcci progettuali e costruttivi. Ambito scevro di apparati tipologici ed estetici consolidati, aperto all'applicazione di metodiche costruttive essenziali e innovative, questo segmento si era già distinto nel decennio Trenta per il progetto e la costruzione di chioschi e stazioni di rifornimento e di servizio in area urbana ed extra-urbana. Questa produzione talvolta si era caratterizzata per esperienze singolari come le stazioni autostradali sulla Venezia-Padova (1933), le realizzazioni di Mario Cereghini a Lecco (1937), la stazione a Torino di Carlo Agular (1938); in altre occasioni si era rivelata un laboratorio per la sperimentazione di tecniche di proto-industrializzazione come provano, ad esempio, i chioschi e le stazioni Petrolea-Fiat (1938-39) di Luigi Piccinato (Greco, 2021). Nel secondo dopoguerra, quei prodromi facilitano l'innesto di nuove ricerche che portano a coesistere interventi sull'edificio standard ispirati da apparati costruttivi più tradizionali, come quello di Mario Bacciocchi per l'Agip di Enrico Mattei (1952), con esperienze rivolte all'industrializzazione delle tecniche, testimoniate dal lavoro di Andrea Marchetti per Shell (1947) e dalla stazione a struttura d'acciaio di Renzo Zavanella per la X Triennale di Milano (1954). A questo vivace quadro degli anni Cinquanta seguono le vicende del decennio successivo, che registrano il ricorso netto alle tecniche industrializzate per la costruzione in serie dei manufatti. Le stazioni Agip della prima metà degli anni Sessanta e, soprattutto, i concorsi per i manufatti tipo di Agip ed Esso della fine del decennio, con i progetti di Costantino Dardi e di Vittorio De Feo, chiudono il ciclo di esperienze relative all'applicazione della tipizzazione degli elementi spaziali e costruttivi e dell'industrializzazione edilizia alle stazioni di servizio. L'analisi dei due casi presentati in questo contributo arricchisce il quadro delle conoscenze sul tema (Greco, 2010; Greco e Mornati, 2018), puntando a evidenziare gli elementi distintivi di questa parte della produzione di architetture stradali e autostradali nel più ampio quadro nazionale.

La stazione di servizio e il tema dell'edificio standard. Un laboratorio per la tipizzazione costruttiva

I caratteri funzionali e le forti implicazioni commerciali, che reclamano la riconoscibilità dell'oggetto architettonico come parte di un sistema di assistenza al viaggiatore e agli autoveicoli replicabile sul territorio, rendono fin dalle origini la stazione di servizio un campo privilegiato per l'applicazione dei principi della costruzione in serie. Nell'esperienza internazionale si annotano già negli anni Venti e Trenta del Novecento i tipi che Norman Bel Geddes mette a punto nel 1934 per la Socony, poi trasformatasi in Mobil, gli studi che Raymond Loewy predispone per Esso, quelli

che Walter Dorflin Teague conduce per la Texaco (Sompairac, 1993: 36-37; Liebs, 1985: 104-107). A queste proposte si aggiunge la sperimentazione sul tema della stazione di servizio a catalogo, promossa negli Stati Uniti da aziende come la Michel & Pfeffer Iron Works (1926) e riconducibile alla produzione di chioschi essenziali, destinati alle aree urbane. L'eco di questa esperienza d'oltreoceano si avverte nelle proposte della tedesca Olex, di cui si ricorda la serie di stazioni minimali, e, in Italia, nel repertorio dei chioschi Aquila, Agip e Petrolea (Caccia, 2012: 37-41; Greco, 2021). Nel secondo dopoguerra i marchi internazionali proseguono nel perfezionamento delle stazioni tipo, conferendo rilievo crescente all'industrializzazione del processo costruttivo, al rinnovamento dei materiali e all'uso di componenti prefabbricati, a vantaggio di sistemi a secco di rapido assemblaggio (Greco, 2010).

In Italia, le ricerche degli anni Trenta lasciano una traccia profonda, che riemerge negli sviluppi del dopoguerra. Un contributo rilevante proviene nel decennio tra le due guerre da Luigi Piccinato, con la serie dei chioschi Petrolea-Fiat (1938-39). Il repertorio propone un esempio, seppure pioneristico, di reale industrializzazione del processo di progettazione e produzione dei chioschi, con costruzione metallica e prefabbricazione degli elementi, perfezionato dall'architetto grazie alla collaborazione con la Società Costruzioni e Impianti di Fiat e la ditta Cos.Met., incaricata della produzione. Da un lato il catalogo di Piccinato costituisce i prodromi dei chioschi urbani di Agip degli anni Cinquanta, basati sull'uso di profilati metallici sagomati a freddo e di lamiere smaltate; dall'altro, esso anticipa alcuni tratti del repertorio di stazioni Agip progettato da Bacciocchi nel 1952.

Nel secondo dopoguerra il tema della stazione standard ritorna d'attualità soprattutto grazie al programma dell'Agip guidata da Enrico Mattei, volto alla riqualificazione del patrimonio esistente e, soprattutto, all'ampliamento della catena di assistenza con nuove realizzazioni. L'architetto milanese Mario Bacciocchi ne diventa il protagonista. Il repertorio di 13 tipi di chioschi, stazioni di rifornimento e di servizio sviluppato nel 1952 segna un punto di svolta nella ricerca sulla stazione standard e sulla conseguente tipizzazione costruttiva. Nonostante le premesse e la potenza del programma, il disegno dell'Agip resta però lontano da una reale industrializzazione del processo edilizio. Esso arruola la tipizzazione degli spazi e degli elementi tecnici come presidio di controllo della qualità e dell'omogeneità delle realizzazioni, riconducibili a un manuale d'uso del progetto e della costruzione della stazione familiare a progettisti, costruttori e gestori del patrimonio. Le tecniche adottate, muratura e calcestruzzo armato in opera, con pochi innesti di componenti prefabbricati, privilegiano il cantiere come luogo della costruzione e individuano la rete di piccole imprese artigiane come referente tipico dell'attuazione del programma. Ne consegue una divergenza dagli sviluppi della cornice internazionale, nella quale strutture metalliche e pannelli di lamiera e di materiale plastico sono selezionati come caratteri del nuovo indirizzo delle architetture autostradali.

Andrea Marchetti e Renzo Zavanella offrono una convinta alternativa al *mainstream* del quadro italiano, esplorando il territorio tipologico della stazione di servizio con lo strumentario tipico della costruzione industrializzata: strutture di acciaio e pannelli di rivestimento in alluminio organizzati in sezioni stratificate e assemblate a secco e soluzioni per l'isolamento termico e acustico degli interni, per l'integrazione, l'ispezionabilità e la manutenibilità degli impianti. Eredi delle sperimentazioni di Piccinato degli anni Trenta, questi sforzi puntano a coniugare i princìpi di economia costruttiva con le esigenze figurative dei nascenti concetti di *corporate image* in un laboratorio che, in accordo con un'indole tipica della cultura italiana, declina la costruzione di serie come una forma di artigianato evoluto, nel cui disegno conservare «pervicacemente margini di autonomia progettuale e creativa il più possibile ampi» (Allegri, 2019: 141), rintracciabili soprattutto nel lavoro di Zavanella. In questi sforzi emerge una preoccupazione per coniugare il progetto con la produzione, per indagare i canoni del mondo industriale senza rimanerne soggiogati, per tracciare un percorso chiaro e consapevole che leghi la piccola misura dello studio professionale alle regole della grande produzione. Le stazioni di Marchetti e Zavanella suggeriscono l'uso della costruzione metallica nella cornice di un progressivo passaggio verso l'industrializzazione edilizia. Sensibili alle vicende internazionali, nel contempo esse conservano i segni dell'habitat culturale originario, nel quale permane la consuetudine tutta italiana a far coesistere le tensioni al rinnovamento e le forze conservatrici di una sapienza costruttiva plasmatasi sotto l'egida della formazione politecnica dei progettisti lombardi del secondo dopoguerra. Questo *background* contagia, però, esponenti diversi per formazione, e finisce per riunire in questo laboratorio sulle stazioni le esperienze di Piccinato degli anni Trenta con quelle di Dardi e De Feo degli anni Sessanta-Settanta, concentrando gli sforzi, grazie soprattutto al lavoro di Renzo Zavanella, sulla ricerca di un equilibrio tra qualità estetica, correttezza costruttiva ed economia di produzione di cui l'architetto-designer si impegna a essere interprete e garante. In molti casi gli sforzi dei progettisti rimangono sulla carta o si concretizzano in pochi prototipi, condizionati dalle inerzie di un sistema produttivo non ancora pronto a sostenere le ambizioni degli autori.

Le stazioni di servizio di Marchetti

Andrea Marchetti espone nel 1949 su L'ingegnere (Marchetti, 1949) i punti cardine del suo approccio al progetto della stazione di servizio, palesando un'evidente sensibilità funzionalista che punta a privilegiare: «facilità di accesso; accoglienza confortevole; comodità di servizi di rifornimento; ingrassaggio, lavaggio, ricambio di pezzi di facile logoramento, acqua, ricarica batterie, ecc.; possibilità di servizi collaterali, come: telefono, lavabo, w.c., ecc. e, nelle stazioni isolate, fuori di città anche un piccolo servizio di bar giornali o sosta; separazione netta dalla corrente di traffico di passaggio.» (Marchetti, 1949: 499).

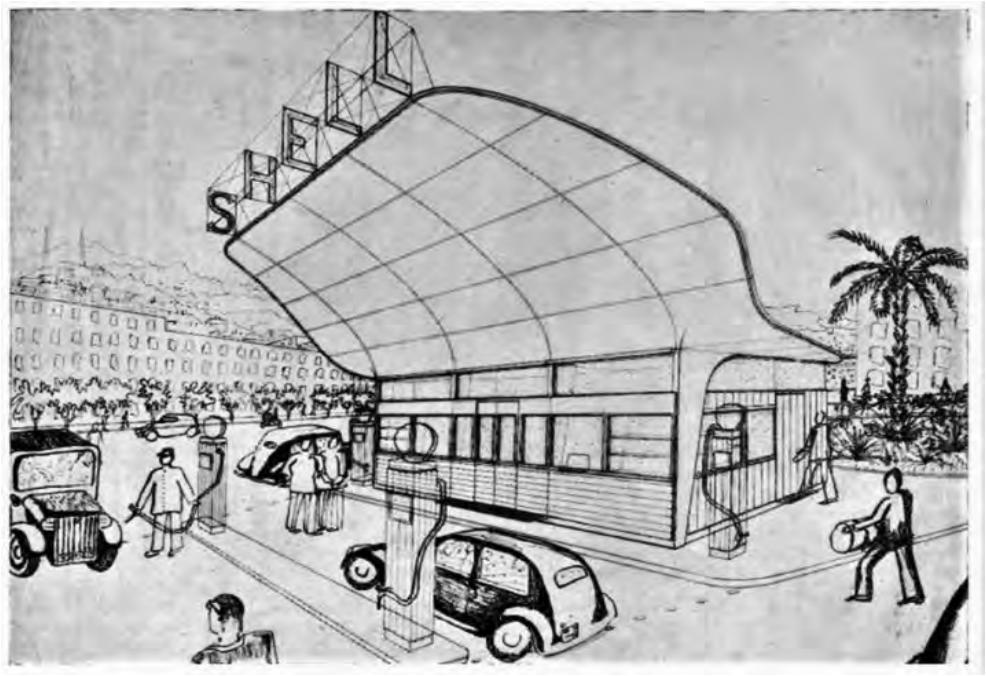


Fig. 1 – Prospettiva di studio di una stazione L.G. di grandi dimensioni (Marchetti, 1949).

Tra i fattori di cui tener conto nella progettazione e conduzione della stazione, Marchetti indica, oltre a considerazioni circa il flusso, la durata della concessione del servizio, la natura del traffico nell'area di riferimento e la relativa posizione del manufatto edilizio, la «possibilità della creazione di un intorno architettonico di pareti verdi o di schermi», in Figura 2, utili a formare un contesto accogliente, nel quale la stazione assolva correttamente alla sua funzione di spazio-attrezzatura adatta a rappresentare «la giusta aspirazione ad una elevazione sempre più spirituale dell'uomo-macchina», anche grazie all'integrazione coerente e consapevole tra struttura architettonica e apparato pubblicitario (Marchetti, 1949: 499). Marchetti, considerando il quadro funzionale e gestionale delineato per il funzionamento efficace delle stazioni di servizio, individua i caratteri peculiari che l'architetto dovrà valorizzare nel processo progettuale-costruttivo, ovvero «uniformità di forme e di linee estetiche che servono ad individuare le stazioni di una determinata marca; possibilità di adattare quanto sopra a stazioni di diversa grandezza e di diversa disposizione rispetto alla configurazione delle strade che debbono servire la stazione; praticità di costruzione, di trasporto e di montaggio; possibilità di successivi ampliamenti o trasferimenti con conseguente valorizzazione della stazione dopo un determinato tempo di esercizio;

Fig. 2 – Studio per l'integrazione di elementi verdi e barriere visive sul piazzale della stazione L.G. (Marchetti, 1949).

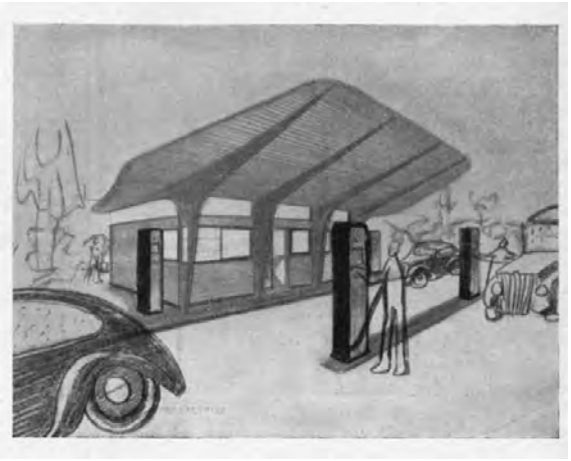


Fig. 3 – Schizzo di studio di una stazione L.G. con l'inserimento delle colonne di distribuzione del carburante (Marchetti, 1949).

eliminazione al massimo delle spese di esercizio e di manutenzione; rispondenza della stazione nei servizi interni ed esterni alle condizioni climatiche contingenti.» (Marchetti, 1949: 500).

La tipizzazione degli spazi e degli elementi costruttivi, l'industrializzazione delle tecniche e la prefabbricazione dei componenti sono indicati come strumenti coerenti e compatibili con l'approccio progettuale proposto. La produzione e l'assemblaggio in fabbrica delle parti per espletare la fase di collaudo della costruzione, il successivo smontaggio in elementi facilmente trasportabili in sito, il rimontaggio delle parti secondo la sequenza verificata in stabilimento a mezzo di operazioni semplici e attuabili anche senza manodopera specializzata per realizzare configurazioni diverse per forma e dimensione, sono passaggi pregnanti del processo che Marchetti prefigura e applica al repertorio di stazioni studiate negli anni Quaranta e Cinquanta. I componenti base sono profili sagomati di lamiera di ferro o di alluminio, pannelli in lega leggera estrusi, utilizzati nei casi più semplici per formare involucro e struttura del box prefabbricato dei chioschi urbani e combinati, nei casi di maggiore dimensione e articolazione funzionale, con strutture a travi e pilastri tamponate con i pannelli metallici, utili anche per le tramezzature interne. La struttura è ancorata su fondazioni in calcestruzzo realizzate in opera, insieme alla sistemazione del suolo e al vespaio. I pannelli impiegati per i tamponamenti hanno una sezione realizzata con procedimento a secco stratificato. Sul lato esterno essi sono verniciati a fuoco se di ferro, rifiniti con trattamento anodico se in lega leggera; sul lato interno è previsto per le pareti e i soffitti un rivestimento di legno o masonite. Tra i due strati è ricavata un'interca-

pedine riempita con materiale isolante, lana di vetro o pula di riso, utilizzabile, ove necessario, per l'integrazione degli impianti, grazie ad apposite predisposizioni nella sezione dei pannelli realizzate in stabilimento.

L'apparato costruttivo descritto è impiegato da Marchetti per la stazione di rifornimento L.G., pensata per offrire «peso totale il più leggero possibile per comodità di trasporto (via mare e via terra) a distanze considerevoli; montaggio il più semplice possibile; strutture robuste ed indeformabili, pur essendo leggere» (Marchetti, 1949: 503). La stazione L.G. è composta di due elementi essenziali; il box, a pianta rettangolare di 3 m x 6 m con un'altezza di 2,80 metri, e la pensilina anteriore, profonda 4,50 metri, il cui profilo è parte del volume complessivo del manufatto, come mostrato nelle Figure da 1 a 3. Nella configurazione base il sistema è composto di 4 pilastri a sezione variabile su cui si innestano le travi ancorate posteriormente a dei puntoni.

Le sezioni a traliccio di travi e pilastri possono essere costituite da profili di ferro o, nei casi di minor carico, da profili di alluminio. Tutti i componenti sono porzionati in tre tronchi, per rendere più agevole il trasporto, come mostrato in Fig. 4. Le strutture di elevazione sono controventate dai pannelli di tamponamento e dal tetto. Le pareti sono formate da una sezione stratificata con montaggio a secco che include lastre di alluminio con profilo ondulato a nervature longitudinali e apposita sagomatura dei bordi per il collegamento dei pannelli e la protezione dei giunti dalle infiltrazioni di aria e acqua; sul lato interno delle pareti sono montati pannelli di masonite. Tra i due rivestimenti è prevista un'intercapedine di spessore da 3 a 6 cm riempita con lana di vetro. Le pareti sono predisposte, ove necessario, per l'alloggiamento degli impianti, ispezionabili grazie allo smontaggio di alcuni pannelli del rivestimento interno. Per i divisori interni è impiegato un telaio di legno rivestito con pannelli di masonite lucidata, spessi 5 cm. I medesimi componenti sono selezionati per il rivestimento del soffitto. In linea con gli orientamenti della produzione internazionale, le stazioni di Marchetti si contraddistinguono per la silhouette fluida della pensilina. La struttura dell'elemento, integrata nello schema portante del box, è completata da un coronamento perimetrale di alluminio che accoglie nella sua sezione un impianto di illuminazione a tubi fluorescenti. All'estradosso, la superficie curva della pensilina è rivestita con uno strato di feltralluminio, montato sulle lastre di copertura, così da assicurare la tenuta all'acqua.

A proposito della facilità e dell'economia di montaggio, richiamate da Marchetti tra i fattori determinanti la concezione delle stazioni di rifornimento e di servizio, l'architetto enuclea le fasi essenziali dell'assemblaggio in sito, per il quale si stima un tempo di realizzazione di circa 10 giorni per la stazione L.G., senza tener conto delle opere di sistemazione del suolo e di realizzazione delle fondazioni e del vespaio. La sequenza operativa prevista da Marchetti e qui riportata nelle Figure 4 e 5 concerne l'esecuzione della fondazione in calcestruzzo armato e del relativo vespaio, il fissaggio delle piastre di fondazione e della base metallica, l'accoppiamento delle

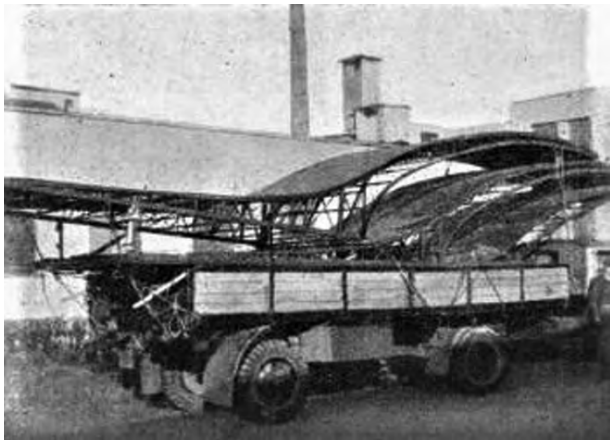


Fig. 4 – Trasporto delle trance della pensilina della stazione L.G. (Marchetti, 1949).

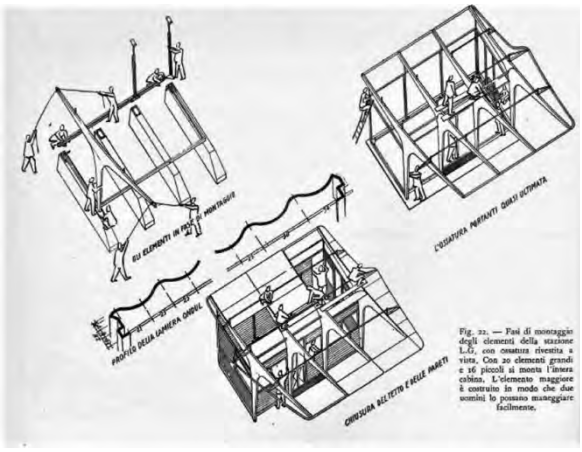


Fig. 5 – Sequenza di montaggio della stazione L.G. (Marchetti, 1949).

travi e dei pilastri e il montaggio della struttura, l'assemblaggio delle pareti perimetrali e del rivestimento estradossale della copertura, inclusa la parte della pensilina, il montaggio delle pareti e dei rivestimenti interni, l'installazione degli impianti e il montaggio del coronamento della copertura.

Il repertorio di Marchetti, che trova applicazione nella catena della Shell, prevede diverse soluzioni. Un primo tipo comprende un profilo composto dalla copertura-pensilina, che include un tratto piano corrispondente al box destinato a ospitare il locale del gestore, il deposito degli oli e il wc, e una parte più generosa, ad andamen-

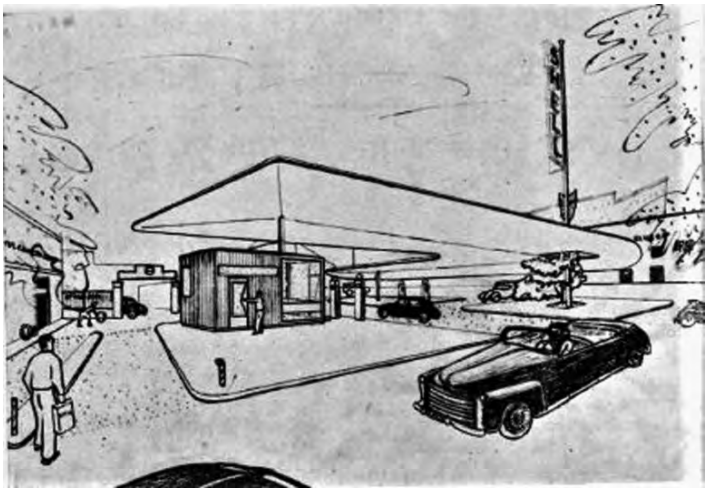


Fig. 6 – Progetto di una stazione con pensilina da 180 m² (Marchetti, 1949).

to curvilineo, che coincide con la protezione degli impianti di rifornimento. L'intero sistema di copertura è impostato sui pilastri a traliccio a sezione variabile, su cui sono posati i tronchi di trave a traliccio a sezione rettilinea e curvilinea. Un secondo schema prevede l'impiego di una copertura ombrello impostata su due pilastri a sezione circolare, da realizzare con tubi Mannesman, su cui si imposta la superficie piana della pensilina, sollevata rispetto al volume compatto del box vetrato. Il tamponamento della cabina è composto dai pannelli a sezione ondulata di alluminio già citati. Marchetti considera anche, come variante al sistema, l'impiego di tamponamenti prefabbricati in cemento colorato (Marchetti, 1948), anche se allo stato, nella documentazione disponibile, non si hanno notizie circa la loro effettiva applicazione. Lo schema a pilastri con sezione tubolare e pensilina ombrello è declinato da Marchetti, in alcuni casi in collaborazione con l'architetto Vittorio Gandolfi, per stazioni con tettoia di 180 m^2 su tre colonne e abitacolo sottostante rivestito di alluminio, in Figura 6. Questo schema è stato adottato per la costruzione di una stazione a Milano in Corso Sempione, seppure con significative variazioni nelle proporzioni tra cabina e pensilina, mentre una soluzione a due colonne tubolari è stata utilizzata per una stazione a Parma, sulla via Emilia. D'altra parte, sono previsti schemi adatti a lotti di dimensioni ridotte, composti di una pensilina di 40 m^2 su quattro pilastri, con box dotato di mezzanino ed eventuale cantinato, in Figura 7.

Le stazioni di servizio di Renzo Zavanella

La stazione a struttura d'acciaio che Zavanella sviluppa per la X Triennale di Milano (1954) è uno degli esiti della militanza del progettista mantovano nel campo delle

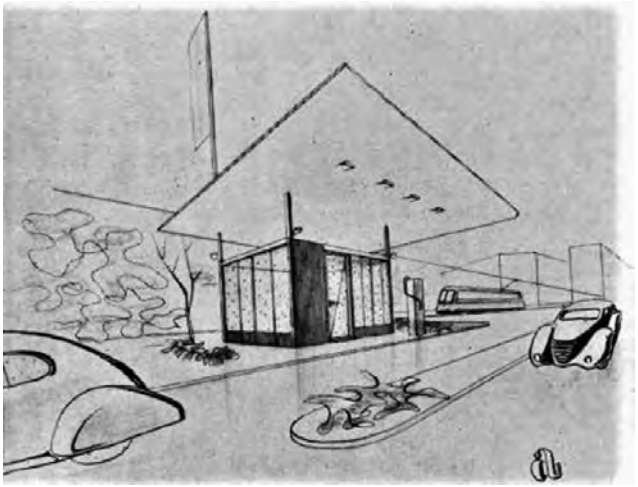


Fig. 7 – Progetto di una stazione con pensilina da 40 m² (Marchetti, 1949).

architetture per i mezzi e i servizi di trasporto, che prende le mosse nei primi anni Quaranta grazie alla collaborazione con la Società OM di Milano, per la quale mette a punto il progetto di autoveicoli e spazi produttivi ed espositivi. Questo segmento del lavoro di Zavanella è parte di «una lucida e diligente ricognizione delle molteplici possibilità che potevano derivare dalle tecniche e dai materiali messi a disposizione dall'industrializzazione, con il fine ultimo di creare oggetti e ambienti dalla elevata qualità e coerenti con le sempre più esigenti necessità dell'Uomo moderno» (Allegri, 2019: 361). Approccio, questo, che fa di Zavanella uno dei più consapevoli esponenti della riflessione sulle possibili interazioni tra progetto e produzione nel secondo dopoguerra in Italia. L'habitat milanese si rivela determinante. Zavanella ne ha assorbito gli influssi culturali fin dagli anni Trenta: partecipando all'esperienza degli allestimenti fieristici ed espositivi per promuovere i prodotti della società industriale, affermandosi nella progettazione d'interni per la facoltosa borghesia meneghina. L'architetto ha conquistato la consuetudine con la prassi costruttiva fondata sulla conoscenza dei materiali, delle tecniche e dei processi di produzione, impreziosendone gli esiti con una mai sopita sapienza artigianale rivelata dalla cura del dettaglio. Nel dopoguerra il progettista mantovano riannoda gli sforzi della ricostruzione e gli entusiasmi del rilancio economico con l'esperienza del decennio Trenta. La IX Triennale lo vede protagonista con Giulio Minoletti ed Eugenio Gentili Tedeschi dell'allestimento della I Mostra Internazionale dell'architettura in movimento e di quella per i mezzi di trasporto. Come, e più di Marchetti, Zavanella è consapevole del ruolo che questa famiglia di oggetti e di spazi conquisterà rapidamente nel panorama degli spazi lavorativi e ricreativi della società moderna. Sente forte il richiamo etico di progettista

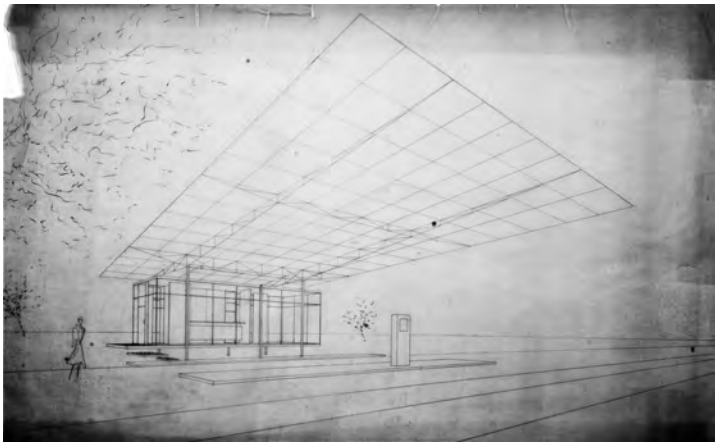


Fig. 8 – Prospettiva di studio della stazione di servizio a struttura d'acciaio Dalmine (Centro Studi e Archivio della Comunicazione, Università degli Studi di Parma, Fondo Renzo Zavanella).

impegnato a sostenere e rappresentare le trasformazioni socio-economiche e, nello specifico, il passaggio verso la motorizzazione di massa del Paese attraverso soluzioni che siano sintesi di efficienza funzionale, economia produttiva e pregnanza formale.

La stazione di servizio a struttura d'acciaio è perciò concepita da Zavanella come un modo per rendere familiare, attraverso uno spazio d'uso quotidiano, le potenzialità estetiche della costruzione metallica e dei processi di produzione industrializzati nel campo edilizio, come provano i contatti dell'architetto con l'Ufficio Italiano Sviluppo Applicazioni Acciaio-UISAA, cui sottopone il progetto di massima, raccogliendo l'interesse dell'ente e l'impegno della Società Dalmine a costruire la stazione (Barbaro e Bianchino, 1992: 256-259). L'ipotesi di Zavanella riguarda un edificio a pianta rettangolare con un locale ristoro per i viaggiatori e i servizi. L'elemento distintivo della composizione è la pensilina a sbalzo con schermo frangisole in Figura 8, sorretta da bracci metallici a traliccio connessi ai ritti della struttura del box. L'abitacolo della stazione ha tamponamenti vetrati e parti opache realizzate con pannelli di materiale plastico dai colori vivaci, mentre la pensilina è rivestita con pannelli di alluminio di misure standard.

La documentazione d'archivio disponibile testimonia l'ampia fase di *concept* della stazione, narrata dagli schizzi e dalle vedute prospettiche, cui si affiancano alcuni dettagli per lo studio dei nodi tra la struttura della cabina e la pensilina. I tralicci in tubolari d'acciaio, combinati con i pannelli prefabbricati di vario materiale e la *texture* cromatica e materica dei componenti allestiscono il programma costruttivo e figurativo di Zavanella, suggerendo una consapevolezza delle potenzialità estetiche della costruzione metallica declinata attraverso lo studio delle connessioni e delle sezioni dei

componenti e disegnata, a una scala più grande, dal ritmo della composizione modulare degli elementi prefabbricati. Diversi gli effetti che derivano, seppure il progetto non sia stato realizzato, dalla ricerca di Zavanella sulla stazione di servizio industrializzata. Da un lato, le strutture metalliche a traliccio, ricorrenti nell'iconografia di Zavanella a partire dalla pensilina OM per la Fiera di Milano del 1949, sintetizzano la cifra costruttiva e figurativa del tipo, alternativa al plasticismo delle solette di calcestruzzo armato degli edifici di Mario Bacciocchi e di Luigi Piccinato e della volta sottile del punto di servizio "Aquila" a Sesto San Giovanni di Aldo Favini. D'altra parte, il progetto della stazione si rivela per Zavanella, a differenza dei suoi colleghi, il pretesto per un'ulteriore indagine sull'universo di una composizione geometrica "tesa alla massima purezza", come ci ricorda il "rapporto tra il piano inclinato della pensilina e il reticolo modulare dell'abitacolo" in cui è evidente la scansione del ritmo tra le due parti della composizione (Barbaro e Bianchino, 1992). Così come gli schizzi della cabina testimoniano il lavoro di Zavanella sulla ricerca di un modulo geometrico-costruttivo che, grazie all'uso del colore, diventa campo della composizione figurativa cui l'architetto perviene affermando una propria visione di sintesi tra progetto, arte e produzione coerente con i bisogni della società moderna e, nello specifico, sensibile agli studi, centrali negli sviluppi degli spazi di supporto alle infrastrutture stradali e autostradali, sulla percezione dell'esperienza visiva in campo architettonico.

Conclusioni

Nei due casi analizzati gli elementi formali e costruttivi essenziali della stazione di servizio ricorrono, in entrambe le esperienze, a una sintassi moderna, che disegna, a prescindere dai diversi caratteri funzionali delle singole classi di edifici, un profilo di sviluppo ulteriore delle architetture autostradali italiane degli anni Cinquanta, al di là degli autogrill Motta e Pavesi e delle stazioni e dei motel Agip. Le esperienze di Marchetti e Zavanella affrontano il tema come territorio di frontiera tra progetto e produzione, consapevoli dei prerequisiti tipologici che candidano le stazioni di servizio a segmento campione nel quale esplorare gli aspetti costruttivi ed estetici della diffusione dell'industrializzazione negli spazi di uso quotidiano, familiari ai più. Un approccio volto a una fruizione diffusa del prodotto di serie, declinato al di là delle applicazioni più impegnative e specialistiche degli edifici per uffici e delle poche sperimentazioni sulla residenza, attraverso il quale misurare, alla piccola scala della stazione, convenienza economica, fattibilità produttiva, coerenza e purezza formale degli esiti. Marchetti e Zavanella sono lontani dalla spettacolarità dei grandi autogrill e dei padiglioni manifesto di Angelo Bianchetti e di Melchiorre Bega e, complice la dimensione urbana di molti dei loro manufatti, propongono una sintassi costruttiva realmente industrializzata, alternativa anche alla modernizzazione domestica delle coeve stazioni Agip di Mario Bacciocchi. Nelle loro stazioni a struttura metallica le parti sono prefabbricate, standardizzate per dimensioni e connessioni.

In ultima analisi, e in questa prospettiva, il lavoro di Marchetti e, soprattutto, gli studi di Zavanella, si affermano come una premessa utile alla ricerca sull'edificio tipo di Costantino Dardi e di Vittorio De Feo, indicando i contorni metodologici e sperimentali della ricerca progettuale sull'edificio da costruire in serie. Esperienze, le ultime, ambiziose e, talvolta, radicali nella selezione di mezzi e linguaggi, rimaste sulla carta o concretizzatesi in poche realizzazioni pilota, come nel caso della stazione di Dardi, ma ugualmente capaci di testimoniare la dimensione più visionaria dell'architettura delle stazioni di servizio del Novecento in Italia.

Bibliografia

Allegri D. 2019. *Renzo Zavanella 1900-1908. Architettura, design, tecnologia*. Verona: Scripta edizioni.

Barbaro P., Bianchino G. (a cura di). 1992. *L'auto dipinta*. 256-259. Milano: Electa.

Brunetti F. 1986. *L' architettura in Italia negli anni della ricostruzione*. Firenze: Alinea.

Caccia S. 2012. *Tutela e restauro delle stazioni di servizio*. Milano: Franco Angeli.

Greco L. 2010. *Architetture autostradali in Italia. Progetto e costruzione negli edifici per l'assistenza ai viaggiatori*. Roma: Gangemi editore.

Greco L. Mornati S. 2018. *Architetture Eni in Italia (1953-1962)*. Roma: Gangemi editore.

Greco L. 2021. Construction standardization in the Italian service stations (1930s-1950s). Projects by Luigi Piccinato and Mario Bacciocchi. In: Building Trades and professionalism. Proceedings of Eighth Annual Conference of Construction History Society (a cura di J.P. Campbell et al). 425-436. Cambridge: Costruction History Society.

Liebs H.C. 1985. *Main street to miracle mile. American roadside architecture*. Boston: Little Brown.

Marchetti A. 1948. Postes d'essence en Italie. Technique et Architecture, 1-2, 13.

Marchetti A. 1949. Stazioni di servizio per autoveicoli. L'Ingegnere, 5, 508.

Mazzocchi M. 1946. Mobilitare le intelligenze. Cantieri, 1, 1946.

Sompairac A. 1993. *Stations-service*. Parigi: Centre Georges Pompidou.

Elisa Boeri

Architettura e caratteri ambientali: Luigi Carlo Daneri (1900-1972) e le Case alla Foce, una piazza "per dare a Genova il mare"

Architecture and architectural environment: Luigi Carlo Daneri (1900-1972) and the Case alla Foce, a public square "to provide Genoa with the sea"

Sommario

Luigi Carlo Daneri si laurea in Ingegneria nel 1923, presso la Scuola di applicazione per Ingegneri Civili di Roma. Genovese di nascita, subito dopo la laurea decide di fare ritorno in Liguria, dove stabilisce un legame profondo e duraturo con l'architettura europea degli anni Trenta, di matrice francese e tedesca, oltre a instaurare collaborazioni stabili con ingegneri, architetti e progettisti internazionali, uno su tutti Pier Luigi Nervi. Se è vero che è con le urgenze della ricostruzione che Daneri inizia a riflettere sulla questione del bene culturale, guardando soprattutto all'aspetto paesaggistico e all'inserimento ambientale, è altrettanto corretto affermare che il tema della costruzione del paesaggio trova già nei suoi primi lavori un posto di primaria importanza. Daneri ricerca con metodo un linguaggio architettonico capace di dialogare, anche duramente, con l'aspro paesaggio della costa ligure. Attraverso i materiali dell'archivio privato Daneri e indagando le correlazioni tra progetto, costruzione e paesaggio, la presente comunicazione vuole ricollocare la figura dell'ingegner Daneri all'interno del panorama culturale italiano a partire da alcuni progetti per Genova negli anni Trenta, dai piani per la riqualificazione del centro storico al progetto per le Case alla Foce del fiume Bisagno.

Abstract

Luigi Carlo Daneri graduated in Engineering in 1923 at the Scuola di applicazione per Ingegneri Civili in Rome. Born in Genoa, immediately after his degree he decided to return to Liguria, where he established deep and long-term bonds with the European architecture of the Thirties, both French and German, as well as with international engineers, architects and designers, including Pier Luigi Nervi. Even if it was with the urgency of the post-war reconstruction that Daneri began to focus on the question of the 'cultural heritage', looking above all at the landscape and environmental insertion in the surroundings, it is also correct to say that the topic of the building of the landscape already found a place of great importance in his early works. Daneri me-

thodically sought an architectural language capable of establishing a dialogue, even a harsh one, with the rugged landscape of the Ligurian coast. The aim of this paper is to place the figure of engineer Daneri within the Italian cultural panorama, starting with a number of projects for Genoa in the 1930s, from the plans for the redevelopment of the historic centre to the project for the "*Case alla Foce*" in front of the Bisagno river.

Introduzione

La prima immagine che Genova ci porge, arrivando in treno o in autostrada, è quella di una città per opposti. Una natura aspra e fiera, inerpicata sulle colline impervie che si specchiano nel bacino marino sottostante, e in questo paesaggio l'intervento dell'uomo, con i ponti, i viadotti e le gallerie che spezzano questa unione naturale di terra e mare, gli svincoli autostradali, i gasometri e i depositi petroliferi, cinti dal porto con le sue navi imponenti. «E fu l'ultimo varo, ultimo in ordine di tempo, poiché il governo e la Marina italiana non possono volere il tramonto dello storico Cantiere, intorno al quale ora si stringe la città» (Bucci, 1912). Le parole di Eugenio Bucci, alla vigilia della Grande Guerra, ci parlano di un cantiere, quello della Foce del Bisagno, in Figura 1, in continua evoluzione già agli inizi dell'Ottocento. Il piano definitivo riguardante le zone centrali della città, illustrato definitivamente nella seduta municipale del 30 dicembre 1932, aveva sollevato il problema della necessità di una strada a mare tra Corso Italia e il porto, con una "binata" a copertura del Bisagno e prolungamento di Corso Torino. A questi interventi si affiancava la volontà di creazione di una grande piazza porticata aperta sul mare, per un totale di 10.000 m^2 di superficie, cui avrebbe fatto da sfondo un edificio per usi collettivi.

Fig. 1 – Il cantiere alla Foce del Bisagno (Archivio privato, prima metà del XX sec.).

Sul finire degli anni Venti si apre un capitolo importante per la storia urbana della città. Nel 1926 l’espansione territoriale raggiunge il proprio apice con l’annessione dei comuni limitrofi (Poleggi e Cevini, 1981: 233-247): da Sampierdarena a Voltri a ponente, da Rivarolo a Pontedecimo in Val Polcevera, a Molassana, Bavari, Struppa in Val Bisagno e infine, a levante, Apparizione, Quarto, Quinto, Nervi e Sant’Ilario, passando da circa tremila ettari di suolo occupato a poco meno di ventiquattromila, con un incremento del proprio territorio di quasi otto volte rispetto alla sua dimensione consolidata nell’Ottocento.

Con l’annessione della cintura, costituita dai diciannove comuni limitrofi, si consolida il disegno della città moderna: alla concentrazione industriale e operaia del Ponente e della Val Polcevera è contrapposta la destinazione residenziale e borghese del levante, unitamente a quella dei servizi terziari della Valle del Bisagno.

In tutta Italia, i primi anni Trenta vedono il fiorire di una serie di iniziative volte alla trasformazione dei centri storici in organismi metropolitani: a Brescia, tra il 1927 e il 1932, Marcello Piacentini dà avvio a una grandiosa operazione di rinnovo del centro cittadino, a Torino gli architetti del MIAR[1] presentano nel 1931 il ben conosciuto progetto di ridisegno della Via Roma Nuova, mentre a Milano si interviene sulle aree prospicienti San Babila (corso Littorio, oggi corso Matteotti), Piazza Affari, palazzo di Giustizia (sempre di Piacentini) e a Roma si accendono i riflettori sul caso architettonico dell’ammodernamento di via della Conciliazione.

A Genova nel febbraio del 1930 il podestà Eugenio Broccardi bandisce un concorso per il nuovo piano regolatore di alcune zone della città. Il piano deve essere circoscritto ad alcune aree, per esplicita richiesta del bando, in particolare all’area compresa tra il centro e il Bisagno, escludendo le aree del centro antico e la parte occidentale della città. Al concorso prendono parte 22 concorrenti. La commissione, formata tra gli altri da Marcello Piacentini e Cesare Albertini, assegna il primo premio al progetto *Janua* di Viale e Zappa, in Figura 2, il secondo posto al progetto *Genuensis ergo mercator* di Luigi Carlo Daneri e Luigi Ferrari, in Figura 3, e il terzo al progetto *Antoniotto Usodimare* dei milanesi Griffini, Bottoni e Pucci.

In agosto prende avvio la stesura del piano definitivo, affidato ad una nuova Commissione, sempre presieduta dal podestà, di cui fanno parte anche i rappresentanti sindacali degli ingegneri, i funzionari comunali e della sovrintendenza, Morozzo della Rocca, e due consulenti esterni, Daneri e Renzo Picasso.

La strutturazione di una città “per parti” individua nell’area di Piazza Dante l’episodio più importante della ri-progettazione urbana di un centro in qualche modo alternativo o complementare all’assetto tardo Ottocentesco, Piazza De Ferrari (Fuselli, 1932; Marchisio, 1932; Buscaglia e Cevini, 1980): «Ad una cornice unitaria che disegna la viabilità e più sommariamente il verde, le piazze e le zone di lottizzazione edilizia, corrisponde il rinvio ad una strumentazione urbanistica di dettaglio (piani particolareggiati) per le singole zone» (Cevini, 1989: 122).

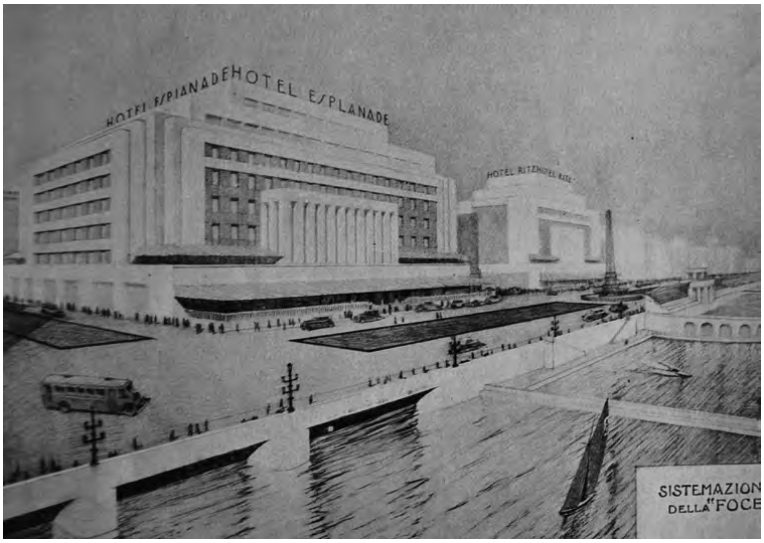


Fig. 2 – Il progetto "Janua" di Viale e Zappa, con la passeggiata a mare tra la Foce e corso Italia, 1930 (Archivio privato Daneri, Genova).

Queste sono, oltre Piazza Dante, la zona di Piccapietra, San Vincenzo, Madre di Dio, la Foce e Piazza della Vittoria. La regia dell'operazione si compie tutta all'interno degli uffici tecnici del Comune di Genova, che si pone quale unico garante e fautore del piano definitivo: il progetto di piano redatto da Morozzo della Rocca, che ridisegna piazza Dante attraverso una soluzione a quattro grattacieli, viene assunto come linea guida. Su di esso Viale e Zappa, incaricati della redazione del relativo piano particolareggiato, danno avvio al piano definitivo, che viene approvato con delibera podestarile il 7 giugno 1933 (AA.VV., 1934; Braccialini, 1935; Marchisio, 1936).

Nel giugno 1935 iniziano le demolizioni delle case e i lavori di spianamento del Morcento, mentre nel marzo del 1936 si apre il cantiere per la costruzione del primo grattacielo, su progetto di Giuseppe Rosso.

Le varie vicende che interessano il cantiere e la proprietà delle aree portano alla stesura di una variante (Marchisio, 1937:1-2) in base alla quale i grattacieli vengono portati da quattro a due. È a questo punto che entra in scena la figura di Marcello Piacentini, chiamato dal Comune alla conclusione di tutte le fasi procedurali in veste di consulente, per sostenere e affiancare l'amministrazione podestarile in un ruolo puramente politico-amministrativo[2].

Luigi Carlo Daneri e le "Case alla Foce": una piazza per "dare a Genova il mare"

Negli stessi anni in cui gli uffici tecnici comunali sono impegnati nella stesura del Piano regolatore, l'amministrazione civica bandisce, nel novembre del 1930, un concorso

Fig. 3 – Il progetto “Genuensis ergo mercator” con la Piazza alla Foce (a sinistra) e il “Grattanuvole” di Luigi Carlo Daneri (a destra) (Archivio privato Daneri, Genova).

nazionale per un piano da prevedersi nella parte orientale della città, esteso ai territori dei comuni limitrofi annessi nel 1926, da Quarto a Sant’Ilario. A confermare il disegno che suddivide la città in partiture e zone con ruoli ben precisi, il bando si propone di consolidare la tendenza manifesta nella regione di Albaro per una riqualificazione residenziale del Levante. Vincitore, nel luglio 1932, è il progetto *Genova1950* firmato ancora una volta da Daneri con Ferrari, Morozzo della Rocca, Vietti, Viale e Zappa, nel quale un interessante sistema infrastrutturale prevede il raddoppio dell’Aurelia a monte, con funzione di viabilità di scorrimento, e la realizzazione di una innovativa linea metropolitana, parte sotterranea e parte in sede ferroviaria.

I progettisti rispondenti al bando sono chiamati al rispetto dei valori «paesistici, pittoreschi e monumentali che costituiscono la tipica espressione di quella regione litoranea” oltre alla conservazione “delle scogliere, dei parchi e degli spazi verdi per la creazione di Città Giardino»[3].

Nel progetto *Genova1950* le scelte architettoniche che accompagnano la relazione allegata risultano assai differenti da quelle proposte dal gruppo ligure per il piano *Genuensis ergo mercator* di appena un anno prima, in Figura 4. Il gruppo di progettisti chiamati a raccolta da Daneri produce 32 tavole di progetti, un plastico generale in scala 1:2000 e tre plastici di particolari costruttivi. Tutto il progetto parla un franco linguaggio razionalista, lasciando definitivamente da parte quella tendenza eclettica ancora visibile nel precedente piano regolatore per le zone centrali della città. Nelle scelte tipologiche studiate per le ville unifamiliari, per le casette a schiera e per le palazzine, si ritrovano le tracce del razionalismo tedesco, adattate al cosiddetto “stile Bauhaus” delle case a schiera. Filo conduttore comune ai tre progetti presentati è la tipologia a gradoni, che Daneri continua ad elaborare negli anni successivi, nella sua incessante ricerca di continuità tra edificio e paesaggio, fino alla progettazione delle Case a Gradoni, edificate tra il 1952 e il 1955 sulla spalliera di Quinto.

Fig. 4 – Progetto "Genuensis ergo mercator" con il centro storico di Genova (Archivio privato Daneri, Genova).

In questo modo Daneri consolida i rapporti con l'amministrazione cittadina del capoluogo ligure, riuscendo così ad avere un ruolo di primo piano nella redazione del progetto definitivo. «Nel complesso quindi – scrive la commissione giudicatrice – il progetto Genova1950 si presenta studiato egregiamente e con la massima diligenza e rivela nell'autore una competenza specifica e una preparazione non comune per la risoluzione dei problemi urbanistici della nostra città»[4]. Quando infatti nel 1932 viene pubblicato il nuovo piano per le zone centrali della città, elaborato come risultante dei migliori progetti presentati in sede di concorso, la relazione stilata dalla commissione ordinata dal podestà e dall'ufficio tecnico è accompagnata da uno schizzo prospettico di Giulio Zappa che fissa i caratteri salienti del nuovo foro da costruire sulla Foce del Bisagno definendo, con minime varianti, l'assetto urbanistico della piazza su cui sono chiamati a lavorare i progettisti: una disposizione ad U che guarda verso il mare, con blocchi edilizi orientati perpendicolarmente al litorale e raccordati da un piano terreno a porticato continuo.

Nel giugno 1933 la consulta Municipale concretizza in un bando di concorso, deliberato nel novembre dello stesso anno, la ricerca di soluzione per la "Sistemazione edilizia della nuova piazza alla Foce"[5]. Si tratta, leggiamo sulle pagine della rivista municipale, di "dare a Genova il mare" poiché «È noto come il porto e, fuori di questo, la diversità delle quote impediscano, salvo che nel brevissimo tratto in fondo a via Casaregis, una intima unione della Città con il mare, ed è quindi alto titolo di benemerenza di chi ha studiato il Piano Regolatore l'aver impostato la sistemazione di tutta la zona sulla base dello sfruttamento estetico dello sfondo marino attraverso la

creazione di una piazza monumentale avente precisamente la spiaggia per un quarto dei suoi lati» (Marchisio, 1932: 163).

Il bando redatto per Genova sembra riprendere le idee di intervento che già stavano attraversando tutta la penisola: una piazza moderna «per un quartiere signorile, un centro di vita mondana che raccolga un grande Palazzo dello Sport comprendente possibilmente una piscina, grandi Alberghi, Caffè, Cinema-Teatro, saloni di esposizione e per concerti, Mostre di Belle Arti etc.»[6]. Alla scadenza definitiva per la consegna degli elaborati, il 15 marzo 1934, sette sono i progetti presentati, giudicati da una commissione costituita per l’occasione, presieduta dal podestà Bombrini e composta da rappresentanti sindacali e funzionari statali e comunali. Nel giugno dello stesso anno la giuria assegna il primo premio al progetto degli architetti Robaldo Morozzo della Rocca e Bruno Ferrati, con il motto “Zena Foxe”; meritevole del secondo premio viene giudicato il progetto “Città Nuova” di Luigi Carlo Daneri e Adriano Bagnasco, mentre il terzo premio va, a pari merito, al progetto dell’architetto Beniamino Bellati, con motto “la Vela”, e al “San Pietro” di Eugenio Fuselli ed Ernesto Puppo. I primi esiti del concorso sono pubblicati da Marcello Piacentini su *Architettura*. Scrive Piacentini (1941): «Gli architetti Robaldo Morozzo della Rocca e Bruno Ferrati presentano due soluzioni, A e B. La soluzione A è veramente notevole per l’armonia delle varie costruzioni, non rigidamente simmetriche, ma fuse in una organica, equilibrata ed unitaria composizione, dove gli elementi architettonici modernissimi sono ispirati alla serenità ritmica delle piazze italiane classiche. Il carattere lirico di questa bella composizione si addice alla aperta posizione della piazza, di fronte al mare, serena oasi di riposo e di salubre svago. Ciascun edificio dimostra all’esterno con chiarezza e modernità la struttura che nasce dalla sua funzionalità. Le pareti delle costruzioni sono supposte interamente rivestite di marmi o di pietre naturali. Nella piazza troviamo progettati: un auditorium, un palazzo per esposizioni, un palazzo dell’arte, un cinema-teatro, un albergo, uno stadio coperto, una piscina.». Passando poi ad analizzare il progetto Daneri-Bagnasco, Piacentini (1941) dichiara: «Nel progetto A, i movimenti dei corpi di fabbrica degli edifici sono contenuti entro il perimetro delle aree segnate dal piano regolatore. La piazza è concepita come centro di vita mondana e culturale e il traffico non vi penetra ma è limitato in prossimità della fronte a mare degli edifici laterali e lungo il margine a Nord. Sotto la piazza trova posto una stazione sotterranea di posteggio per automobili. A fondale della composizione, il Palazzo dello Sport. La struttura delle costruzioni è prevista in cemento armato o preferibilmente in acciaio. Le case laterali sono dotate di ampie finestre fiorite, tutte prospicienti all’esterno, nella piazza o nei vari distacchi, sistemati a giardino. Nel progetto B i criteri applicati nel precedente, sono stati perfezionati e ampliati, lo studio è qui esteso alla zona retrostante fino all’altezza dell’attuale Piazza del Popolo». I due progetti presentati risultano assai differenti nel linguaggio utilizzato. Mentre il progetto Zena Foxe «si preoccupava di applicare rivestimenti in pietra che dessero solennità all’ambiente», il progetto del gruppo guida-

to da Daneri «prevedeva funzionalisticamente una stazione sotterranea di parcheggio delle automobili, e strutture preferibilmente in acciaio» (Patrone, 1982).

L'interesse di Daneri per l'architettura funzionale esente da tradizionalismi, riscontrabile nella maggior parte della critica e della ricerca architettonica estera del tempo, alimenta l'interesse dell'ingegnere-architetto genovese verso i caratteri di quel razionalismo già sperimentato nella V Triennale del 1933 (Patrone, 1982: 63).

La modernità di Daneri, espressa in chiave funzionale e tecnologica, unitamente alla lettura dei caratteri paesaggistici del territorio, appaiono i punti di forza del progetto che, in seguito ad una richiesta di consulenza da parte del Podestà a Piacentini, risulta meritevole di costruzione, accantonando così in via definitiva il progetto di Morozzo della Rocca a favore di un progetto «ispirato ai nuovi concetti di architettura» e conciliante «le necessità pratiche con quelle estetiche» (Patrone, 1982: 50).

Daneri avvia così il progetto della grande piazza a mare affacciata sul porto di Genova, un luogo che nei decenni successivi diverrà iconico, confermando la finezza di lettura dell'identità del luogo e consolidando l'interesse dell'ingegnere-architetto genovese per il rapporto tra bene architettonico e bene paesistico, che troverà compimento nei progetti per Bernabò Brea, nel Biscione e a Mura degli Angeli. In Figura 5 è riportata una vista aerea delle Case alla Foce. Accanto alle parole che il Podestà spende sul complesso di piazza Rossetti nelle pagine di *Casabella*, interessato e ben strutturato appare il giudizio che Pier Luigi Nervi riserva all'opera nel 1938, che ne apprezza tanto la concezione generale del complesso quanto la completa dotazione di servizi e rifiniture del grande albergo progettato da Daneri, che rimarrà sulla carta.

Scrive Nervi (1938): «Daneri, in questa sua opera, ha realizzato quella perfetta fusione tra necessità architettoniche, urbanistiche e tecnico-economiche, il cui raggiungimento rappresenta la più efficace pietra di paragone per il giudizio di ogni

Fig. 5 – Luigi Carlo Daneri: vista aerea delle Case alla Foce, s.d. (Archivio privato Daneri, Genova).

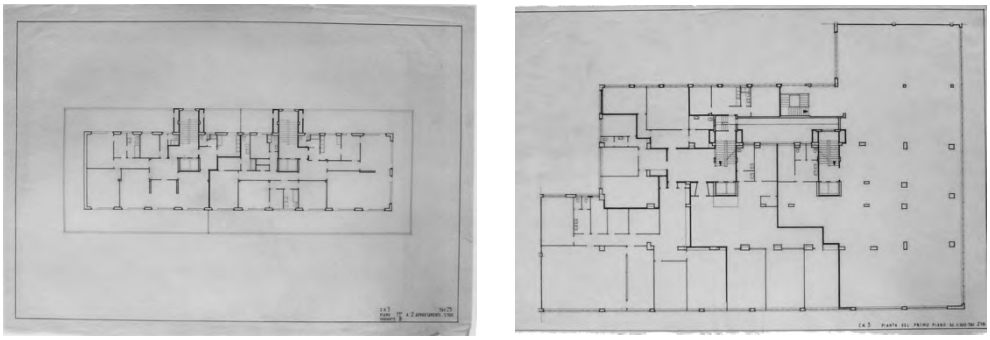


Fig. 6 – Case alte alla Foce: studio del piano tipo e del piano terra dell’edificio di fondo (Archivio privato Daneri, Genova).

complesso di edilizia cittadina.» (Nervi, 1938: 417). E più sotto, esaltando le scelte di Daneri: «Il piano regolatore delle zone centrali di Genova predisponeva alla Foce la lottizzazione in aree rettangolari. Ne derivano edifici con perimetro ad anello chiuso e all’interno chiostrine e cortili, regolamentari, ma infelici sotto tutti i riguardi. Inoltre, i vari appartamenti esposti a tutti gli orientamenti possibili restavano in gran parte privati della vista del mare e dei colli, ricchezza materiale e morale senza confronti. La soluzione Daneri ha girato elegantemente la posizione sfruttando una fortunata clausola del regolamento di piano regolatore che consentiva al Podestà di autorizzare movimenti di volume formati di sopraelevazioni, compensati da arretramenti rispetto alle fronti degli edifici, ha creato corpi di fabbricati che dalla pianta regolamentare, limitata ai primi due piani destinati a uffici, negozi ecc., passa per i piani superiori ad un corpo più sottile raggiungendo ugual volume con una maggiore altezza». In Figura 6 è riportato lo studio del piano tipo e del piano terra dell’edificio di fondo.

Il comune di Genova procede già nel 1934 all’alienazione delle aree interessate, trattando in maniera diretta con i costruttori le edificazioni dei vari lotti; nel caso della Piazza a Mare l’impresa prescelta risulta la Garbarino e Sciaccalunga di Genova, che nel 1936 risulta acquirente già di sei degli otto lotti destinati all’edificazione.

La critica accoglie il progetto con entusiasmo e il complesso edilizio pensato per una “Genova Nuova” viene varato nel 1937, presentato all’Esposizione Internazionale di Parigi[7], in seguito all’esposizione al Museum of Modern Art di New York[8], nel 1939, e alla Triennale di Milano[9] del 1940. Nella primavera del 1938 Daneri invia una lettera di presentazione del progetto e alcune fotografie del cantiere in costruzione al suo “maestro a distanza”, quel Le Corbusier che diverrà fonte di ispirazione e ammirazione per il cosiddetto “biscione” di Forte di Quezzi. La risposta di Jeanneret non si fa attendere: l’architetto svizzero-francese riconosce, in una lettera datata 10 maggio 1938, l’interesse del progetto di piazza Rossetti, incoraggiando Daneri nella ricerca della «vera forma» dell’architettura moderna[10].

Alla fine del 1938 i quattro edifici del blocco a levante della piazza sono quasi ultimati.

Conclusioni

Nelle ultime righe dell'articolo Nervi traccia una lettura del progetto di fondamentale importanza per la comprensione generale dei principi progettuali, arrivando ad annoverare la piazza a mare di Daneri tra i simboli contemporanei della "vera arte del costruire": «Agli ultimi due piani di una parte degli edifici sono ricavate autentiche vilette a due piani con giardini pensili, piscina e solarium. Per uno degli isolati è stata prevista la sistemazione a grande albergo; anche per questa soluzione la forma volumetrica dei fabbricati si presta molto bene. Il piano terreno, il primo e il secondo sono destinati a vasti impianti di caffè-ristorante con terrazzi all'aperto, sale di riunione, di esposizione, da gioco, per feste, conferenze, ecc. con i relativi servizi. All'interno degli edifici eseguiti è stato fatto largo uso di ardesia per i parapetti pieni delle scale e gli stipiti delle porte; gli atri e le scale sono rivestiti e pavimentati in marmo colorato. In ogni particolare, come nell'insieme, dominano tranquilla serietà e signorilità, un accurato studio dei dettagli, una modernità composta, logica ed equilibrata che formano a nostro parere di questo complesso uno dei più notevoli esempi della vera arte del costruire» (Nervi, 1938: 426).

Gli edifici realizzati da Daneri, legati a quattro a quattro dalla linea del mezzanino, delineano tre lati dello spazio pubblico, originariamente inteso come area di passeggio, sosta e balneazione, come mostrato in Figura 7. L'ossatura in cemento armato, chiaro e ben leggibile riferimento alla nuova modernità architettonica, come pure i dettagli tecnologici e architettonici estremamente innovativi, unifica ciò che potrebbe altrimenti restare slegato e non comunicante. Osservando il complesso di Daneri, infatti, ci si accorge immediatamente della differente distensione, potenziale elemento di rottura progettuale, nello spazio del blocco costituito dai piani terra e dai primi livelli e di quello dei restanti nove piani. Le facciate, sia del corpo di base che delle torri, sono rivestite fino al secondo piano con lastre di travertino e poi ricoperte di intonaco pietrificante di color giallo chiaro, ottenuto dalla lavorazione del cemento con colori minerali; le profilature, invece, sono in travertino e marmo, a differenza dei parapetti che, rispondendo ai nuovi principi architettonici, sono in pannelli di griglia di ferro.

Fig. 7 – Case alte alla Foce: Fotografie di uno dei blocchi appena ultimato, s.d. (1958?) (Archivio privato Daneri, Genova).

La base dell’edificio, una grande “C” porticata con pavimento in piastrelle bianco-avorio di dimensione 10 cm x 10 cm, viene occupata da bar, negozi, uffici, ristoranti, e dai grandi atrii che permettono l’ingresso alla zona più privata, articolata nelle vere e proprie torri a base rettangolare che svettano grazie al loro arretramento rispetto al bordo stradale.

Gli ingressi si sviluppano in atrii imponenti, caratterizzati da pilastri circolari e chiusi attraverso un cancello elettrico e una parete di cristallo: il catalogo dei materiali conta pavimenti in marmo nero, stipiti in marmo verde, pareti e scale rivestite in lastre di marmo rigato di Trani.

Dal secondo al nono piano il numero di appartamenti per livello varia tra due e tre, mentre il decimo e l’undicesimo piano sono occupati da appartamenti su più livelli, dotati di differenti servizi quali piscina, piccoli e puntuali spazi verdi, grandi vetrate verso il mare, ampi saloni, solarium.

La pianta tipo è occupata da tre appartamenti, di cui due più estesi e posti verso l’esterno, dove le aperture arrivano a misurare sul fronte mare 2,45 m x 5,05 m, come a dimostrare ulteriormente l’intenzione di base del progetto di ridonare l’elemento marino alla città di Genova.

Con il progetto per la Foce, la cui conclusione avverrà solo nel 1958[11], Daneri consolida la sua posizione in prima linea per quel razionalismo che faticosamente raggiunge Genova negli anni Trenta, anticipando così quella linea di lavoro che lo porterà a costruire alcuni tra i migliori esempi di architettura per la residenza della città, come i quartieri di Bernabò Brea, in Figura 8, di Mura degli Angeli o di Forte

Fig. 8 – Quartiere INA Casa Bernabò Brea a Genova Sturla, 1950-53 (Archivio privato Daneri, Genova).

di Quezzi, tre esempi virtuosi sul tema della casa collettiva, o meglio della casa «per tutti anzi per ciascuno» (Libera et al., 1943) nata nelle menti degli intellettuali italiani già tra le due guerre, per poi consacrarsi protagonista indiscussa nel secondo dopoguerra. L'unità residenziale Ina-casa di Forte Quezzi (1956-1968) coinvolgerà, oltre il coordinatore Daneri ed Eugenio Fuselli, altri sei gruppi di progettisti diretti da Claudio Andreani, Mario Labò, Robaldo Morozzo della Rocca, Mario Pateri, Gustavo Pulitzer Finali e Angelo Sibilla, ponendosi nel panorama architettonico italiano con uno sguardo europeo. Una gigantesca "macchina abitativa" per 4.400 abitanti, in Figura 9, i cui «sinuosi blocchi che sembrano voler commentare il paesaggio» (Tafuri, 1982: 62), adagiati su una valletta ad anfiteatro appena sotto la storica fortificazione ottocentesca che dal colle Quezzi domina la foce del fiume Bisagno, al limite del porto di Genova, avrebbero dovuto ospitare, oltre gli appartamenti realizzati, anche servizi sociali all'avanguardia.

Fig. 9 – Quartiere INA Casa a Forte di Quezzi, vista del cantiere, 1956-57 ca. (Archivio privato Daneri, Genova).

In queste concrete sperimentazioni di coesione tra territorio e architettura si leggono chiaramente le anticipazioni e gli studi rigorosi avviati da Daneri e dal suo gruppo con i progetti di concorso per il centro di Genova degli anni Trenta e, in modo particolare, per la Foce: una necessità, apertamente genovese, di comprensione e costruzione di un paesaggio aspro, racchiuso tra il mare e la montagna retrostante, portatore di un grande valore identitario che l'architetto-ingegnere Daneri non tralascerà mai nel portare a compimento la sua "arte del costruire".

Ringraziamenti
Ringrazio Anna Daneri Pisano per la consueta disponibilità e attenzione che riserva alle mie ricerche dedicate a suo padre e per l'impegno nel mantenere viva la memoria storica di un ingegnere, architetto e progettista che ha segnato la storia dell'architettura del Novecento.

Bibliografia
AA.VV. 1934. Le Riunioni della Consulta Municipale, Genova, 1, 17-26.
Bucci E. 1912. *Il cantiere navale della Foce 1805-1911*. Genova: E. Palagi.
Balletti F., Giontoni B. 1990. *Una città tra due guerre. Culture e trasformazioni urbanistiche*. Genova: De Ferrari Editore.

Barisione S., Fochessati M., Franzone G., Canziani A. 2004. *Architetture in Liguria dagli anni Venti agli anni Cinquanta*. Milano: Editrice Abitare Segesta.
Bettonica F., Frattini G. 1957. Recenti tendenze dell’architettura civile in Italia. Zodiac, 1, 77-88.
Boeri E. 2012. Verso L’architettura razionale: la Chiesa di San Marcellino a Genova. In: *Luigi Carlo Daneri nella cultura architettonica italiana* (tesi di laurea), 20-31. Milano: Politecnico di Milano..
Boeri E., Bucci F. 2012. Luigi Carlo Daneri, “La vera architettura non è che tecnica espressa con sentimento d’arte”. In: *Cantiere Nervi, La costruzione di un’identità* (a cura di D. Costi e G. Bianchino), 285-289. Milano: Skira.
Buscaglia C., Cevini P. 1980. Genova centro storico. Indice, 20, 11-38.
Braccialini M. 1935. Le demolizioni in Via Dante. Genova, 5, 349-353.
Cevini P. 1989. *Genova anni Trenta . Da Labò a Daneri*. Genova: Sagep.
Christen A. 1958. I nuovi quartieri coordinati a Genova ed il paesaggio ligure. Urbanistica, 23, 89-93.
Daneri L. C. 1932. *Genova 1950. Relazione al progetto di Piano Regolatore della zona di levante*. Genova: Imprese Tipografiche.
Daneri L. C. 1948. La ricostruzione in Liguria. Edilizia Moderna, 40-1-2.
Daneri L. C. *Genuensis ergo mercator. 1931. Relazione al progetto di Piano Regolatore delle zone centrali di Genova*. Genova: Stab. E.R. Marsano.
Fuselli E. 1932. Il concorso nazionale per il piano regolatore della parte orientale di Genova. Architettura, 10, 84-86.
Grossi Bianchi L. 1984. Il razionalismo di Luigi Carlo Daneri a Genova. In: *Lezioni e dibattiti del corso di dottorato di ricerca per l’A.A. 1983-84* (a cura di M. Montuori). Venezia: Cluva Università.
Libera A., Ponti G., Vaccaro G. 1943. Per tutti anzi per ciascuno. Appello di tre architetti per la carta della casa. Il popolo d’Italia, 15 giugno 1943.
Marchisio C. 1932. Il nuovo piano regolatore del centro di Genova. Genova, 2, 143-168.
Marchisio C. 1936. Le opere del comune nell’anno XIV. Genova, 10, 205-225.
Marchisio C., 1937a. Genova che si rinnova, Genova, 1-2, 40-46.
Marchisio C. 1937b. Le opere genovesi dell’anno XIV. Genova, 11, 1937, 45-54.
Marchisio C. 1941. Note sulle strutture di cemento armato nel grattacielo Invernizzi a Genova. Bollettino dei Sindacati Fascisti Ingegneri della Liguria, 9, 28-31.
Morozzo della Rocca M. C., Duranti G. 2013. *Robaldo Morozzo della Rocca Architetto. Frammenti d’archivio 01*. Genova: De Ferrari Editore.
Nervi P. L. 1938. La nuova piazza al mare alla Foce a Genova. Architettura, 7, 417-427.
Paniconi M. 1934. Concorso per la sistemazione della piazza della Foce a Genova, Architettura, 11, 672-678.
Patrone P.D. 1982 *Daneri*. Genova: Sagep Editrice.
Piacentini M. 1941. Onore dell’architettura italiana, Architettura, 263-273.
Poleggi E., Cevini P. 1981. *Le città nella storia d’Italia. Genova*. Roma-Bari: Laterza.
Ponti G. 1943. Lo stile di Daneri. Stile, 26.
s.a. 1941. Note sulle strutture di cemento armato nel grattacielo Invernizzi a Genova. Bollettino dei Sindacati Fascisti Ingegneri della Liguria, 9, 28-31.
Tafuri M. 1982. *Storia dell’architettura italiana 1944-1985*. Torino: Einaudi.
Tentori F. 1968. Daneri a Genova: architettura e inserimento ambientale. Comunità, 152, 99-109.

Note

1. Il MIAR è composto da Pagano, Levi Montalcini, Cuzzi, Aloisio e Sottsass.
2. Attraverso questo ruolo assegnatogli dal comune, Piacentini avrà modo di rinsaldare i rapporti che lo condurranno ad aggiudicarsi la progettazione e la costruzione del Grattacielo Sud di Genova. Sulla vicenda e sull'edificio vedi (Marchisio, 1937b; s.a., 1941). Una sintesi della vicenda è riportata anche in (Cevini, 1989: 128).
3. Cfr. Relazione della commissione giudicatrice del concorso. Il Piano regolatore della zona compresa tra il torrente Sturla ed il confine orientale del Comune, 1932, Genova, 8, 801-826.
4. Relazione della commissione giudicatrice del concorso. 1932. op. cit., 813.
5. L'area della Foce si rende disponibile grazie allo smantellamento dei cantieri Odero, titolari di una vecchia concessione giunta a conclusione nel 1931.
6. Bando di concorso, 1933, Genova, 12, 1003-1004.
7. Parigi 1937. Esposizione Internazionale: Diorama della sistemazione generale della Foce a Genova presentato dalla Direzione della Mostra, Padiglione dell'Italia, Salone LL. PP. E.
8. New York 1939, *Museum of Modern Art*, *Esposizione Houses and Housing*: plastico generare e disegni della sistemazione della Foce.
9. Milano 1940, VII Triennale, Sala delle maggiori architetture Italiane: plastico generale e disegni della sistemazione della Foce (presentato dal Comune di Genova). Galleria degli arredamenti d'eccezione: una sala da pranzo.
10. Lettera di Le Corbusier a Luigi Carlo Daneri, 10 maggio 1938 (Archivio privato Daneri, Genova).
11. Alcune fasi della costruzione possono essere così esemplificate: 1936-1938 costruzione e ultimazione dei quattro edifici del blocco a levante della piazza. Sempre nel 1938 cominciano i lavori degli edifici del blocco a ponente, interrotti con lo scoppio della guerra, ripresi solo nei primi anni dopo il '45 e ultimati nel 1950. L'edificio di fondo, l'ultimo in ordine cronologico, sarà realizzato solo nel 1958.

Nelly Cattaneo

Paolo Reviglio, Ingegnere: i saperi politecnici trasferiti nella Colonia Eritrea di inizio Novecento

Paolo Reviglio, Engineer: the transfer of polytechnical practice in the early 20th century Eritrean Colony

Sommario

Paolo Reviglio (Torino 1884-Asmara 1967) fece parte del gruppo di giovani ingegneri che nel 1911 affiancarono l'ing. Odoardo Cavagnari (1868–1920) nella costituzione dell'Ufficio del Genio Civile di Asmara, finalizzato alla concretizzazione del programma di "messa in valore" della Colonia Eritrea. Le opere cui l'Ufficio doveva far fronte erano di natura molto varia e includevano, tra le altre cose, bonifiche agrarie, lavori portuali, acquedotti, opere edilizie e piani regolatori; gli ingegneri chiamati da Cavagnari dovevano quindi essere molto versatili, e tale dovette risultare Reviglio, che, concluso il suo incarico presso il Genio Civile, rimase in Eritrea, dove alternò la libera professione a ruoli di responsabilità presso vari Uffici Tecnici, passando da incarichi come la ricostruzione di Massawa dopo il sisma del 1921 alla direzione dei lavori delle opere murarie della teleferica Massawa-Asmara nel 1935, alla progettazione di diverse dighe. Continuò a lavorare in Eritrea anche dopo il 1941, costituendo con la sua esperienza professionale un significativo elemento di continuità nella gestione del territorio durante l'Amministrazione Militare Britannica e la successiva Federazione Etiopica. Attraverso i documenti tecnici del suo archivio personale, è possibile ricostruire non solo una parte poco nota della storia del patrimonio costruito dell'Eritrea della prima metà del Novecento, ma anche attingere ad un enorme corpus di conoscenze formato in circa cinquant'anni di attività sul campo, che aveva portato Reviglio a una comprensione profonda della realtà eritrea. Gli errori compiuti dai primi ingegneri italiani che operarono in colonia a fine Ottocento, dovuti alla complessità di una realtà fisica mutevole e difficile da decifrare, avvalorano l'interesse per biografie professionali come quella di Reviglio, che costituisce un caso esemplare di adattamento dei saperi delle scuole politecniche italiane alla conoscenza tecnica di un contesto, come quello eritreo, del quale andavano osservati i fenomeni e definiti gli specifici parametri.

Abstract
Paolo Reviglio (Torino 1884-Asmara 1967) was part of the group of young Engineers who in 1911 joined the Eng. Odoardo Cavagnari (1868-1920) in the establishment of the *Ufficio del Genio Civile* of Asmara, aimed at implementing the program of ehnancement of the Eritrean Colony. The works that the Office had to deal with were of a very varied nature and included, among other things, urban planning, land reclamation, aqueducts etc.; the engineers recruited by Cavagnari had to be versatile, and such was Reviglio, who, concluded his position, remained in Eritrea where he alternated freelance with responsibility roles at various Technical Offices, passing from assignments such as the reconstruction of Massawa after the 1921 earthquake and the design of several dams, to the direction of the masonry works for the Massawa-Asmara ropeway in 1935-36. He continued to work in Eritrea even after 1941 (i.e. the end of the Italian colonial occupation), constituting with his professional experience a significant element of continuity in the management of the territory during the British Administration and the subsequent Ethiopian Federation. Through the technical documents of his personal archive, it is possible to outline a little known part of the history of Eritrea's built landscape, as well as to draw on an enormous *corpus* of knowledge, formed in over fifty years of activities in the field. The errors made by the first Italian engineers who worked in the colony at the end of the 19th century, due to the complexity of a physical reality difficult to understand, confirm the interest of professional biographies such as Reviglio's one, which constitute an exemplary case of adaptation of the knowledge of the Italian Polytechnic schools to the technical nderstanding of an unknown context, like the Eritrean one, which needed to be observed and defined through specific parameters.

Introduzione
Tra i complessi processi avviati dall'imperialismo e dal colonialismo europei, il trasferimento tecnologico è stato oggetto di studi importanti (Headrick, 1991) che solo recentemente, per il caso italiano, hanno iniziato a entrare nel merito di vicende specifiche (Iori e Poretti, 2014). Questo si può rivelare un campo di indagine sulla Storia dell'ingegneria molto utile per capire come la disciplina e i saperi che si andavano codificando nei politecnici tra fine Ottocento e inizio Novecento siano stati messi alla prova nelle applicazioni in contesti ignoti, come quello coloniale eritreo. Portando l'attenzione ad alcune vicende specifiche, in cui risultò evidente che certi caratteri del contesto eritreo del tutto inediti per gli ingegneri formatisi sul territorio nazionale potevano pregiudicare anche i migliori progetti, emerge l'importanza dell'ingegnere che applica i principi tecnici e teorici appresi nelle scuole politecniche sulla base di una conoscenza diretta e prolungata dei nuovi contesti. Il caso di Paolo Reviglio, attivo per circa cinquant'anni in Eritrea, permette di apprezzare il

percorso di costruzione di quel corpus di conoscenze necessario ad applicare la teoria al contesto eritreo.

Gli ingegneri nel contesto coloniale italiano di fine Ottocento: nuovi parametri progettuali da individuare e definire

Dal punto di vista prettamente storiografico, l'impresa coloniale italiana in Africa viene fatta iniziare con l'acquisto di terreni nella baia di Assab da parte dell'armatore genovese Rubattino, nel novembre del 1869, per fondare uno scalo marittimo lungo le nuove rotte per l'estremo oriente apertesi con l'ultimazione, in quello stesso anno, del canale di Suez. Queste proprietà, con la cessione al Governo Italiano nel 1882, vennero dichiarate colonia italiana.

Tuttavia fu con la presa di possesso di Massawa e delle sue adiacenze nel 1885 che prese avvio di fatto l'attività coloniale italiana: a lungo termine il mantenimento di una presenza italiana a Massawa non poteva prescindere dalla conquista dei territori più interni, sotto il controllo imperiale etiopico, che, includendo il fresco e verde altopiano, avrebbero permesso di coniugare finalità "demografiche" o "di popolamento" della colonia, a quelle commerciali, giustificando quindi l'impresa e i suoi costi agli occhi degli italiani (Del Boca, 1976). Per tutto il decennio successivo all'occupazione, le attività di carattere amministrativo e burocratico vennero disimpegnate dal personale militare e lo stesso avvenne per quelle di carattere tecnico, in carico al plotone del Genio Militare (D'Ascia, 2007) che si occupò di realizzare, spesso in contesti emergenziali, non solo fortificazioni, ma anche impianti produttivi, edifici pubblici, strutture portuali, nonché i primi tratti di strade a fondo naturale in direzione dell'altopiano.

Il caso della ferrovia Massawa-Saati

In questa avanzata verso l'altopiano, la dura sconfitta sopraggiunta a Dogali nel 1887 rese evidente che la scarsa conoscenza dei luoghi, unitamente alla mancanza di efficienti infrastrutture per il rapido trasporto di soldati, salmerie e munizioni agli avamposti militari, costituiva un punto debole tale da mettere a repentaglio la presenza italiana stessa. In questo contesto prese avvio la realizzazione della ferrovia Massawa-Saati, una linea a scartamento ridotto di 27 km che doveva collegare il principale punto di approdo e sbarco delle navi militari sulla penisola di Abd-el-Kader, di fronte all'isola di Massawa, all'avamposto di Saati, da fortificare e occupare stabilmente in vista dell'avanzata verso i villaggi di Asmara e Cheren (Maggi, 1996).

Questa, che fu la prima opera italiana in Eritrea alla scala territoriale, permette di indagare alcuni aspetti delle modalità progettuali con cui l'Ing. Emilio Olivieri, appositamente giunto a Massawa nel 1887, affrontò il nuovo contesto e, in pochi mesi, portò a termine l'opera.

Dalla dettagliata relazione descrittiva di Olivieri [1] emergono alcuni elementi particolarmente significativi. Risulta innanzitutto espressa esplicitamente la difficol-

tà nel comprendere i diversi assetti morfologici del territorio da attraversare, che per quasi l'intera tratta presentavano l'aspetto di «un labirinto di colline, di poggi, di rupi alternate da selle spartiacque di poca elevazione e racchiudenti valli e vallette, delle quali non è facile a primo aspetto il comprendere l'andamento» [1: 4].

Ancora più difficile stimare l'estensione del bacino imbrifero dei corsi d'acqua da superare, tutti a carattere stagionale e per i quali, nella totale assenza di dati pluviometrici, era impossibile calcolare la portata. I topografi dell'Istituto Geografico Militare iniziarono solo nel 1889, cioè due anni dopo, rilevamenti sistematici che permettessero la comprensione della reale estensione del reticolo idrico e la corretta mappatura delle frammentarie osservazioni geologiche. Di fronte a tante incognite, Olivieri osservò con metodo e scrupolo tutti gli indizi utili a comprendere il probabile livello di massima piena di quei corsi d'acqua temporaneamente in secca, quali la vegetazione, le caratteristiche dei depositi e la conformazione degli alvei. Nel caso del fiume Uissa, per esempio, concluse che «la portata per chilometro quadrato di bacino sarebbe stata intorno ai 2 metri cubi per secondo, cioè circa eguale a quella della Nervia presso Nizza (m.^{i} c.^{i} 1,79), della Polcevera (m.^{i} c.^{i} 1,81), e della maggior parte dei torrenti della costa ligure» [1: 11].

Il ricondurre il caso in oggetto a situazioni italiane note, più familiari nei loro aspetti idrografici/idrologici, fu sicuramente una necessità interpretativa della nuova realtà, ma pose probabilmente un limite nell'esplorazione dei fenomeni, del tutto peculiari, che avevano luogo in Eritrea. Questi tuttavia, essendo esito dei diversi regimi delle piogge stagionali, potevano essere pienamente compresi e valutati sul piano progettuale solo in seguito a osservazioni pluriennali sistematiche.

L'esito di questa scarsa conoscenza dei luoghi e del loro mutare stagionale sui ponti e sulle massicciate della linea Massawa-Saati fu evidente: questi furono infatti oggetto di numerosi interventi di ripristino e ricostruzione per tutti gli anni a seguire, fino al completo rifacimento del tracciato.

Quindici anni dopo la realizzazione dell'opera, nella Relazione Coloniale del 1902, in merito al superamento dei corsi d'acqua della linea ferroviaria, si trova scritto: «per dare un'idea dei fallaci apprezzamenti cui possono condurre le notizie insufficienti od inesatte dirò che l'attraversamento dell'Uissa era originariamente costituito da un ponte di tre luci di metri 7,50 l'una, mentre in definitiva occorsero 15 luci di 10 metri ciascuna […]. Piene anche recenti hanno dimostrato che se le nuove luci sono sufficienti allo smaltimento delle acque non hanno però nulla di eccessivo» (Martini, 1913: 133).

L'esito del progetto di Olivieri rifletteva la grande capacità di trarre dai segni sul territorio quei dati di cui non si poteva disporre, per mancanza di memoria storica e di osservazioni sistematiche[1]. Ciò che tuttavia non si poteva desumere era l'entità delle piene estive, quando gli impluvi delle pendici orientali dell'altopiano convogliavano enormi volumi d'acqua attraverso la pianura verso il Mar Rosso, con vio-

lenti picchi di piena e dando luogo a vaste distese allagate, che modificavano di anno in anno l'andamento dell'alveo principale.

Sebbene nel 1913 la rete pluviometrica fosse ancora incompleta e non si disponesse di dati registrati in modo continuativo in tutte le località d'interesse, già nei primi anni del novecento l'osservazione dei fenomeni piovosi e del loro succedersi nell'arco dell'anno aveva permesso di comprendere aspetti della realtà locale che, per il loro carattere di novità rispetto al contesto italiano, non potevano essere stati presi in considerazione. In particolare, come spiegò in quegli anni l'ing. Omodeo: «la quotidianità non è la sola caratteristica saliente delle pioggie altipiane. Esse si presentano quasi regolarmente ad ora fissa (diversa a seconda della località)», pertanto non solo non aveva senso valutare le precipitazioni medie annuali essendoci due diverse stagioni delle piogge, ma nemmeno quelle giornaliere: «la pioggia si ha solitamente sotto forma di acquazzone, della durata di poche ore (solitamente nelle prime ore del pomeriggio), intensa, rapida. Di qui le forme caratteristiche di deflusso, che per i singoli affluenti è costituito da una vera grande onda, più o meno imponente e prolungata a seconda della intensità e durata della pioggia quotidiana. […]. Tali onde di piene, talora assumono proporzioni imponenti; salgono anche per pochi istanti a valori di portate istantanee fortissimi. Le piene sono talmente brevi, che non è possibile parlare di giorni di piena, ma occorre riferirci come unità di misura del tempo all'ora» [1: 88].

Il caso delle palazzine coloniali a Taulud

Tuttavia in Eritrea non erano solo i fenomeni climatici a determinare realtà inedite per i progettisti italiani: anche alcuni edifici costruiti subito dopo l'occupazione sull'isola di Taulud, situata tra l'isola di Massawa e la terraferma, pagarono le conseguenze di questa mancata individuazione di criticità ambientali.

Sulle prime fotografie della Colonia[2] compaiono spesso due edifici, le cosiddette "Palazzine Coloniali", costruite tra il 1890 e il 1893 nelle immediate vicinanze del già esistente Palazzo del Serraglio, che costituivano per chi sbarcava una sorta di ideale porta di accesso alla Colonia, trovandosi sull'asse di percorrenza della diga che collegava Massawa a Taulud in direzione della terraferma. Questi edifici dovevano quindi rappresentare le abilità costruttive dell'Italia, contribuendo con la loro presenza ad affermarne il dominio. Si trattava di due strutture identiche affiancate per il lato corto; ciascuna era a sua volta costituita da due corpi di fabbrica semplici disposti parallelamente, composti da tre piani ed estesi sul lato lungo per 50 metri. Realizzate dal Genio Militare ricorrendo all'importazione dall'Italia di numerosi elementi, tra cui le colonnine in ghisa e i serramenti, il loro costo superò quello della ferrovia.

Le Palazzine ebbero vita molto breve: i corpi di fabbrica, le cui fondazioni erano formate da muri continui poggianti sul banco di roccia madreporica costitutiva delle isole di Massawa e Taulud, avevano cominciato a lesionarsi già prima della loro

ultimazione. Una commissione riunita nel 1900 aveva accertato che questo stato di cose era causato da un continuo e graduale cedimento del piano di fondazione: si era infatti compreso che la madrepora non aveva una formazione continua ed era attraversata da cavità o strati di fango, alterati dalle correnti sotterranee che asportavano i detriti della roccia disgregata. Quasi tutti i tecnici erano concordi sul fatto che, alla luce della disomogenea e non duratura durezza della madrepora, il carico sulle fondazioni era risultato eccessivo e nessun restauro avrebbe potuto sanare la situazione (s.a., 1901). Nel 1902 le due palazzine furono quindi demolite, ma il loro caso costituì probabilmente un momento importante nella presa di coscienza che la realtà della Colonia non era scontata e doveva ancora essere compresa.

Il nuovo secolo: gli ingegneri protagonisti silenziosi della "messa in valore" della colonia

Dopo la sconfitta di Adua del 1896, iniziò la politica del "raccoglimento", volta a stabilizzare la presenza italiana in Eritrea: ai governatori provenienti dal mondo militare succedettero figure provenienti dal mondo politico e intellettuale, come Ferdinando Martini, in carica dal 1897 al 1907, cui successe, fino al 1915, Giuseppe Salvago Raggi, i quali impressero una svolta importante all'assetto della Colonia (Aquarone, 1989; Dore et al., 2013). Il primo, nei dieci anni del suo mandato, esplorò tutte le possibilità di sviluppo economico di quei territori con l'intento di trasformare in risorsa la colonia, considerata dall'opinione pubblica un inutile fardello per l'economia nazionale. Il secondo portò a termine le attività di "messa in valore" avviate dal primo, cioè quelle opere che permettevano di portare un territorio dallo stato di natura a una condizione che rendesse possibile uno sfruttamento economicamente vantaggioso delle sue risorse.

È evidente che in questo nuovo orientamento, volto allo sviluppo economico del territorio e ad agevolare l'insediamento di italiani, le opere pubbliche assunsero una particolare importanza. Fu quindi un passaggio chiave quello di istituire un Ufficio del Genio Civile che si dedicasse allo sviluppo della Colonia in modo indipendente dalle esigenze, spesso emergenziali, dell'Esercito. Nel 1913 l'incarico di fondare questo Ufficio fu assegnato da Salvago Raggi all'ingegnere Odoardo Cavagnari (Busalla 1868-Asmara 1920), che aveva conseguito il titolo presso la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino e si era già distinto per le numerose opere di bonifica svolte durante il suo ventennale incarico presso il Ministero dei Lavori Pubblici. Proprio per studiare i problemi idraulici dell'Eritrea in vista di una colonizzazione agricola, Cavagnari era stato già chiamato nel Paese africano nel 1911, ma con l'incarico del 1913 gli ambiti progettuali da coprire inclusero anche l'edilizia, le opere stradali, la valorizzazione mineraria, la pianificazione urbana, nonché la realizzazione di reti di adduzione idrica e di fognatura, impianti per la produzione di energia elettrica e tutto ciò che necessitava alla "messa in valore" dell'Eritrea (Pu-

glisi, 1952). Cavagnari, probabilmente già in concomitanza della sua visita nel 1911, chiamò a sua volta dei giovani ingegneri, tra i quali Paolo Reviglio.

L'istituzione di un Ufficio del Genio Civile non solo permetteva di affrontare in modo organico e a lungo termine le opere da realizzare in colonia, ma garantiva, una continuità negli obiettivi e nelle presenze svincolata da logiche di arruolamento e smobilitazione militari, consentendo la formazione nel tempo di quel *corpus* di conoscenze necessario per affrontare qualsiasi progetto con i giusti parametri e l'adeguata comprensione del contesto. Questo fu l'inizio di quel processo di trasferimento tecnologico che fu in grado di garantire una continuità nelle modalità e nelle tecniche costruttive italiane, non solo nell'Eritrea dell'Amministrazione Britannica (1941-1952), ma anche nel periodo federale e coloniale etiopico (1952-1962 e 1962-1991 rispettivamente), ed ebbe probabilmente le sue radici nella capacità di chi si era formato alle scuole politecniche, il cui approccio didattico era sia teorico che pragmatico e sperimentale, di declinare i principi generali sui casi particolari.

L'attività di Paolo Reviglio in Eritrea attraverso tre progetti significativi

La comprensione di fenomeni inediti nell'esperienza sul territorio italiano, nata dalla consuetudine e dall'osservazione diretta, è estremamente evidente nella relazione che accompagna un progetto di Paolo Reviglio del 1917 per la bonifica dei terreni dell'imprenditore armeno Agtop Segullian nella valle di Sabarguma, pochi chilometri a monte di Saati, e fu sicuramente alla base di incarichi molto rilevanti che l'ingegnere ebbe in qualità di libero professionista, come la costruzione di numerosi edifici pubblici e privati a Massawa e le opere murarie della linea teleferica Massawa-Asmara del 1933-36, ai tempi il più lungo impianto trifune del mondo [2].

Nato nel 1884, Reviglio iniziò a lavorare come libero professionista e assistente ai corsi di Architettura Tecnica e di Elementi di costruzioni industriali subito dopo la laurea in Ingegneria Civile conseguita nel 1908 presso il Regio Politecnico di Torino. Nel 1906 il Regio Politecnico di Torino aveva accorpato in un'unica istituzione la Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri e il Regio Museo Industriale, il quale dal 1870 aveva assunto negli anni funzione di Centro di Studi Sperimentali, attrezzando laboratori di chimica e di elettrotecnica e, sul finire del secolo, anche un laboratorio per prove dinamometriche e di resistenza dei materiali; la costruzione lungo il Po facilitava le osservazioni di idraulica e l'organizzazione della stazione sperimentale di agraria (1871-1896). Il piano di studi del corso di Ingegneria Civile, sia prima che dopo l'ordinamento del 1906, era strutturato in cinque anni[3]: dedicava una grande attenzione alle tecniche della rappresentazione (Pugno, 1959), come sarà poi chiaramente visibile nei progetti di Reviglio, e prevedeva nell'ultimo biennio dei corsi che coprivano l'ampio ventaglio delle opere che un ingegnere poteva essere chiamato a progettare, dalle costruzioni civili e industriali, a ponti, strade, ferrovie, nonché materie riguardanti l'idraulica agricola e le bonifiche.

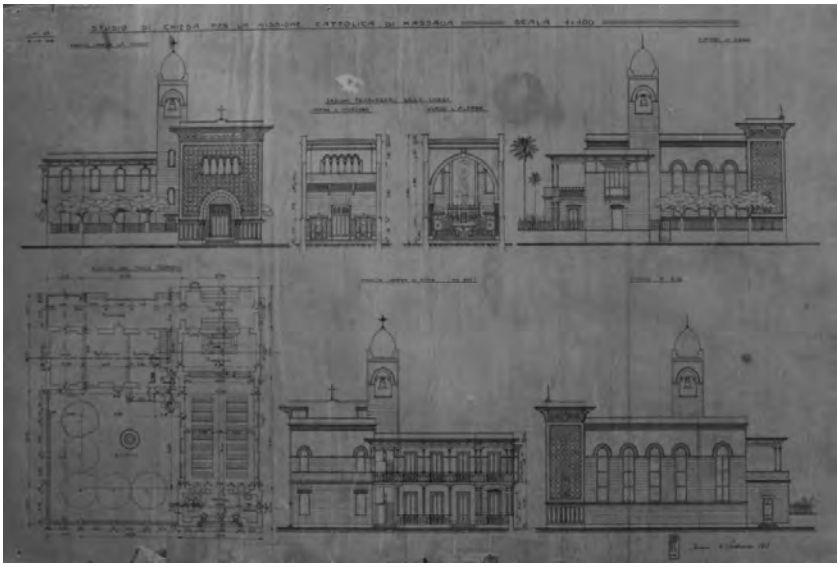


Fig. 1 – P. Reviglio: studio di chiesa per la missione cattolica di Massawa, 1913 (Archivio Privato Matteoda-Reviglio).

Dal *Curriculum Vitae* di Reviglio e dalle memorie custodite nell'Archivio Privato Matteoda-Reviglio ad Asmara, si ha notizia di un primo viaggio in Eritrea nel 1911, quasi certamente in concomitanza della prima visita di Cavagnari, a seguito del quale progettò a distanza, da Torino, alcuni edifici a Massawa, tra i quali la chiesa in Figura 1, probabilmente non realizzata, e di un vero e proprio trasferimento nel giugno del 1915 per assumere la carica di Capo Sezione per l'Edilizia dell'Ufficio del Genio Civile con sede ad Asmara. Da luglio 1921, come libero professionista, svolse la sua attività nei lavori per la ricostruzione di Massawa, distrutta dal terremoto. Rientrò in servizio nel settore pubblico nel marzo 1933, chiamato dall'Ingegnere Capo dell'Ufficio delle Opere Pubbliche, ex Genio Civile, per assumere la direzione della costruzione delle opere murarie per la teleferica Ghinda-Asmara, che divenne poi la linea Massawa-Asmara, e riprese la libera professione nel 1938. Nell'aprile del 1950 fu chiamato all'Ente per la Costruzione e l'Esercizio degli Acquedotti-E.C.E.A. per assumere la carica di Capo Ufficio della Sezione di Massawa e pochi mesi dopo fu trasferito ad Asmara con il ruolo di Capo Compartimento per tutta l'Eritrea. Dal 1952 riprese la libera professione, dedicando studi di dettaglio ai problemi idraulici del territorio in vista di un razionale e metodico sfruttamento dei corsi d'acqua per la produzione di energia elettrica e per l'irrigazione. Nel 1962 fu al *Public Work Directorate* di Asmara, facente capo allo stato federale eritreo del Governo Imperiale, dove si occupò principalmente di strade.

Tra le sue carte sono reperibili numerosi progetti di dighe a scopo irriguo, tavole di progetti di edifici, macchinari e impianti, perfino elementi di arredo, nonché relazioni e studi sul territorio dal punto di vista idrografico e note su possibili linee di sviluppo dell'Eritrea.

Piantagione di Tabacco a Sabarguma

Nel 1917 Reviglio svolse, sotto la guida di Cavagnari, uno studio per l'ottimizzazione dell'apporto idrico ai terreni nella piana di Sabarguma coltivati a tabacco dell'armeno Agtop Segullian (1865-1935) fin dal 1900, anno in cui lo stesso imprenditore aveva anche avviato a Massawa una manifattura di sigarette (Puglisi, 1952). La valle di Sabarguma si trova pochi chilometri a monte di Saati, lungo la via che collega Massawa all'altopiano, ed è soggetta agli stessi fenomeni climatici e alluvionali che caratterizzano la movimentata piana dell'entroterra costiero dove correva la linea ferroviaria costruita nel 1887-88.

La relazione che accompagna il progetto, la cui planimetria è purtroppo perduta, denota una conoscenza accurata e documentata in primo luogo dell'economia legata al commercio e alla trasformazione del tabacco, la cui prosperità era una condizione necessaria a effettuare investimenti con rientri a medio e lungo termine, in secondo luogo del clima, non solo in termini di distribuzione delle piogge *in loco* e sul bacino imbrifero, ma anche di abbondanza delle rugiade e di fattori di morbilità stagionali quali la malaria e la tripanosomiasi. Alle esigenze colturali del tabacco è dedicato un approfondimento apposito, che tocca il dimensionamento del vivaio e la geometria dell'impianto in terra piena, in modo da stimare accuratamente, in relazione al ciclo di vita della pianta, le esigenze idriche cui sopperire tramite irrigazione, e valutare la conseguente resa. La conoscenza del regime udometrico e idraulico, sebbene ricavata per interpolazione tra le stazioni di Ghinda e di Massawa, nonché la conoscenza della regione di riferimento dell'area di progetto, risultano evidenti nella dettagliata descrizione del regime delle acque superficiali, il cui studio era finalizzato al dimensionamento di un serbatoio, che avrebbe fatto anche da udometro sperimentale per misurare con precisione le precipitazioni locali. Per aumentare la resilienza del sistema di approvvigionamento idrico, Reviglio valutò anche l'apporto di acque subalvee e di alcune sorgenti, che erano numerose nella zona, ma anche suscettibili di variazioni della portata e di improvvisi esaurimenti causati dai frequenti fenomeni sismici locali. Un quadro complessivo quindi, abbastanza ricco di variabili e sfumature, gestito con la prudenza e il buon senso acquisiti con l'esperienza diretta del contesto.

Progetti per la città di Massawa

Gli edifici sulle isole di Massawa e Taulud a opera di Paolo Reviglio sono di varia natura, e rappresentano anche i diversi passaggi della storia della loro urbanizzazione. I primi progetti di Reviglio si inseriscono nell'edificazione, iniziata a fine Ottocento,

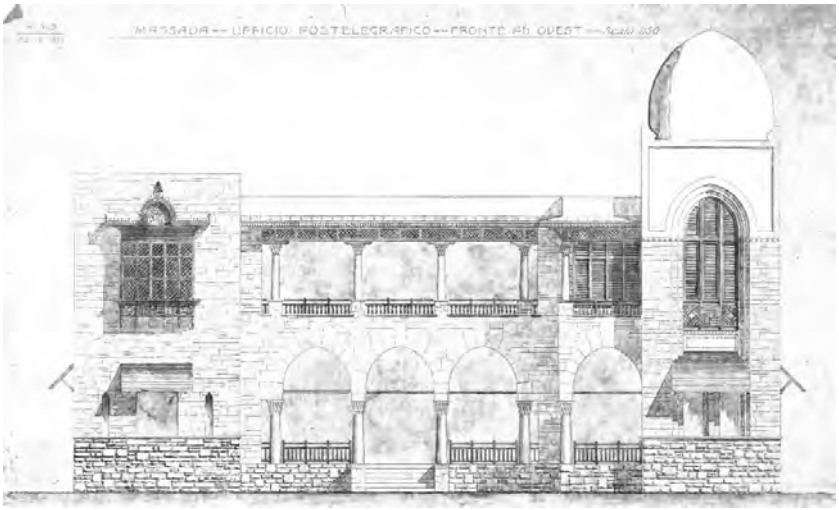


Fig. 2 – Progetto del 1919 per l'Ufficio Postelegrafico di Massawa (Archivio Privato Matteoda-Reviglio).

di Taulud, cioè l'isola di collegamento tra l'isola di Massawa e la terraferma, il cui sviluppo assecondò il primo impianto ippodameo dal Genio Militare (Gresleri et al., 1993): nel caso dello studio per la missione cattolica precedentemente citata, questo risulta evidente nell'impianto, così come per gli elevati è chiara l'impostazione eclettica di formazione accademica, che attinge alle forme e agli apparati decorativi dell'architettura del Medioriente più che a quelle ottomane, alquanto sobrie, di Massawa.

Una maggiore comprensione di Reviglio dei caratteri locali, come potevano essere osservati sull'isola di Massawa, emerge invece nei progetti successivi, tra cui quello del 1919 per l'Ufficio Postelegrafico, in Figura 2, che include le tipiche *musharabie* in legno, cioè dei graticci per oscurare l'ambiente interno garantendo la circolazione dell'aria, l'uso della pietra a vista e il ricorso a loggiati per mediare la transizione interno-esterno. Nel progetto del 1923 per il Cavalier Scineti, in Figura 3, nell'ambito della ricostruzione dopo il sisma del 1921, Reviglio inserisce un ulteriore elemento tipico dell'edilizia locale, costituito da elementi longitudinali in legno a regolare i corsi di pietra, e da elementi trasversali aventi funzione di collegamento delle due pagine della muratura a sacco. Una sorta di appropriazione graduale dei caratteri della città, che permise a Reviglio di declinare il proprio linguaggio eclettico al contesto locale[4].

Le opere murarie per la teleferica Massawa-Asmara (1933)

Nel 1933, almeno un anno prima dei preparativi ufficiali in Eritrea e Somalia per la Campagna d'Etiopia del 1935-36, Reviglio ricevette l'incarico di progettare e dirigere le opere murarie per la linea teleferica che doveva collegare inizialmente

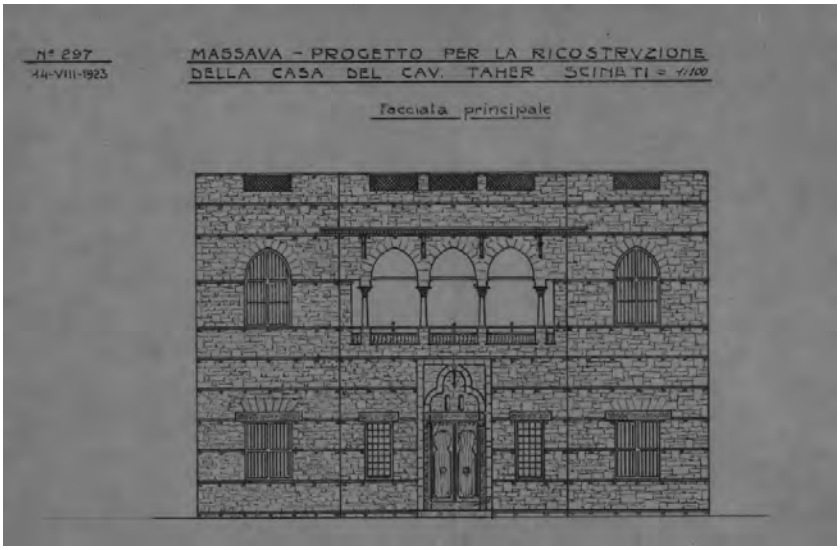


Fig. 3 – Progetto del 1923 per la ricostruzione della casa del Cavalier Taher Scineti (Archivio Privato Matteoda-Reviglio).

la cittadina di Ghinda, situata a una quota intermedia e a metà strada tra il porto e la capitale, e Asmara. La linea doveva supportare il trasporto ferroviario verso l'altopiano nel tratto in cui i treni avevano un rendimento particolarmente basso, dovuto a una pendenza costante della linea del 3,5%. Nell'allestimento dell'Eritrea come base logistica per questa prima guerra di movimento, si scelse di prolungare la teleferica fino ai magazzini militari del porto di Massawa, come mostrato in Figura 4, in modo da ottimizzare le attività di carico e scarico: il disegno finale dell'impianto, le cui componenti furono fornite dalla ditta Ceretti & Tanfani di Milano, copriva quindi una lunghezza di 75 chilometri e un dislivello di oltre 2.300 metri.

Le opere murarie di cui era stato incaricato Reviglio si trovavano dislocate in siti spesso problematici, o per il carattere torrido del clima, o per i pendii scoscesi, e di difficile accesso per il trasporto di materiale: le opere includevano infatti i plinti per i 440 cavalletti semplici totali e i 37 tra cavalletti multipli e dispositivi intermedi [2], oltre che gli edifici che ospitavano le tredici stazioni, le sale macchine e le abitazioni per gli operatori e gli operai[5]. L'affidamento dell'incarico a Reviglio si spiega con la dimestichezza che questi aveva dei luoghi più remoti dell'Eritrea e con la sua conoscenza dei materiali da costruzione disponibili e la conseguente cantierizzazione. Si tratta di edifici molto semplici e di facile realizzazione, ma la grande quantità di cemento necessaria anche per i basamenti delle strutture verticali indusse Reviglio a considerare non procrastinabile il progetto per l'impianto di un cementificio in Eritrea, onde evitare trasporti dall'Italia o importazioni da Spalato o dal Giappone. Nelle sue

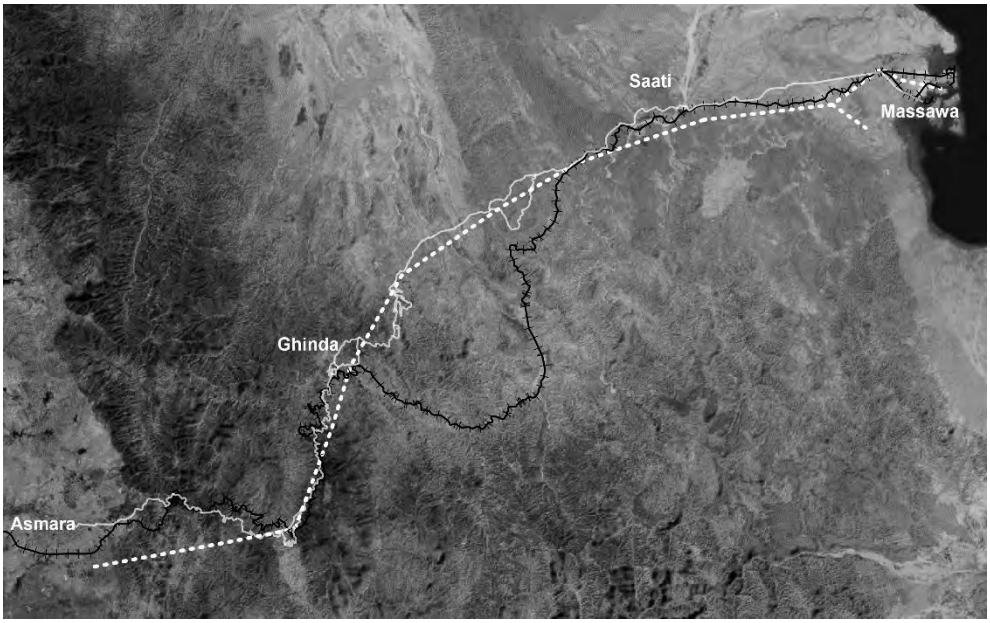


Fig. 4 – Mappa del sistema infrastrutturale tra Massawa e Asmara: tratteggiata la linea teleferica, in nero la ferrovia, che nel 1911 giunse ad Asmara e in grigio la strada (elaborata da N. Cattaneo).

carte si trovano diverse studi finalizzati alla realizzazione di un cementificio in Eritrea e che potrebbero verosimilmente essere propedeutici alla costruzione nel 1937-38 del cementificio di Gurgussum, nei pressi di Massawa, il primo in Africa Orientale.

Conclusioni

Il percorso biografico e professionale di Paolo Reviglio esemplifica quel processo di trasferimento tecnologico all'estero, accelerato dalle dinamiche coloniali (Headrick, 1991), attraverso il quale le discipline ingegneristiche si sono potute affinare nel tempo, avvalendosi dell'ampliamento dei casi e dei contesti di applicazione dei principi teorici. È anche, probabilmente, un piccolo monito a dare l'adeguato valore alla conoscenza diretta dei luoghi e alla comprensione delle loro molteplici variabili, senza le quali ogni progetto rischia di essere un pericoloso intruso nel suo contesto, oltre che un vano investimento di risorse.

Ringraziamenti

Vorrei esprimere la mia più profonda gratitudine a Paola Matteoda, la nipote di Paolo Reviglio, purtroppo scomparsa nel giugno 2021, proprio nella sua bellissima casa di Asmara dove custodiva, tra gli altri documenti dell'Archivio Privato Matteoda

Reviglio, i documenti del nonno; casa che si spera possa diventare in futuro un punto di riferimento per ricercatori. Vorrei anche ringraziare, pur non avendo avuto modo di conoscerlo personalmente, lo storico Angelo Del Boca (1925-2021), il cui lavoro ha permesso a moltissimi ricercatori di orientarsi nelle controverse vicende del colonialismo italiano. Infine grazie a Giuliano Gresleri (1938-2020), che, con le ricerche sul patrimonio architettonico avviate alla fine degli anni ottanta con Pier Giorgio Massaretti e Stefano Zagnoni, ha fornito una "mappa di conoscenza" fondamentale per tutti i ricercatori successivi.

Bibliografia

Aquarone A. 1989. *Dopo Adua: politica e amministrazione coloniale*. Roma: Ufficio centrale per i beni archivistici.

D'Ascia R. 2007. Dalla campagna in Africa Orientale alla vigilia della seconda guerra mondiale, 1935-1939. In: *Storia dell'arma del Genio.* 7.1. Roma: Stato Maggiore dell'Esercito, Ufficio storico.

Del Boca A. 1976. *Gli italiani in Africa Orientale. Dall'unità alla marcia su Roma*. I. Bari:Laterza.

Dore G., Giorgi C., Morone A.M., Zaccaria M. 2013. *Governare l'Oltremare - Istituzioni, funzionari e società nel colonialismo italiano.* Roma: Carocci editore.

Gresleri G., Massaretti P.G., Zagnoni S. (a cura di). 1993. *Architettura italiana d'oltremare 1870-1940*. Venezia: Marsilio.

Headrick D.R. 1991. *I tentacoli del progresso. Il trasferimento tecnologico nell'età dell'imperialismo*. Bologna: Società Editrice Il Mulino.

Iori T., Poretti S. (a cura di). 2014. SIXXI 1. *Storia dell'ingegneria strutturale in Italia*. Roma: Gangemi.

Maggi S. 1996. *Colonialismo e comunicazioni - Le strade ferrate nell'Africa Italiana (1887-1943).* Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.

Martini F. 1913. *Relazione sulla Colonia Eritrea -per gli esercizi 1902-1907 - Volume I*. Roma: Tipografia della Camera dei Deputati.

Omodeo A., Peglion V., Valenti G. 1913. *La colonia eritrea. Condizioni e problemi*. Fascicolo I. Roma: Tipografia Nazionale di G. Bertero.

Pugno G.M. 1959. *Storia del Politecnico di Torino dalle orgini alla vigilia della seconda guerra mondiale*. Torino: Stamperia Artistica Nazionale.

Puglisi G. 1952. *Chi è? dell'Eritrea. Dizionario Biografico. Con una cronologia*. Asmara: Agenzia Regina.

s.a. 1901. Condizioni statiche dei due palazzi coloniali nell'isoletta di Taulud (Colonia Eritrea), Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 29 aprile 1901. In: *Archivio Storico Diplomatico del Ministero degli Affari Esteri-Archivio Storico Ministero dell'Africa Italiana,* vol I pos 28-1.

Sitografia

[1] Olivieri E. 1888.
http://www.ferroviaeritrea.it/relazione-ing-olivieri.html

[2] Ceretti e Tanfani 1938.
http://www.ferroviaeritrea.it/la-teleferica-massaua-asmara.html

Note

1. Olivieri dovette inoltre coordinare dei lavori da svolgere in tempi brevissimi, privo della possibilità di farsi inviare dall'Italia materiale su richiesta, per esempio i ponti in ferro, di cui era disponibile un solo esemplare, e in assenza di mattoni, calce e cemento, che nel 1888 ancora non venivano prodotti in loco.
2. Presso l'Archivio fotografico della Biblioteca Reale di Torino sono custoditi degli album fotografici realizzati dai primi fotografi presenti nella Colonia Eritrea, tra cui Francesco Nicotra e Luigi Naretti.
3. Di seguito le materie previste dal piano di studi per Ingegneri Civili della Reale Scuola di Applicazione. Primo anno: meccanica razionale con esercitazione, geodesia teoretica con esercitazioni, statica grafica con disegno, applicazioni della geometria descrittiva con disegno, chimica docimastica con manipolazioni. Secondo e terzo anno: mineralogia e geologia applicata ai materiali da costruzione, geometria pratica, meccanica applicata alle macchine, meccanica applicata alle costruzioni, idraulica pratica, macchine idrauliche, macchine agricole, macchine termiche, architettura tecnica, costruzioni civili e rurali, fondazioni, ponti in muratura in legno e in ferro, strada ordinarie ferrate e gallerie, costruzioni idrauliche e lavori marittimi, idraulica agricola e bonificazioni, economia ed estimo rurali, fisica tecnica, materie giuridiche (Pugno, 1959: 78-79).
   Ordinamento del Corso per Ingegneri Civili del Regio Politecnico di Torino del 1906. Primo anno: Analisi matematica I, Geometria (analitica e proiettiva), chimica generale, mineralogia, disegno a amano libera, disegno geometrico. Secondo anno: analisi matematica II, geometria descrittiva con applicazioni, fisica sperimentale, elementi di tecnologia meccanica, materie legali, disegno di ornato, disegno di architettura. Terzo anno: meccanica razionale, chimica applicata ai materiali da costruzione, architettura tecnica, geometria pratica e geodesia, geologia generale ed applicata, nozioni di statica grafica, economia rurale ed estimo, termodinamica. Quarto anno: scienza delle costruzioni, termotecnica (caldaie a vapore, riscaldamento e ventilazione), cinematica e dinamica applicata, idraulica teorica e pratica, architettura tecnica, principi di elettrotecnica [Galileo Ferraris aveva fondato questo insegnamento e il relativo laboratorio, *N.d.A.*].Quinto anno: elettrotecnica generale, costruzioni stradali e idrauliche, teorie dei ponti, macchine termiche, igiene applicata all'ingegneria, architettura, materiale ferroviario (Pugno, 1959: 125-127).
4. È testimoniato qui il carattere bidirezionale di qualsiasi trasferimento culturale e tecnologico, anche in ambito coloniale. Reviglio si dedicò allo studio delle lingue locali, oltre che delle tecniche costruttive e colturali. Un approfondimento su queste peculiarità di Reviglio aprirebbe a temi vasti ed estremamente complessi da inquadrarsi nel dibattito sulla storia coloniale e postcoloniale, che in questa sede non è possibile affrontare.
5. La scarsità di fonti primarie (l'archivio d'impresa della Ceretti & Tanfani ha custodito solo i documenti successivi al 1954) relative alla teleferica, smantellata completamente negli anni sessanta, rende le informazioni contenute nell'Archivio Privato Matteoda-Reviglio particolarmente preziose.

Federica Ribera, Pasquale Cucco

Gli interventi di ricostruzione post-bellica di Pier Luigi Nervi nei tabacchifici campani

Pier Luigi Nervi's post-war reconstruction interventions in Campania tobacco factories

Sommario
All'interno della ricca ed eclettica produzione architettonica di Pier Luigi Nervi, una parte significativa è legata agli edifici per la produzione industriale che possono ben rappresentare l'evoluzione delle sue idee, del suo metodo e della sua ricerca costruttiva. Tra il 1930 e il 1960 Nervi ebbe numerose occasioni di sperimentare l'edilizia industriale, spesso per conto dell'Amministrazione Autonoma dei Monopoli di Stato. Tra tali tipologie industriali, la Manifattura Tabacchi rappresenta una sorta di mediazione tra il lavoro delle fattorie e i grandi e moderni stabilimenti produttivi. Questo contributo intende indagare gli interventi di Pier Luigi Nervi nei tabacchifici di Napoli, Scafati, San Giorgio del Sannio e Benevento, cercando di studiare il suo effettivo contributo in ciascuno di questi complessi, attraverso l'interpretazione dei preziosi documenti d'archivio e delle testimonianze che sono sopravvissute al passare del tempo e all'incuria umana.

Abstract
Within the rich and eclectic architectural production of Pier Luigi Nervi, a significant part is related to the buildings for industrial production which may well represent the evolution of his ideas, method, and construction research. Between 1930 and 1960, Nervi had numerous opportunities to experiment with industrial construction, often on behalf of the Autonomous Administration of State Monopolies. Among such industrial typologies, the tobacco factory represents a sort of mediation between the farms work and the large modern production plants.This paper intends to investigate Pier Luigi Nervi's interventions in the tobacco factories in Naples, Scafati, San Giorgio del Sannio and Benevento, trying to study his actual contribution in each of these complexes, through the interpretation of the precious archival documents and the evidence that has survived the passage of time and human neglect.

Introduzione

La lunga carriera di Pier Luigi Nervi è rappresentata dalla sua intensa attività di sperimentazione costruttiva, volta a esplorare con spirito coraggioso e innovativo le potenzialità del conglomerato cementizio armato, ricercando l'equilibrio ottimale di forma, struttura ed estetica. Nervi ha dimostrato come l'ingegneria vada incontro alla storia attraverso le conquiste, le sperimentazioni e le scoperte sempre più orientate alla performance qualitativa, abbracciando le istanze artistiche e abbandonando, seppur gradualmente, la sua natura meramente tecnica e strumentale (Iori e Poretti, 2016a).

Negli anni Trenta Nervi ha già raggiunto notorietà a livello internazionale con la costruzione del cinema-teatro Augusteo a Napoli (1924-29), e soprattutto con la costruzione dello Stadio Comunale Berta a Firenze (1930-32), dove per la prima volta si riconosce la qualità estetica delle strutture in cemento armato, con la realizzazione della scala elicoidale e di un'ardita pensilina a sbalzo. Le commesse ricevute a partire dalla metà degli anni Trenta da parte dell'Aeronautica Militare Italiana per la costruzione di hangar gli hanno permesso di sperimentare diverse intuizioni strutturali per realizzare grandi coperture in elementi prefabbricati; più tardi, la ricostruzione post-bellica e le Olimpiadi di Roma (1961) gli hanno consentito di creare veri e propri capolavori, sviluppando la sua innovativa tecnica del "ferrocemento" (Bianchino e Costi, 2012; Iori e Poretti, 2016b). La malleabilità del calcestruzzo armato gli ha permesso di creare strutture indeformabili, nervature di superfici curve, pilastri a sezione variabile, modellando la materia secondo lo stress così da perseguire la sincerità strutturale verso un «perfetto modello di giustizia ed economia distributiva della quale, solo vagamente, riusciamo ad afferrare la misteriosa e divina saggezza» (Nervi, 1945: 25).

All'interno della sua ricchissima ed eclettica produzione, una significativa parte è legata agli edifici per la produzione industriale, contribuendo a creare una vera e propria "estetica della fabbrica", conferendo dignità architettonica a costruzioni concepite con vocazione prevalentemente funzionale (Antonucci, 2019).

Tra le tipologie industriali, il tabacchificio rappresenta una sorta di mediazione tra il lavoro delle masserie e i grandi impianti di produzione moderni. Il semplice ambiente con copertura di protezione in legno e paglia si converte ben presto in un più ampio ambiente, spesso pilastrato, volto a ottenere spazi liberi, anche attraverso intuizioni strutturali e compositive creative e originali.

Questo contributo, parte di una ricerca più ampia sul ruolo di Pier luigi Nervi in Campania, intende presentare gli interventi del Maestro dell'Ingegneria nel Novecento nei tabacchifici campani di Scafati, Napoli, San Giorgio del Sannio e Benevento, cercando di ricostruire l'effettivo apporto dell'autore in ciascuno dei complessi, attraverso lo studio e l'interpretazione critica dei documenti d'archivio (CSAC di Parma e MAXXI di Roma) e delle testimonianze materiali che sono sopravvissute al passaggio del tempo e all'incuria.

La tabacchicoltura nel Mezzogiorno d'Italia

La tabacchicoltura nel Mezzogiorno d'Italia ha contribuito, per alcuni secoli, a determinare una fonte di guadagno per i concessionari e una umile sopravvivenza per le migliaia di contadini, tabacchine e operai che lo coltivavano e lo lavoravano.

Le province interessate alla coltivazione e lavorazione del tabacco erano Benevento, con una superficie del 54%, Salerno, con il 30%, Avellino, con il 13%, e Caserta, con il 3%, mentre nella provincia di Napoli non era presente alcuna attività (Del Prete, 2011). Grazie alla disponibilità di manodopera e di suoli fertili, la piana del Sele divenne all'inizio del Novecento un importante centro di coltivazione del tabacco. Nacquero, a partire dagli anni Venti numerosi tabacchifici per la cura delle piante. Dal 1918 era attiva a Salerno la Società Agricola Industriale Salernitana-SAIS, con tre stabilimenti a Battipaglia (1920), a Bellizzi (1924) e a Santa Lucia di Battipaglia (1929). Inoltre, nella zona di Pontecagnano agiva negli stessi anni la Società Stabilimenti Riuniti Americani, la quale aveva altri due stabilimenti: San Mattia, a Battipaglia, e Isca Rotonda, a Eboli. Dall'unione di entrambe le società nacque la SAIM, che ha operato per circa un quarantennio, tanto che negli anni Settanta, prima della crisi irreversibile del settore, poteva contare su nove stabilimenti di grande dimensione. Dei tabacchifici di Napoli, Scafati, Benevento, San Giorgio del Sannio si parlerà ampiamente nei paragrafi successivi.

Pier Luigi Nervi e gli interventi nei tabacchifici campani

Nervi lavora in diversi cantieri del Monopolio sia come progettista sia come costruttore; quest'attività è legata a tre imprese dove egli è socio fondatore: la prima è la "Società ingg. Nervi & Nebbiosi", attiva dal 1923; la seconda è la "ingg. Nervi & Bartoli Anonima per Costruzioni Roma", attivata nel 1932 con il cugino materno Giovanni; la terza è lo "Studio Nervi", fondato nel 1955 con i figli Antonio, Mario e Vittorio, attivo sino alla metà degli anni Ottanta. In questo arco temporale ha realizzato oltre venti opere, tra progettazione ex novo di manifatture tabacchi, interventi di ricostruzione post-bellica e di ampliamento di fabbriche, magazzini e greggi (Ribera e Apicella, 2014; Ribera et al., 2015).

La progettazione degli stabilimenti del tabacco si contraddistingue per l'attenzione alla luce, all'aerazione e ai grandi spazi, concepiti come elementi essenziali per il benessere dei lavoratori e per soddisfare i requisiti funzionali ottimali per le lavorazioni e per il deposito dei materiali. Centrale è stata la sua capacità di sviluppare un'organizzazione del cantiere di tipo industriale, destinata ad una produzione seriale e al tempo stesso flessibile, in relazione alle caratteristiche locali, alle maestranze o alle opportunità costruttive, per coniugare esigenze di praticità e di economia. In questo contesto, l'approccio formale si sviluppa dall'adesione ai caratteri della tradizione, allo slancio verso una modernità spesso basata su tecniche strutturali innovative, sempre motivate dal risparmio sui tempi e sui costi di realizzazione, aspetti che risulteranno vincenti nelle gare di assegnazione delle opere per conto del Monopolio (Montanari e Monte, 2012).

La Manifattura Tabacchi di Scafati (1948)

Scafati aveva assunto un ruolo fondamentale nel campo del tabacco grazie all'Istituto Sperimentale per la coltivazione dei Tabacchi, fondato nel 1895 e, dopo la Seconda guerra mondiale, divenne una sezione distaccata della Manifattura di Napoli. Il complesso ubicato nel centro urbano della città, in via Armando Diaz, si estende su un'area di circa 21000 m^2, di cui 11000 m^2 occupati da fabbricati e i restanti 10000 m^2 costituiti da superficie scoperta o di servizio. I fabbricati, con un'altezza massima di due piani fuori terra e uno interrato, erano utilizzati prevalentemente per la lavorazione del tabacco, per uffici amministrativi e per locali di servizio quali mensa, asilo nido, spogliatoi, servizi igienici e archivio. In risposta a una specifica richiesta della British American Tobacco Italia, che nel 2003 ha acquisito il lotto dallo Stato, nel dicembre del 2005 il Ministero dell'Economia e delle Finanze ha concesso l'autorizzazione alla cessazione delle attività nella Manifattura.

Gli archivi conservano una serie di disegni firmati da Nervi che rappresentano uno dei fabbricati di lavorazione della manifattura. Tuttavia, nei disegni non è stata rilevata né la data né la posizione sul territorio del fabbricato. Dalla numerazione degli elaborati è possibile inquadrarli cronologicamente intorno al 1948.

Per la scarsa documentazione, è difficile comprendere l'entità dell'intervento di Nervi. Non si è in grado di dire se si tratti di una nuova progettazione o di un progetto di recupero del fabbricato. Alcuni testi sostengono che a Scafati Nervi ricostruì un padiglione a tre campate (Montanari e Monte, 2011), tuttavia, il fabbricato rinvenuto dagli elaborati di archivio non è a tre campate, bensì a quattro/cinque. Sono stati rinvenuti quattro disegni che rappresentano un edificio in calcestruzzo armato, con una pianta rettangolare e una maglia regolare di pilastri di dimensioni 0,35 m · 0,35 m, uno dei quali è riportato in Figura 1.

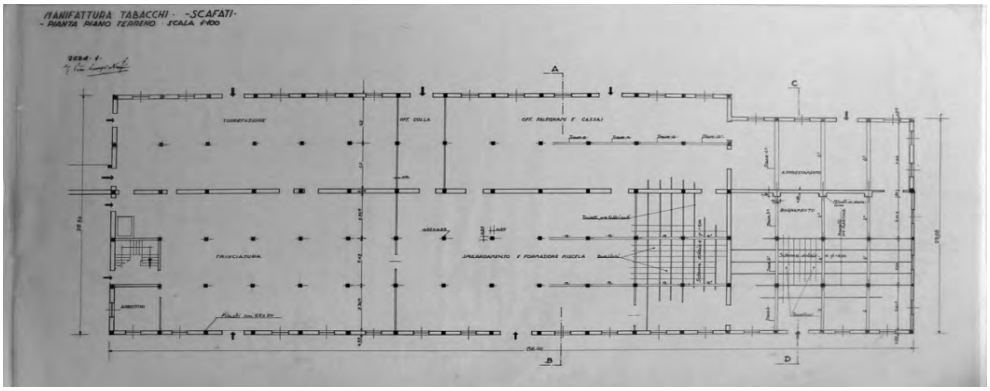


Fig. 1 – Manifattura Tabacchi di Scafati: pianta del piano terra. Scala 1:50. Disegno n. 2694-1 (Archivio CSAC, Parma).

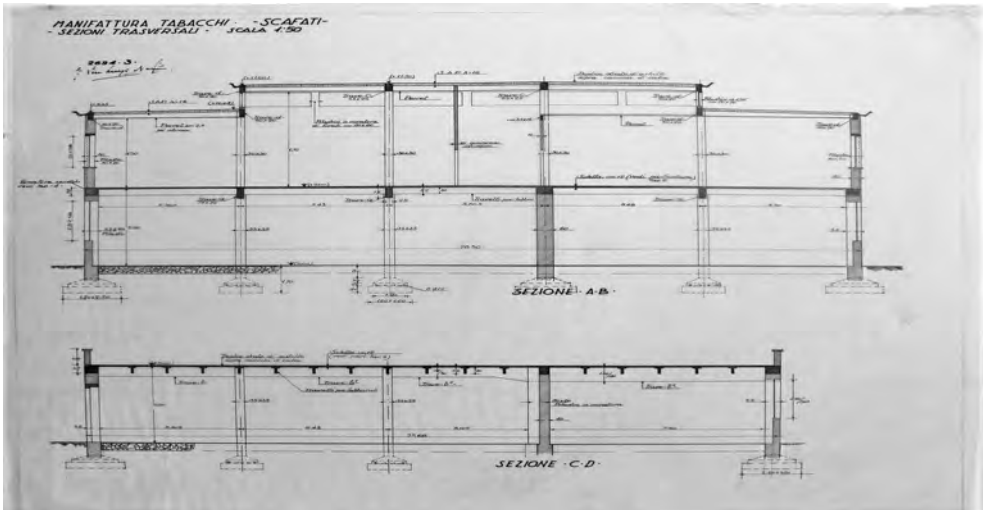


Fig. 2 – Manifattura Tabacchi di Scafati: sezione trasversale. Scala 1:50. Disegno n. 2694-3 (Archivio CSAC, Parma).

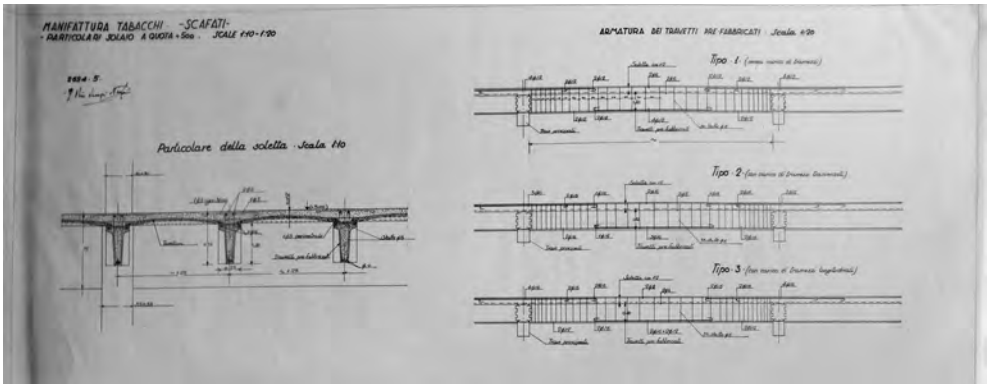


Fig. 3 – Manifattura Tabacchi di Scafati: particolare del solaio. Scala 1:10. Disegno n. 2694-5 (Archivio CSAC, Parma).

Tale edificio si sviluppa su due livelli con una luce media tra i pilastri di circa 5,30 m, in Figura 2. Sul lato lungo sorge un piccolo volume affiancato di un solo livello e di dimensioni in pianta più ridotte con pilastri in muratura. Particolare, all'esterno, è la presenza di un lucernario in copertura, mentre l'interno è caratterizzato tecnologicamente dall'uso di un solaio in travetti prefabbricati e tavelloni come mostrato in Figura 3.

L'edificio è stato poi trasformato con un aumento superficie occupata e con la sopraelevazione di due piani in corrispondenza del piccolo volume sul lato lungo.

La Manifattura Tabacchi di Napoli (1947-54)

A Napoli erano presenti ben due manifatture collocate all'interno di due conventi fin dalla metà dell'Ottocento: San Pietro Martire e Santi Apostoli. Per risolvere i problemi di funzionalità e impiantistica le due manifatture furono dismesse spostando la lavorazione in una nuova sede.

Nel 1956 fu inaugurata la nuova Manifattura Tabacchi in via Galileo Ferraris. Il primo nucleo di edificio risale agli anni Trenta ed è costituito dai fabbricati posti sul lato settentrionale del lotto, mentre è già presente la fabbrica di proiettili Salin ubicata all'incrocio tra via Ferraris e via Gianturco. Il complesso industriale assume le dimensioni e l'aspetto attuali negli anni Cinquanta, mentre nella terza ed ultima fase di ampliamento, negli anni Sessanta, è stato costruito il fabbricato "lavorazioni" ubicato nella parte centrale dell'area. Nel 2002 terminò l'attività produttiva della Manifattura. L'impianto generale è costituito da un fabbricato per le lavorazioni, due depositi per tabacchi e greggi e preparazione miscele, un fabbricato a quattro piani adibito a servizi, un deposito tabacchi, un edificio uffici e una sala materna.

Nervi inizierà a lavorare per i Monopoli di Stato a Napoli dal 1947, prima con il recupero di un magazzino per la Manifattura di San Pietro Martire e poi per la realizzazione della nuova sede in via Ferraris. Per la Manifattura di San Pietro Martire, la Nervi & Bartoli vinse l'appalto, bandito il 10 marzo 1947, per l'esecuzione dei lavori di ricostruzione parziale e restauro del magazzino greggi in via Brin. Le fonti archivistiche riportano gli elaborati di cantiere, piante, sezioni e carpenterie, di cui un esempio è nelle Figure 4 e 5.

Tra gli elaborati dell'archivio Nervi, notevole è il progetto di un edificio a più livelli, su uno dei cui fogli è riportata a matita la data 19 aprile 1952. Si tratta dell'edificio posto all'ingresso della Manifattura in via Ferraris. Il manufatto è caratterizzato da una pensilina posta verso l'interno del lotto, dalla presenza di pilastri con sezione variabile all'ingresso e dall'elegante soluzione della copertura con un telaio incernierato che ricorda le soluzioni che Nervi adotterà nel grattacielo Pirelli a Milano, dove il telaio incernierato con ritti e traversi a sezione variabile è visibile con qualche variazione all'ultimo livello e nella sala auditorium. Un modello strutturale altrettanto simile è quello sviluppato alla sede Unesco a Parigi, tra il 1952 e il 1958. Tuttavia, l'esempio più somigliante resta la cosiddetta Palafitta: un padiglione edificato a Cagliari tra il 1955 ed il 1958.

Sono stati rinvenuti, inoltre, disegni numerati e firmati da Nervi che riportano due fabbricati: il magazzino greggi e il fabbricato lavorazione sigarette. Per il magazzino greggi si tratta di un recupero e un restauro degli elementi strutturali. L'edificio è in calcestruzzo armato, su cinque livelli, e ha una pianta a L con all'incrocio il vano scale, come in Figura 6. Il fabbricato lavorazione sigarette è un edificio con una dimensione di 168 m sul lato lungo e di 20 m sul lato corto, suddiviso da giunti in tre blocchi con un unico vano scale centrale e un accesso sul lato corto mediante una passerella. Si sviluppa in cinque livelli con una altezza interpiano variabile. Tra i

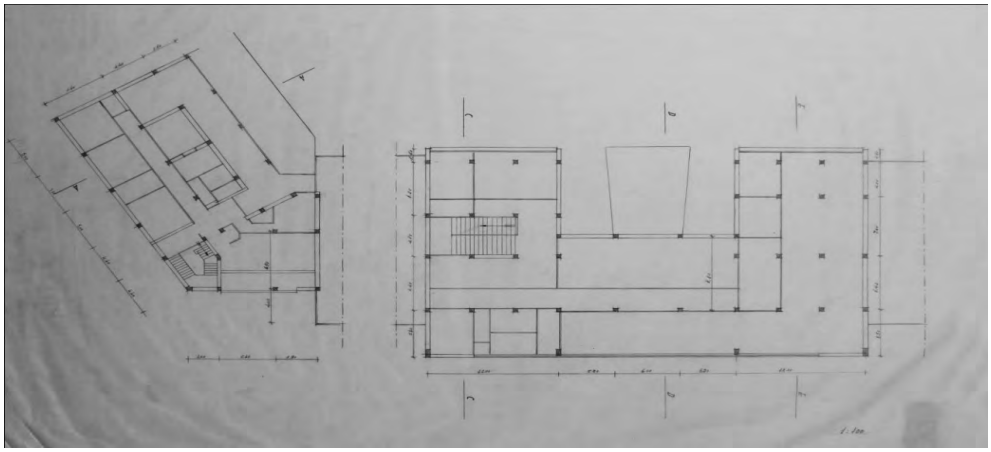


Fig. 4 – Manifattura Tabacchi di Napoli, in via Galileo Ferraris: pianta dell'edificio all'ingresso (Archivio Pier Luigi Nervi, MAXXI Roma).

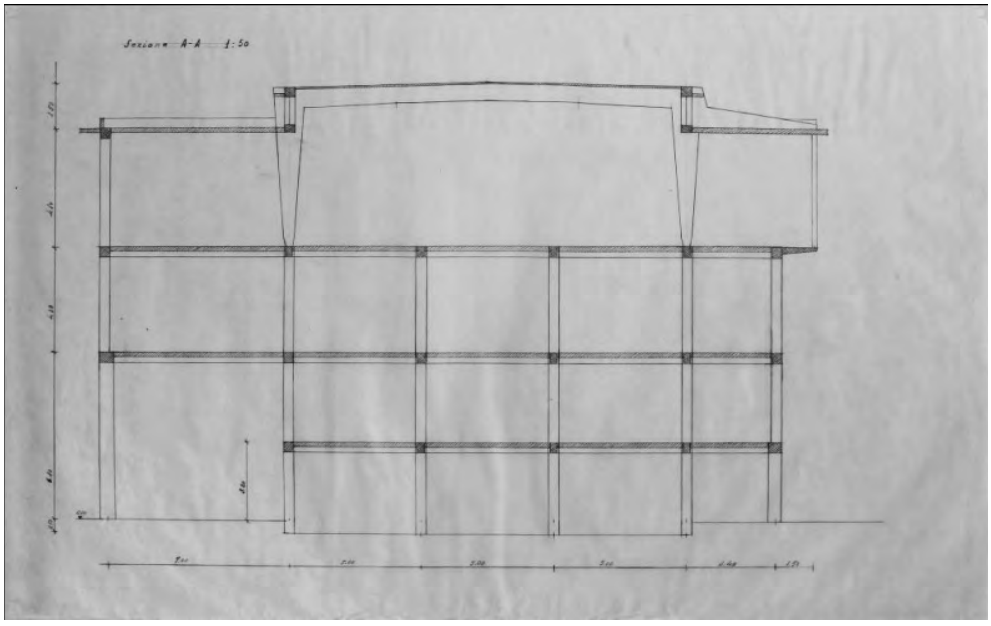


Fig. 5 – Manifattura Tabacchi di Napoli, in via Galileo Ferraris: sezione trasversale in cui si apprezza il portale all'ultimo livello (Archivio Pier Luigi Nervi, MAXXI Roma).

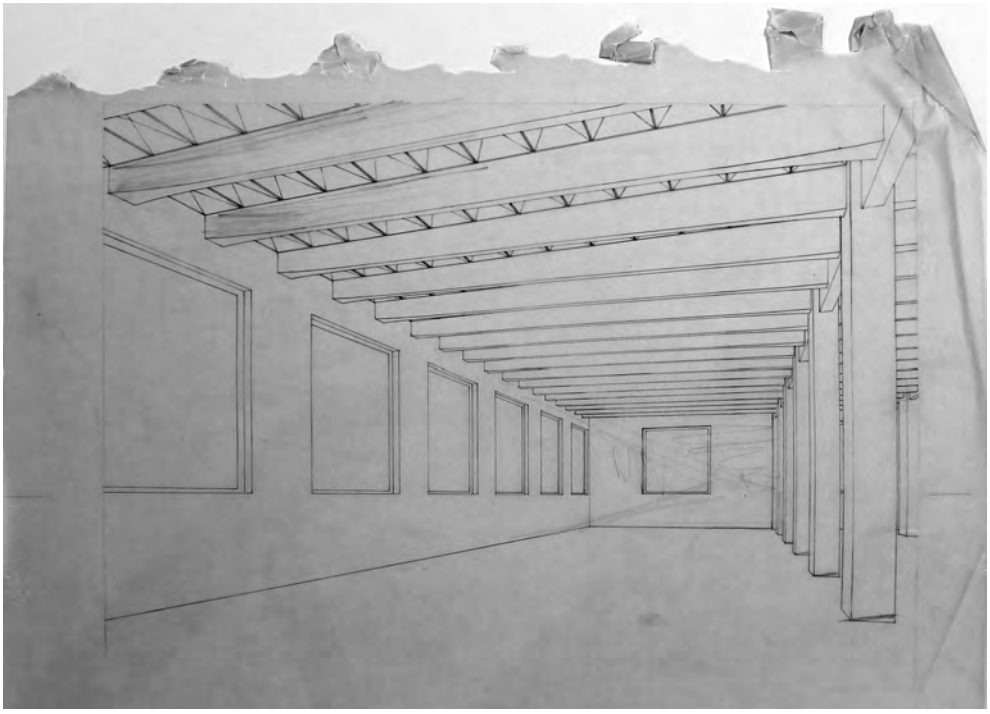


Fig. 6 – Manifattura Tabacchi di Napoli, in via Galileo Ferraris: prospettiva dell'interno del fabbricato lavorazione sigarette (Archivio Pier Luigi Nervi, MAXXI Roma).

disegni è riportata anche una prospettiva che evidenzia la particolare soluzione del solaio: travetti prefabbricati a sezione variabile, maggiorata agli appoggi con una soletta ondulata nelle due direzioni, raggiungendo lo spessore di 12 cm in mezzeria, sempre in Figura 6. Il fabbricato lavorazione sigarette, ancora presente nel lotto, presenta due vani scala e un piano in meno rispetto agli elaborati di archivio.

L'Agenzia Coltivazione Tabacchi di S. Giorgio del Sannio (1954-58)

Il complesso edilizio dell'ex Ente Tabacchi Italiano-ETI è ubicato al margine del centro urbano di San Giorgio del Sannio. Il complesso è stato costruito a metà degli anni Cinquanta e inaugurato nel 1958. In precedenza, dal 1887, le lavorazioni dell'Agenzia Coltivazioni Tabacchi avvenivano nei locali del convento francescano.

La "Rassegna annuale" del 1958 riporta: «La realizzazione, a S. Giorgio del Sannio, di una agenzia modello costituisce quanto di più funzionale è stato realizzato sinora in tal campo […]. Gli edifici coprono un'area di 25.000 m^2 sui 40.000 complessivi di superficie e sviluppano una cubatura di 133.000 m^3; il costo, per la sola parte muraria, ammonta a 650 milioni» (Monopoli di Stato, 1959).

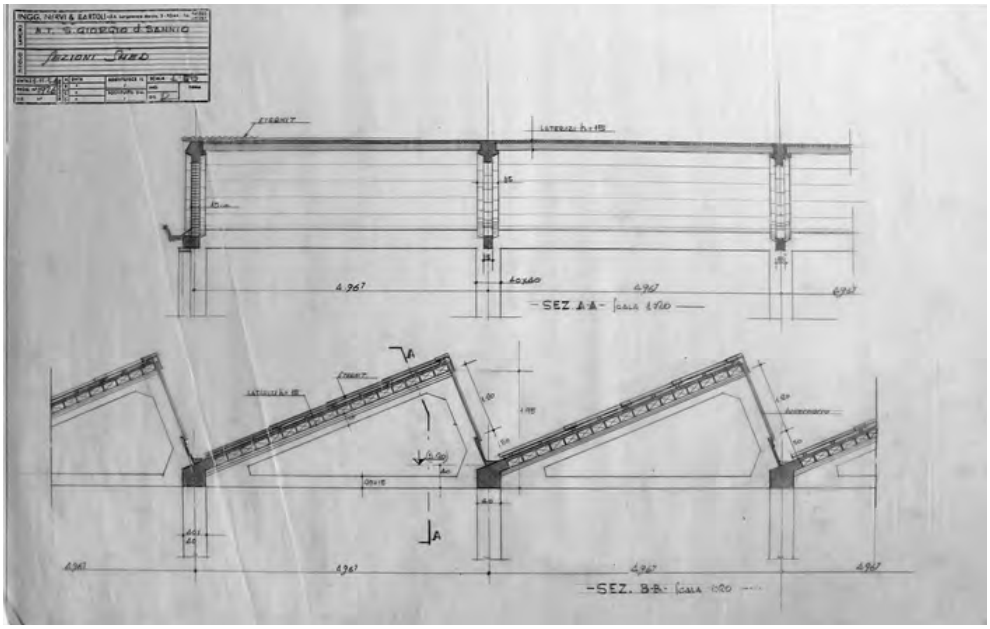


Fig. 7 - Agenzia Coltivazione Tabacchi di S. Giorgio del Sannio: planimetria generale (Archivio CSAC, Parma).

La ricerca nell'archivio Nervi del CSAC di Parma ha permesso di trovare una serie di elaborati con l'intestazione della Nervi & Bartoli, numerati e datati 23 novembre 1954. L'edificio riportato è esattamente poi quello realizzato. È molto probabile che, anche se il progetto non riporta la firma di Nervi, sia stata la Nervi & Bartoli a costruirlo (Montanari e Monte, 2011).

Tra i disegni, si apprezza il particolare del solaio realizzato con travi a sezione variabile, maggiorata agli appoggi, soluzione molto simile a quella della manifattura napoletana. L'opificio è costituito da sette edifici, per una superficie coperta complessiva di 19452 m^2 su un lotto di 39502 m^2. In Figura 7 è riportata la planimetria.

Il complesso, costituito in più blocchi, occupa parzialmente il lotto con un impianto planimetrico che può essere definito a corte e che vede i corpi di fabbrica principali con destinazione direzionale allineati alle strade perimetrali.

L'intero complesso, la cui pianta è in Figura 8, è costruito con struttura intelaiata in calcestruzzo armato con un modulo quadrato di cinque metri per lato, tamponatura costituita nella fodera esterna da mattoni di laterizio intonacata negli edifici produttivi e rivestita in travertino negli edifici direzionali, tramezzi in laterizi e infissi in ferro e legno. Le coperture sono a terrazzo per gli edifici direzionali e per i magazzini, a shed per gli edifici produttivi, come mostrato in Figura 9. Dopo il terremoto del 1980 gran parte dei pilastri è stata rinforzata con cerchiature metalliche.

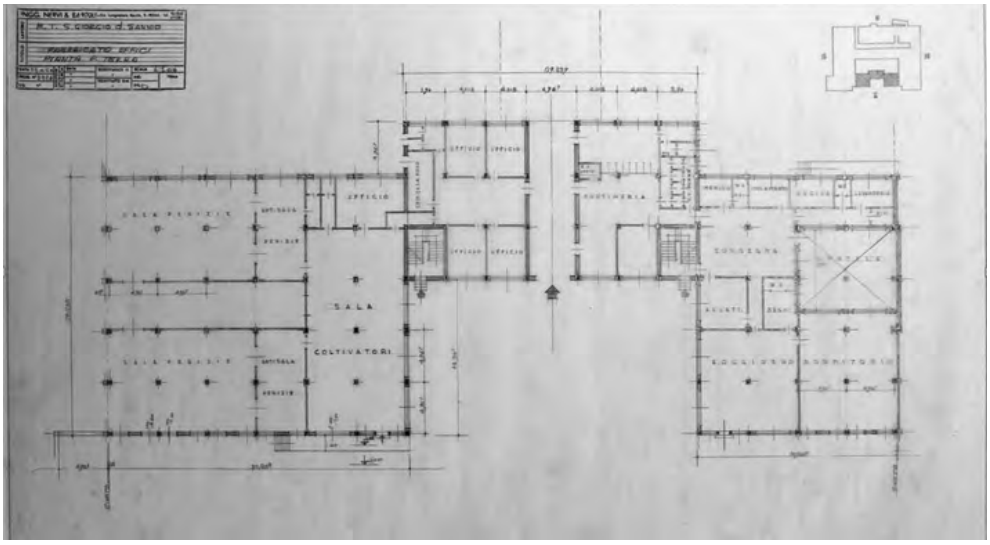


Fig. 8 – Agenzia Coltivazione Tabacchi di S. Giorgio del Sannio: pianta del volume di ingresso (Archivio CSAC, Parma).

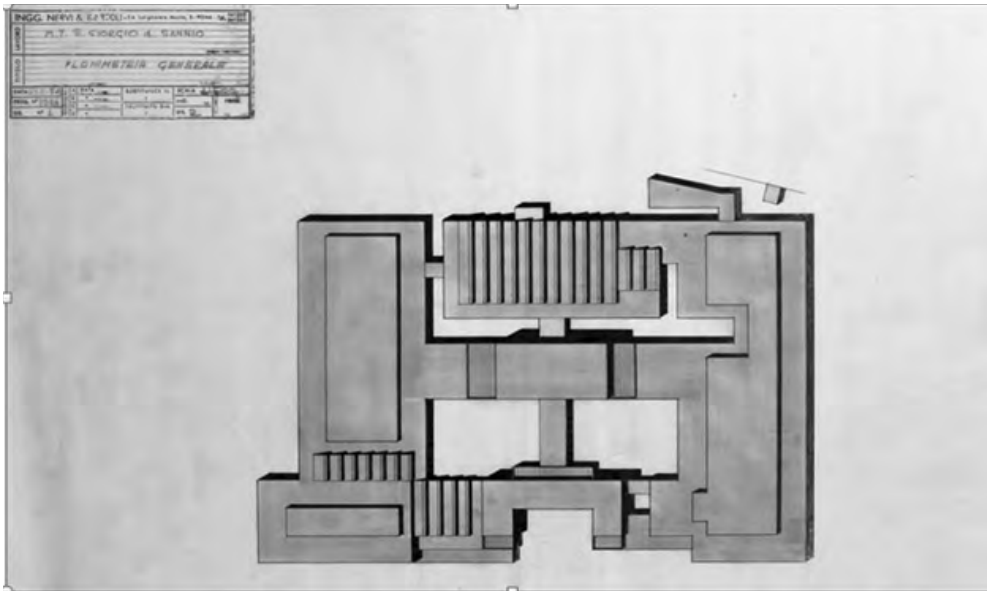


Fig. 9 – Agenzia Coltivazione Tabacchi di S. Giorgio del Sannio: copertura a shed (Archivio CSAC, Parma).

L' Agenzia Coltivazioni Tabacchi di Benevento

Nel 1864 fu istituita l'Agenzia Coltivazioni Tabacchi di Benevento, che fu situata negli antichi locali di un vecchio convento, patrimonio dell'Orfanotrofio della Ss.ma Annunziata, in piazza Cardinal Pacca, e che occupava, nel suo complesso, 5280 m^2. A partire dal 1927 si iniziò a pensare alla costruzione di una nuova Agenzia dei Tabacchi e l'anno successivo per la costruzione del nuovo fabbricato venne scelta un'area in contrada "Pezzapiana", alla periferia della città, in località pianeggiante e vicina allo scalo ferroviario. L'imponente complesso, che sul fronte principale presenta una sobria e austera facciata, si compone di tre corpi di fabbrica intervallati da due palazzine con due cortili interni; la parte posteriore dello stabilimento è costituita da un unico corpo di fabbrica destinato a magazzino, dove erano collocati i depositi delle masse di tabacco allo stato sciolto, in botti e in colli e, al primo piano, la sala cernita. Il grande magazzino si sviluppa su due livelli, coperti da solai piani, collegati tra loro da due sontuosi corpi scala; la pianta è di forma rettangolare e prospetta su un raccordo ferroviario di circa 200 m appositamente voluto dal Monopolio. I tre corpi di fabbrica, che inglobano le due palazzine, sono direttamente collegati con il retrostante magazzino; essi si sviluppano su un unico livello e presentano coperture a shed. Gli ambienti furono accuratamente progettati e disposti in funzione delle diverse attività che si svolgevano durante le varie fasi del processo produttivo: spazi del primo corpo di fabbrica destinati ad antisala e sala per il ricevimento del tabacco e vani adibiti a sala perizie, riscontro fiscale, liquidazioni e servizi igienici. L'Agenzia era, inoltre, dotata di moderni laboratori di lavorazione, di un'attrezzata officina meccanica, di una falegnameria e di un discreto numero di meccanici, elettricisti, idraulici, falegnami ed altri tecnici che garantivano il pieno funzionamento della struttura.

Gli anni immediatamente successivi alla Seconda guerra mondiale segnarono una battuta di arresto nella produzione e nella lavorazione del tabacco nel Beneventano. In particolare, in attesa delle riparazioni post-belliche al tabacchificio, la produzione fu temporaneamente trasferita presso lo stabilimento di San Giorgio del Sannio, dove impiegati e maestranze furono costretti a spostarsi.

Subito dopo la guerra, a partire dal 1946, il Monopolio avviò l'opera di ricostruzione. L'intervento di ripristino dell'Agenzia venne affidato all'impresa di Pier Luigi Nervi. In realtà, egli era già stato presente a Benevento prima della guerra per un eventuale progetto di espansione (Monte, 2011).

Pier Luigi Nervi e la sua impresa, la Nervi & Bartoli, lavorarono nel tabacchificio beneventano dal 10 aprile 1946 al 10 marzo 1947 nelle seguenti lavorazioni: ricostruzione degli shed, dei solai del deposito e della copertura della palazzina, rifacimento degli intonaci, posa in opera di infissi, inferriate, ramate, serrande e lastre per la pensilina e ripristino della pavimentazione e dell'asfaltatura delle terrazze. Il periodo post-bellico è stato un periodo di intensa attività per Nervi e la sua impresa; pertanto, a valle di quello che realizzava in quel periodo, è lecito domandarsi se nel

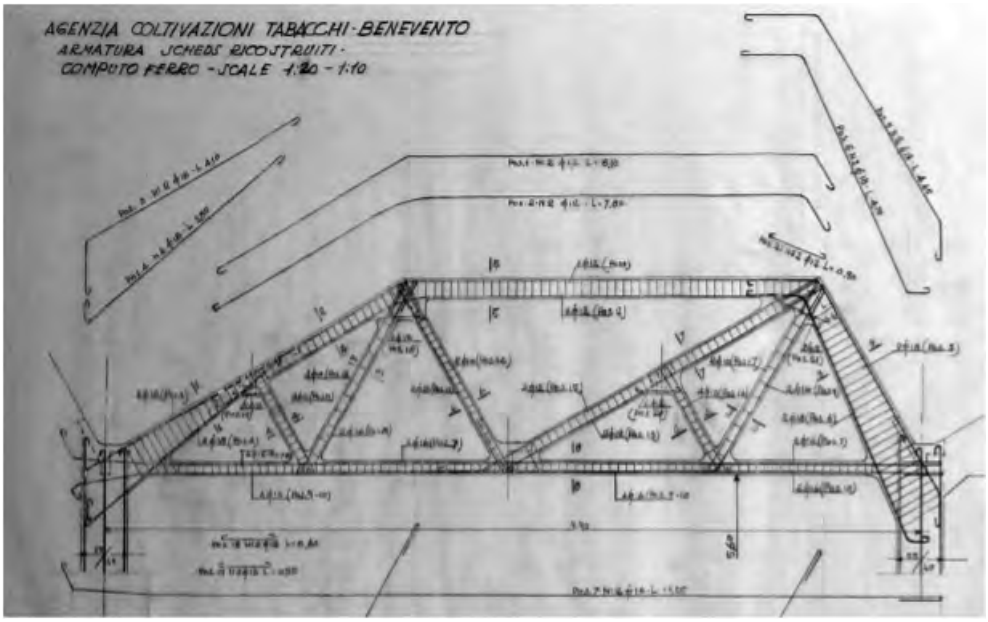


Fig. 10 – Agenzia Coltivazioni Tabacchi di Benevento: armatura degli shed (Archivio Pier Luigi Nervi, MAXXI Roma).

recupero del tabacchificio di Benevento sia stata usata la prefabbricazione o addirittura il ferrocemento (Ribera e Apicella, 2016).

Per quanto riguarda quest'ultimo, poteva essere usato come cassaforma a perdere delle sottili travi degli shed, quasi come anticipazione del "Sistema Nervi", ma è davvero poco probabile perché la sua sperimentazione era ancora agli inizi e non si rinviene alcuna traccia negli elaborati archivistici. Per la prefabbricazione, si può dire che per la serialità degli shed poteva dimostrarsi un'ottima soluzione. In questo caso l'impresa doveva tracciare gli shed sul terreno con casseformi in legno, disporre le armature, effettuare il getto di calcestruzzo, dopodiché procedere con il sollevamento delle travi di copertura. Un procedimento che fu eseguito (Comba, 2011a). qualche anno dopo per l'ampliamento delle Officine Principali di Mirafiori a Torino (1954-1955). La copertura a shed dell'Agenzia ha una straordinaria somiglianza, nelle linee e nella leggerezza, con quella realizzata dalla Nervi & Bartoli nello stabilimento Cromo di Venaria Reale a Torino, molto più tardi, nel 1963, dove le travi reticolari saranno prefabbricate in ferrocemento (Comba, 2011b; Pace, 2011). La procedura di prefabbricazione prevedeva anche il montaggio degli elementi, e quindi avrebbe richiesto, per il sollevamento, una gru in cantiere, della quale negli elaborati di archivio non si fa riferimento. E inoltre, gli shed si sarebbero dovuti realizzare ex novo: quindi, dovevano essere demoliti e ricostruiti imitando la struttura originaria.

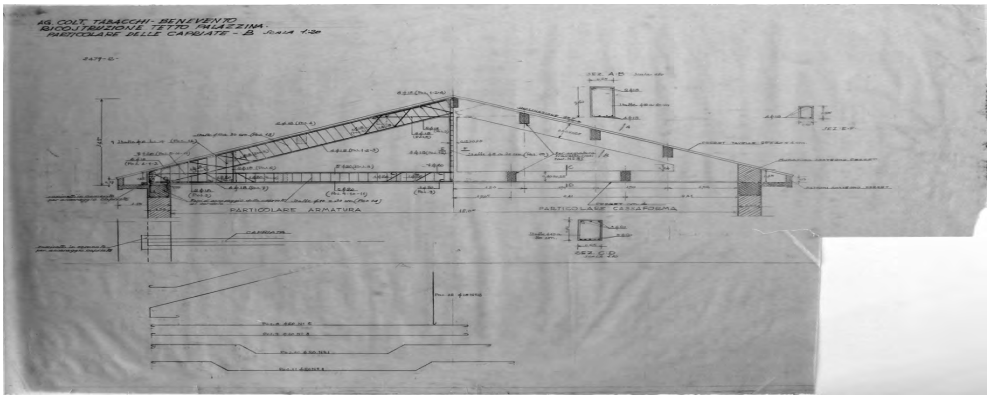


Fig. 11 – Agenzia Coltivazioni Tabacchi di Benevento Particolare della capriata in conglomerato cementizio armato (Archivio Pier Luigi Nervi, MAXXI Roma).

Ma di sicuro ciò non si addiceva alle politiche post-belliche, quando l'obiettivo era recuperare il più possibile gli elementi esistenti.

A valle di queste considerazioni, si può concludere che l'impresa eseguì un rifacimento delle parti danneggiate degli shed utilizzando calcestruzzo armato gettato in opera in casseforme di legno, saldandole alle strutture preesistenti, come mostrato in Figura 10. Si ricordi che Nervi usava spesso le unioni tra elementi diversi di calcestruzzo armato, ripristinando la monolicità della struttura, si pensi, ad esempio, ai nodi di collegamento delle travi reticolari prefabbricate realizzate per le aviorimesse del 1939-1942. Inoltre, la struttura originaria di copertura della Palazzina in capriate di acciaio, ormai danneggiate, venne rimossa e sostituita dalla Nervi & Bartoli con capriate in calcestruzzo armato gettato in opera in cassaforma di legno, di cui un particolare è in Figura 11.

Conclusioni

L'opera di Pier Luigi Nervi per i tabacchifici campani, che qui si è cercato di ricostruire sinteticamente, costituisce un corpus architettonico di grande interesse per ricostruire il ruolo di Nervi nelle ricostruzioni post-belliche di edifici industriali chiave per lo sviluppo economico e sociale della Campania. La conoscenza storica e costruttiva di tali esempi dell'architettura industriale italiana, in cui Nervi ha impresso la sua cifra peculiare, rappresenta un imprescindibile punto di partenza per ogni ipotesi di intervento contemporaneo di recupero e riuso che voglia sovrapporsi alla preesistenza senza comprometterne l'essenza e l'identità, la tecnica e l'estetica.

Sulla base dell'indagine storica, del rilievo architettonico e dell'analisi delle peculiarità tipiche dei complessi architettonici possono sorgere numerose riflessioni sulla figura di Nervi, sullo stato di conservazione delle sue opere, sui suoi contributi locali o globali in edifici esistenti, su quanto ancora è necessario investigare per

comprenderne appieno la sua produzione. Lo studio in corso intende rappresentare un'occasione di approfondimento della capacità del Maestro del Novecento di intervenire e trasformare architetture spesso soltanto funzionali e seriali in costruzioni originali ed espressive, sfruttando tutte le sue originali invenzioni nell'uso del conglomerato cementizio armato.

Bibliografia

Antonucci M. 2019. Costruire per l'industria: Pier Luigi Nervi, la manifattura tabacchi di Bologna e i progetti per i Monopoli di Stato. In: *La Manifattura Tabacchi a Bologna di Pier Luigi Nervi Ricerche sull'architettura industriale contemporanea tra storia, tecnica e riuso* (a cura di M. Antonucci M., e A. Trentin). Bologna: Bononia University Press.

Comba M. 2011a. Effetti costruttivi di una company town. Pier Luigi Nervi e il Servizio Costruzioni Fiat (1947-1966). In: *Pier Luigi Nervi. Torino, la committenza industriale, le culture architettoniche e politecniche italiane* (a cura di S. Pace). Milano: Silvana Editoriale.

Comba M. (a cura di) 2011b. *Maire Tecnimont. I progetti di Fiat Engineering 1931-1979*. Milano: Silvana Editoriale.

Del Prete R. (a cura di) 2111. *Tabacchine. Luoghi, archivi e memoria del lavoro delle donne*. Benevento: Crace.

Iori T., Poretti S. (a cura di) 2016a. La Scuola italiana di Ingegneria. Rassegna di architettura e urbanistica, 148, gennaio-aprile, (numero monografico) 2016.

Iori T., Poretti S. 2016b. Conserving Pier Luigi Nervi's ferroconcrete. Engineering History and Heritage, 169, 1.

Monopoli di Stato (a cura di). 1959. Rassegna annuale, 1958-59, 33 e ss.

Montanari G., Monte A. 2012. Nervi e le fabbriche del tabacco. In: *Cantiere Nervi. La costruzione di un'identità* (a cura di Bianchino G., Costi D.). Milano: Skira editore.

Monte A. 2011. L'Agenzia Coltivazione Tabacchi di Benevento e l'intervento di ricostruzione di Pier Luigi Nervi. In: *Tabacchine. Luoghi, archivi e memoria del lavoro delle donne* (a cura di R. Del Prete), 138-144. Benevento: Crace.

Nervi P.L. 1945. *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*. Roma: Edizioni della Bussola.

Pace S. (a cura di). 2011. *Pier Luigi Nervi. Torino, la committenza industriale, le culture architettoniche e politecniche italiane*. Milano: Silvana Editoriale.

Poretti S. 2008. *Modernismi italiani, architettura e costruzione nel Novecento*. Roma: Gangemi Editore.

Ribera F., Apicella P. 2014. On the trail of Nervi in Campania: between knowledge and conservation. In: *Proceedings of SAHC 2014 9th international conference on structural analysis of historical constructions*, 1-11.

Ribera F., Landi A., Apicella P. 2015. Storia e tecnica nei tabacchifici della Piana del Sele. In: Colloqui.AT.E L'evoluzione del sapere in Architettura Tecnica (a cura di C. Mazzoli, D. Prati), 745-755. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.

Ribera F., Apicella P. 2016. A story in smoke: the recovery of the tobacco manifacture in Benevento. In: Proceedings of CESB16 - Central Europe towards Sustainable Building (a cura di P. Hájek, J. Tywoniak, A. Lupíšek, K. Sojková), 465-472. Praga: Grada Publishing.

Vernizzi C. 2012. Il disegno di Pier Luigi Nervi. In: *Cantiere Nervi. La costruzione di un'identità* (a cura di G. Bianchino e D. Costi), 110-113. Milano: Skira editore.

Laura Travaglini, Ruggiero Jappelli

Dall'emergenza del dopoguerra all'Ingegneria del Novecento nell'opera di Giovanni Travaglini

From the Post-War Emergency to the Twentieth Century Engineering: the Approach of Giovanni Travaglini

Sommario
Gli Autori rievocano il clima maturato nel Mezzogiorno a partire dalla ricostruzione del Dopoguerra, quando si formò quella salda fiducia nella "sapienza" dell'ingegneria, che avrebbe sostenuto il progresso scientifico del nostro Novecento. Centrale il ruolo dello Stato e dei suoi funzionari; fra i protagonisti Giovanni Travaglini. A partire dalla sua biografia, recentemente pubblicata, di cui sono stati anche curatori (Jappelli et al., 2020), gli Autori ripercorrono momenti significativi di un passaggio sofferto: dalla crisi alla rinascita del Paese, di cui Travaglini fu singolare interprete. Per descrivere l'approccio integrale, l'unità della cultura e il rispetto dell'interesse pubblico che caratterizzarono la sua carriera, il racconto delinea la sua figura poliedrica, che ha sempre arricchito le tecniche risolutive dell'ingegneria con la capacità previsionale e pianificatoria necessaria a costruire e ricostruire opere, ma anche futuro. Così come farebbe un artista: aspetto aggiuntivo, ma non secondario, del suo percorso di vita.

Abstract
In the stimulating atmosphere of Italy's post-war reconstruction, the Authors recall the full trust in the wisdom of engineering that promoted the scientific progress of the twentieth century. Under those challenging circumstances the role of the state and its officials was central; Giovanni Travaglini (1924-2020) was among the protagonists. This paper retraces some steps of a recently published comprehensive biography aimed at depicting significant moments in the South's transition from emergency to rebirth, of which Travaglini was a peculiar interpreter. Buoyed by a unitarian cultural approach, Travaglini had a propensity for immediately grasping the full aspect of complex problems and a deep respect for the public interest, on display in every step of his long career. His impressive activity enriched engineering with the forecasting skill of an artist who builds and rebuilds; such an approach was an additional aspect of his multifaceted life's adventure.

Introduzione

Il clima di concretezza e speranza maturato a partire dalla ricostruzione del dopoguerra contribuì ad alimentare quella salda fiducia nella sapienza dell'ingegneria che avrebbe poi sostenuto il progresso scientifico del nostro Novecento. Si è tuttavia abituati ad apprezzare questo fenomeno per lo più come l'esito di grandi opere che, nella loro fisionomia strutturale, visibile e spesso ardita, riuscivano a veicolare un messaggio di rinascita, a parlare di futuro, a rendere il Paese competitivo sul piano della tecnica e dell'invenzione.

Meno nota è invece la storia dell'ingegneria del Novecento che si radica nell'operosità dell'azione pubblica, in capo alla rete degli uffici di Stato, chiamati alla "creatività" della decisione tempestiva, unita alla preoccupazione di assicurare risultati tecnici esatti e durevoli, in vista del cambiamento. Si trattava di finalizzare con responsabilità il proprio sapere tecnico alla rinascita del Paese, di accompagnarne la ricostruzione fisica verso assetti moderni, gestendo anche improvvise ulteriori emergenze, assicurando precisione di interventi e di spesa, garantendo corretta esecuzione dei lavori, in un arco infinito di bisogni della collettività, dai trasporti alla casa, ai servizi, alla sicurezza del territorio.

La tendenza a distinguere l'esperienza creativa del progettista e la rigorosa ricerca dell'uomo di scienza dal lavoro dell'ingegnere pubblico ha radici antiche e non manca la letteratura orientata a cogliere quella distanza. «In Italia l'ingegnere moderno nasce negli Stati preunitari precocemente [...]. Tuttavia, solo più tardi, con l'avvento del cemento armato, assumerà la fisionomia del progettista strutturale. Durante l'Ottocento, infatti, mentre nelle università si consolida una robusta tradizione scientifica, nei vari corpi dello Stato l'ingegnere assume il profilo professionale del tecnico burocrate. È una figura con competenze molteplici: idraulico, agrimensore, architetto civile che opera soprattutto nella modernizzazione delle grandi sistemazioni catastali, nello sviluppo della rete stradale, nella bonifica delle zone paludose» [1]. Fu nel dopoguerra che quei corpi tecnici della pubblica Amministrazione, di tradizione francese, trovarono negli uffici del Genio Civile il presidio territoriale dotato delle svariate competenze necessarie ad affrontare l'emergenza della ricostruzione senza trascurare il supporto tecnico alle prospettive di sviluppo. L'Amministrazione dei Lavori Pubblici ebbe un grande ruolo operativo. Il suo carattere multisettoriale era già stato sancito con il R.D. 287/1931, che aveva compreso servizi generali, derivazione di acqua e linee elettriche, opere idrauliche, stradali, marittime, edilizie, servizi speciali per pubbliche calamità. Dal 1925 erano stati istituiti Provveditorati alle Opere Pubbliche nel Mezzogiorno e nelle isole. In seguito, con decreti legge del 1945 e del 1946, si completò il quadro dei Provveditorati regionali per la gestione dei lavori di competenza del Ministero dei LL.PP. Il definitivo assetto istituzionale intervenne successivamente. Il lavoro capillare si concentrava negli uffici del Genio Civile, sedi operative provinciali degli stessi Provveditorati.

In questo quadro iniziò, nel 1947, la carriera di Giovanni Travaglini, a servizio dell'Amministrazione dello Stato, attraverso un lungo percorso che lo portò a ricoprire la massima carica tecnica di Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nel 1971, poi di parlamentare europeo nel 1979 e di Ministro dei Trasporti nel 1987. La sua biografia, recentemente pubblicata per i Quaderni del Centro Nazionale di Studi Urbanistici (Jappelli et al., 2020), è «un'ampia carrellata su oltre mezzo secolo di storia italiana traguardata attraverso la feconda attività professionale di un ingegnere, il suo servizio negli alti livelli dell'amministrazione dello Stato, e l'impegno politico e civile di uno dei protagonisti della grande trasformazione del territorio italiano e della società che lo abita» (La Greca, 2020). La sua carriera, partendo dalla multisettorialità che l'ordinamento aveva assegnato all'ingegnere di Stato, viene vissuta, con passione e rigore, in una sintesi originale di sapienza tecnica e visione programmatica e attraversa parallelamente anche quella evoluzione dell'ingegneria del Novecento che si è imposta sempre più come scienza centrale per la costruzione di futuro. Per le tappe dell'esperienza di Giovanni Travaglini, si rimanda alla biografia citata; qui se ne vogliono accennare per temi, quasi chiavi di lettura simboliche, alcune linee di impegno che portarono un particolare contributo all'affermazione di un'ingegneria decisiva nella cura, nella salvaguardia, nella regolamentazione e nello sviluppo del territorio.

Dopoguerra, ricostruzione, Mezzogiorno

La prima "missione" del giovanissimo ingegnere Travaglini cominciò nel Genio Civile di Brindisi. Si lavorava al recupero delle condizioni di vivibilità dovunque minate nell'Italia post-bellica e alla risoluzione di bisogni pregressi, che accentuavano nel Mezzogiorno il disagio sociale. «I lavori pubblici indispensabili e urgenti riguardarono in primo luogo: il ripristino del vasto sistema di canali di bonifica e di irrigazione, abbandonato durante la guerra, che costituiva il presupposto per la ripresa delle attività agricole; la soluzione dei gravi problemi abitativi, per far fronte alle carenze di alloggi e all'accoglienza dei profughi; la costruzione delle principali opere fognarie e dei servizi pubblici essenziali. Allo stesso tempo si guardava al futuro e, proprio nel decennio che precedeva il passaggio dalla ricostruzione alle prime politiche industriali, si intrapresero azioni per il rilancio del porto di Brindisi, alle cui potenzialità si legavano, appunto, le idee di sviluppo» (Travaglini L., 2020). L'inventario degli atti del Genio Civile relativi agli anni 1953-1954, acquisiti nel Sistema Archivistico Nazionale, dà un'idea dell'impegno tecnico che fu necessario al rilancio del territorio pugliese, con una capillare attività di riparazione o costruzione di strade e fogne, di edifici pubblici, di opere idrauliche, di cui due esempi sono in Figura 1. S'imponeva, inoltre, una straordinaria emergenza abitativa, sia per il numero di alloggi distrutti o danneggiati dalla guerra, sia per far fronte all'arrivo dei profughi provenienti in specie dalla Venezia Giulia e dall'Istria.

Fig. 6 – Brindisi: espurgo del canale "Ponte Piccolo", 1950 (a sinistra); sistemazione idraulica del canale 'Fiume Grande', 1947 (a destra).

Il lavoro non era solo somma di singoli interventi, ma contribuiva anche a consolidare nella pubblica amministrazione la consuetudine alla sistematicità delle azioni, che avrebbe, di lì a poco, alimentato l'attenzione per i programmi tecnici di largo respiro, rafforzando il duplice ruolo degli Enti pubblici, rivolto sia alla costante cura del territorio, sia al suo sviluppo. Inoltre, la sfera di competenze si allargava al settore abitativo per un susseguirsi di previsioni sull'edilizia popolare a carico dello Stato; basti pensare ai provvedimenti in favore dei profughi giuliano-dalmati (1947), alla cosiddetta legge Scelba (1952), alle disposizioni per i senza-tetto (1947), a quelle in favore dell'Italia Meridionale e delle Isole (1948) e alla legge Tupini sull'incremento del settore edilizio (1949).

Quella iniziale esperienza fu per Travaglini occasione per sviluppare, al di là dei singoli interventi, alcune sensibilità che ne caratterizzeranno in seguito l'opera e il pensiero: la propensione per la materia idraulica e la capacità di intravederne *ante litteram* lo straordinario intreccio con la protezione del territorio, la determinazione nel delineare programmi con lungimiranza e portarli a compimento con alto senso dello Stato, l'intuizione di misure normative indispensabili a regolamentare, in tutti i campi disciplinari, l'azione tecnica nazionale.

Oltre il ripristino. Complessità, sviluppo, cambiamento

Nel clima di allora, la crisi del dopoguerra si sommava nel Mezzogiorno al peso di emergenze pregresse: era il caso della città di Matera. Già nel 1902, a seguito dello storico viaggio del Presidente del Consiglio dei Ministri Zanardelli, si era avviato il dibattito che sfociò nella "Legge speciale per la Basilicata" n.140/1904, finalizzata a disciplinare il credito agrario, i provvedimenti per l'agricoltura, per le sistemazioni idrauliche, per il consolidamento degli abitati, per la costruzione di opere pubbliche. Nel 1950, e anche in quel caso a seguito di un viaggio del Presidente del Consiglio

De Gasperi, maturò l'urgente riflessione sulle condizioni di Matera, fino alla legge 619/1952 sul risanamento del rione Sassi.

«L'attività di quegli anni rappresentò l'impatto operativo con le grandi questioni nazionali e con l'urgenza dei risultati, che sarà uno dei tratti più ricorrenti della carriera di Giovanni Travaglini. Per la questione Sassi bisognava sperimentare nel vivo un'emergenza con caratteri eccezionali. [...] Il clima culturale del momento, come in tutti i grandi progetti edilizi, coniugava dissensi ed entusiasmi. [...] Era altissima l'aspettativa del Governo sull'andamento dei lavori e sul consenso cittadino» (Travaglini L., 2020). Il lavoro si concentrava sugli uffici del Genio Civile, che Travaglini fu chiamato a dirigere dal 1955 al 1958, dovendo dar prova di saper gestire la complessità, con un programma pubblico la cui portata, oltre al dato quantitativo degli alloggi e delle infrastrutture da realizzare, si rapportava all'onere di trasferire gli abitanti dai Sassi in alloggi nuovi, in un clima di sperimentazione difficile. Il problema non si limitava a garantire situazioni igieniche diverse e salubri, ma si estendeva alla salvaguardia del rapporto tra l'abitato contadino e la terra coltivabile. Il Piano regolatore di Luigi Piccinato aveva previsto vasti quartieri di edilizia popolare, per i quali furono banditi concorsi di progettazione. Nel 1955 i progetti erano redatti e il Genio Civile ne seguì la realizzazione, come accadde per il quartiere di Serra Venerdì, in Figura 2. L'impegno degli uffici è documentato in molte testimonianze, come quella autorevole di Carlo Aymonino: «I tempi di esecuzione sono davvero eccezionali: in meno di tre anni i quartieri sono completati. [...] Dei funzionari intelligenti e attivi - come l'ispettore ingegnere Franco prima e l'ingegnere Travaglini poi - hanno in pugno la situazione» (Aymonino, 1959).

Matera fu un eccezionale laboratorio con decine di progettisti; i risultati del concorso avevano portato a riunire vari gruppi in uno spirito di collaborazione inedito. Anche nella rilettura contemporanea di quella esperienza si tende a riconoscere un'ampia particolarità: «A Matera la politica della casa coinciderà con il dibattito

Fig. 2 – Matera, quartiere Serra Venerdi.

sulla forma della città [...] e troverà nel piano una cornice organica di coerenza per le scelte di localizzazione, contribuendo a costruire la forma urbana, a differenza del carattere frammentato della costruzione dei quartieri popolari che avveniva altrove. L'accuratezza dei disegni delle architetture dei quartieri, lo sperimentalismo delle soluzioni proposte nei concorsi di progettazione e il controllo del loro impianto nel piano aprivano la strada [...] a un maggiore dialogo tra le diverse scale del progetto [...]» (Mininni, 2017).

Nel novembre 2019, in occasione della Mostra sulle architetture del Novecento in Basilicata e Puglia, il Comitato scientifico ICOMOS ha presentato il video «Matera oltre i Sassi. I borghi e i quartieri come patrimonio del XX secolo»[1]. Il racconto degli anni Cinquanta si arricchisce di immagini e filmati, tra i quali appaiono brani inediti tratti dall'archivio di Giovanni Travaglini e brevi commenti audio con la sua diretta testimonianza vocale.

Il "cambiamento" di vita della città di Matera si accompagnò inizialmente a una sorta di indifferenza nei confronti dei Sassi liberati e, di lì a poco, abbandonati. «[...] Non era possibile, in quel momento, immaginare i modi e i tempi con cui all'emergenza abitativa sarebbero effettivamente subentrati i futuri obiettivi di tutela: sì da far prevalere, sia pure molto tempo dopo, la strepitosa eccezionalità dell'insediamento storico -mai come in questo caso pietra eterna- sulla condizione temporanea di inadeguatezza igienica» (Travaglini L., 2020). Contro la visione di molti, la necessità della successiva cura dei Sassi era presente nell'azione pubblica. Nel racconto riportato con piccoli inserti nella biografia, Giovanni Travaglini, accennando all'acquisizione delle abitazioni malsane, ricorda «le espropriazioni, sia delle aree da occupare con le costruzioni, sia quelle delle grotte dei Sassi da abbandonare e riportare poi nel grande disegno di rivalutazione ambientalistica» (Travaglini L., 2020): invero, sin da allora vi era l'idea lungimirante non solo di affermare il valore paesaggistico e culturale dei Sassi, ma di riconoscerne l'appartenenza allo straordinario sistema ambientale, custode del legame tra presenza antropica e territorio antico, che Matera esprime in modo unico e irripetibile.

Quella vissuta in Basilicata fu una grande esperienza tecnica, sociale e umana, che univa la voglia di risolvere una situazione sociale drammatica all'interesse culturale per i nuovi modi dell'abitare, anticipando esperienze urbanistiche proprio in una città meridionale in sofferenza, assicurando all'opera pubblica un ruolo propulsivo e maturando, almeno in chi concretamente era immerso in quella realtà, il senso della tutela degli straordinari paesaggi della storia.

Quando nel 1958 Travaglini passò a dirigere il Genio Civile di Napoli, il bagaglio di quegli anni lo portò ad affrontare con slancio un'altra sfida. A Napoli si avvertiva in modo significativo il bisogno di ultimare la fase ricostruttiva chiudendo al più presto la riparazione dei cosiddetti danni di guerra, si pensi che nell'annuario statistico del Comune anno 1945 i vani distrutti risultavano oltre 100.000, e di pianificare nuovi

sviluppi, operando quel salto auspicato "dal ripristino al cambiamento", affidato alla pubblica amministrazione. Napoli annovera inoltre, tra la fine degli anni Cinquanta e l'inizio dei Sessanta, una gran mole di restauri monumentali e di nuove opere pubbliche, destinate al rilancio nazionale e internazionale della città: basti pensare allo stadio, alla sede della Facoltà di Ingegneria, agli impianti sportivi per i Giochi del Mediterraneo del 1963; opere, tutte, per le quali fu decisivo il ruolo del Genio Civile.

Una svolta significativa, che porta dall'emergenza del dopo-guerra a un sistema integrato di azioni sinergiche per uno sviluppo complessivo del territorio, si avverte ancor più nello sforzo compiuto dall'iniziativa pubblica nella infrastrutturazione della Calabria a metà degli anni Sessanta, dove Travaglini, dal 1964 al 1968, fu Provveditore alle opere pubbliche. Il passaggio a questo ruolo rappresentava di per sè l'occasione di estendere oltre la città l'azione tecnica, essendo i Provveditorati organi periferici del Ministero dei Lavori pubblici, con sorveglianza sugli uffici provinciali del Genio Civile e con competenze nella predisposizione di programmi generali: i compiti del Provveditore tendevano ad assumere un significato strategico, proprio nel decennio in cui le politiche ministeriali centrali si impegnavano nello sviluppo economico, per un Paese ormai in ripresa.

La Calabria, tuttavia, scontava un particolare ritardo, che andava recuperato con azioni rapide ed eccezionali: il processo che altrove aveva portato a consumare i tempi della ricostruzione post-bellica e a gettare le basi della prima infrastrutturazione, qui doveva riassumersi in pochi anni e il salto dall'emergenza all'idea di futuro sarebbe stato più repentino. Agli inizi degli anni Sessanta, la Calabria era terra di esodo, disunita dalla configurazione montuosa che accentuava lo spopolamento degli insediamenti interni, a rischio per la storica minaccia di dissesto idrogeologico. Per affrontare la grande domanda di opere era stata già intrapresa l'attività della Cassa per il Mezzogiorno: si lavorava coordinando l'intervento straordinario con quello ordinario che gli uffici periferici dello Stato portavano avanti. Nel 1967 erano attivi numerosissimi cantieri: autostrada per Reggio Calabria, superstrade trasversali, acquedotti, scuole, ospedali. Negli anni della sua gestione, Travaglini ricorda, in un appunto trascritto in biografia (Travaglini L., 2020), che il Provveditorato approvò 1489 opere.

Verso la pianificazione. Programmazione economica, assetti territoriali

All'esperienza calabrese si legano due aspetti importanti dell'opera di Giovanni Travaglini che a loro volta si raccordano a due capitoli dell'evoluzione del ruolo della pubblica amministrazione. Da un lato la redazione della proposta di un Piano territoriale di Coordinamento che definisse il futuro assetto regionale in raccordo con il Comitato Regionale di Programmazione Economica-C.R.P.E., organo periferico del Ministero del Bilancio; dall'altro la predisposizione, in seno a un Comitato allora istituito presso il Provveditorato, di un piano di opere straordinarie per le sistemazioni idraulico-forestali e per la stabilità dei suoli.

Il Piano territoriale di Coordinamento era uno strumento previsto fin dalla legge urbanistica n.1150 del 1942, allo scopo di armonizzare l'attività urbanistica e di istituire il quadro generale per la redazione degli strumenti urbanistici locali. La nascita dei C.R.P.E., a partire dal 1964, aveva dato avvio alla programmazione economica regionale e si fece strada perciò la necessità di stretta connessione tra questa e l'azione urbanistica: circostanza che fu poi sancita dalla cosiddetta Circolare Mancini-Pieraccini, del 23 luglio 1966, nella quale vennero definiti i punti fondamentali del rapporto tra piano di coordinamento territoriale e programma di sviluppo economico della regione. Nella biografia di Travaglini, nei brani riportati come suoi ricordi scritti, si accenna che egli stesso, in una conversazione con il Ministro dei Lavori pubblici Mancini, a proposito di una pianificazione su vasta scala che tenesse conto, oltre che delle infrastrutture, anche dello sviluppo delle attività produttive, suggerisse «se non fosse il caso di concludere un accordo col Ministro del bilancio, sentiti eventualmente i ministri delle attività produttive (industria e agricoltura)» (Travaglini L., 2020), in qualche modo ispirando la successiva circolare.

Nel corso dell'elaborazione del Piano territoriale della Calabria, la struttura del Provveditorato si avvalse della consulenza di un gruppo di lavoro guidato da Guiducci, Radogna e Dragone. Il Piano assumeva gli obiettivi di annullare l'emigrazione, di far fronte alla disoccupazione, di «rafforzare alcuni centri come supporti dello sviluppo di tutti i settori produttivi [...] in modo che fosse possibile creare una vera e propria tessitura minore di efficace trattenimento della popolazione» (Guiducci, 1967), di assicurare un adeguato sostegno e rilancio delle politiche agricole tenendo conto «delle possibilità di irrigazione, di sistemazione idrogeologica del suolo, di creazione di vasti parchi forestali, di introduzione di tecniche moderne di coltivazione, fra cui la meccanizzazione dell'agricoltura, di creazione di industrie di trasformazione dei prodotti agricoli» (Guiducci, 1967). Il Piano considerava anche la possibilità di immettere le coste calabresi in circuiti internazionali del Mediterraneo e delineava una sorta di «geografia programmatica della regione [...] con una identificazione di aree agricole e forestali spesso complementarizzate con quelle turistiche» (Guiducci, 1967). È evidente la ricorrente attenzione per i temi del presidio agricolo e della difesa del suolo, in piena coerenza con il lavoro che contestualmente veniva svolto dal Comitato istituito presso il Provveditorato in esito alla legge 1177/1955 «Provvedimenti speciali per la Calabria», di cui il primo articolo rappresentava con chiarezza gli obiettivi: *«Il Governo della Repubblica è autorizz*ato ad attuare in Calabria, per un periodo di dodici anni dal 1° Luglio 1955 al 30 Giugno 1967, un piano organico di opere straordinarie per la sistemazione idraulico-forestale, per la sistemazione dei corsi d'acqua e dei bacini montani, per la stabilità delle pendici e per la bonifica montana e valliva. Coordinatamente con tali opere saranno disposte quelle occorrenti per la difesa degli abitati esistenti dal pericolo di alluvioni e frane». La «Relazione riassuntiva sulla Attuazione della legge recante provvedimenti

straordinari per la Calabria», agli atti della Camera dei Deputati a opera del Ministro Pastore nel settembre 1966, dà conto del grande lavoro svolto in Calabria dall'azione pubblica. A proposito dell'evoluzione successiva del programma, la relazione ministeriale afferma che «I problemi dell'intervento pubblico in Calabria si pongono oggi (1966, ndr) in termini diversi da quelli che erano stati riconosciuti validi all'atto della promulgazione della Legge Speciale del 1955 e che erano stati presi a base per il Piano del 1957», e ciò anche per «gli effetti diretti e indiretti dell'opera svolta con gli interventi straordinari della «Cassa» e della Legge Speciale e con quelli ordinari dello Stato» (Camera dei Deputati, 1966).

Le esperienze di pianificazione e programmazione in Calabria a metà degli anni Sessanta restituiscono il senso di un rafforzamento dell'azione pubblica sul territorio: circostanza significativa, che consentì a Travaglini di avviare un secondo capitolo di riorganizzazione territoriale, da Provveditore alle opere pubbliche della Campania, incarico che ricoprì dal 1968 al 1971. La proposta di assetto territoriale per la Campania faceva seguito a una lunga stagione di studi, a partire dal Piano urbanistico intercomunale del comprensorio di Napoli, del 1964, coordinata da Luigi Piccinato, e dal Piano dell'area di sviluppo industriale, approvato nel 1966; ma si muoveva, con coraggio, nel convincimento dell'esigenza di dar seguito a un processo di riequilibrio regionale. «Individuata e quantificata la tendenza di concentrazione verso la fascia costiera di grande parte delle attività della regione, è stata prescelta una soluzione di ribaltamento della situazione attuale ed una redistribuzione demografica [...]. Il meccanismo di riequilibrio economico dovrà pertanto identificarsi essenzialmente in un processo di sviluppo verso le zone interne della Regione» (Travaglini G., 1969). Il Piano puntava su entità territoriali delimitate in comprensori, cui affidare l'innesco del processo. A distanza di tanti anni, analisi recenti (2014) fanno emergere l'apporto significativo di quella proposta. Ripercorrendo la «storia dell'ecosistema metropolitano di Napoli», Antonio di Gennaro osserva che «in quel piano c'erano le misure per la possibile "messa in sicurezza" del sistema policentrico gravitante intorno al capoluogo. La matrice rurale continua, la grande pianura vulcanica all'interno della quale sono cadenzati i centri urbani viene identificata come "un'ampia cintura verde" [...] per tutelare le aree agricole pregiate dall'espansione urbana» (di Gennaro, 2014).

Contestualmente, il potenziamento dei valori urbani delle fasce interne avveniva nel pieno rispetto dei sistemi agricoli esistenti. Con l'avvento delle Regioni, che assumevano le competenze urbanistiche, si preferì prescindere dall'eredità statale. Nel frattempo, in coerenza con gli obiettivi proposti, il Provveditorato aveva respinto una gran mole di Programmi di Fabbricazione che ampliavano a dismisura il peso edilizio sulla fascia costiera. Viceversa, il ritardo con cui la Regione avrebbe poi ripreso la pianificazione territoriale agevolò l'ulteriore compromissione dell'area metropolitana.

Vulnerabilità dei territori. Pianificazione delle sistemazioni idrauliche, prevenzione
Alla fiducia nella sintesi di aspetti tecnici, economici e sociali che in quegli anni affermava una nuova capacità di programmare lo sviluppo, facevano da contrappunto la preoccupazione per la vulnerabilità dei territori e il bisogno sempre più perentorio di sicurezza e prevenzione del dissesto. Far fronte a situazioni di emegenza era nei compiti di molti settori della pubblica amministrazione e le attività concrete, in esito a fenomeni naturali, gravavano in capo agli uffici tecnici. Nel corso della sua carriera, Travaglini si trovò perciò dinanzi a situazioni severe. Basti pensare all'esperienza della frana di Nerano, nel febbraio 1963: all'estremità della penisola sorrentina un franamento interessò un pendio per un'estensione di 10 ettari. Un attento studio del fenomeno consentì di prevederne gli sviluppi e «considerare con giustificata speranza, la possibilità di evitare che l'abitato fosse travolto» (Travaglini e Valdinucci, 1964). Il salvataggio di Nerano, come racconta Travaglini negli appunti riportati nella sua biografia, fu possibile per aver progressivamente e rapidamente capito cosa si doveva fare e perchè tutto si potè realizzare con l'incredibile abnegazione di quasi tutto il personale del Genio Civile. Ancora nel 1963 Travaglini fu chiamato, in qualità di sub-Commissario tecnico, ad affrontare il grande lavoro necessario per i primi interventi successivi al disastro del Vajont; in occasione del III Convegno Nazionale dell'AISI, egli stesso ne riportò un'ampia documentazione (Travaglini G., 2010).

Nel 1970 il Provveditorato alle Opere pubbliche della Campania, condotto da Travaglini, si trovò ad affrontare un'ulteriore emergenza: il bradisismo di Pozzuoli.

Nell'arco di un decennio, a partire dal 1967, si delineò l'urgenza di intraprendere un'azione tecnica di ampio respiro sul territorio nazionale, soprattutto nel campo della difesa del suolo. Del lungo impegno di studi che ne seguì, Travaglini fu in varie fasi partecipe e «intelligente interlocutore tecnico del Governo sul tema delle sistemazioni idrauliche» (Jappelli, 2020b). La sua competenza aveva radici specifiche nella seconda laurea in Ingegneria civile-idraulica (1952), nella libera docenza in Idraulica agraria (1965), negli insegnamenti presso la Facoltà di ingegneria di Bari, in vari intervalli tra il 1953 e il 1985, nei corsi di Progetti di Costruzioni Idrauliche, Costruzioni Marittime, Idraulica Agraria, Tecnica della Bonifica, Idraulica Fluviale e Sistemazioni Montane. Era stato impegnato nelle attività del Comitato per gli interventi speciali in Calabria. Nel 1967 la legge n.632 istituì la "Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo", con il compito di "esaminare i problemi tecnici, economici, legislativi e amministrativi al fine di proseguire ed intensificare gli interventi necessari per la generale sistemazione idraulica e di difesa del suolo, sulla base di una completa e aggiornata programmazione": Travaglini fu chiamato a partecipare, presiedendo, tra l'altro, il Gruppo di Lavoro sui Bacini dell'Italia Meridionale. «Quella Commissione [...] è passata alla storia idraulica come Commissione Giulio De Marchi, dal nome dell'illustre studioso al quale fu attribuito l'onere della sua presidenza. Alla De Marchi

Fig. 3 – Calabria: i torrenti Calopinace e Sant'Agata.

[...] fu affidata la programmazione degli interventi, che si ispirarono a quella concezione unitaria, che Giovanni Travaglini aveva proposto con i Piani di Bacino [...]» (Jappelli, 2020b). La continuità del suo lavoro nei territori meridionali accompagnò l'impostazione tecnica di quei Piani: analisi geografica, pluralità degli apporti scientifici, strumenti di settore, competenze coordinate degli Enti confluivano in una visione interdisciplinare, tratto costante del pensiero di Travaglini.

«L'esperienza calabrese è stata il prezioso supporto di una trattazione generale della sistemazione dei terreni, che apre all'intera questione meridionale, già oggetto di attenzione di noti studiosi, ma, forse per la prima volta, con gli occhi dell'ingegnere idraulico» (Jappelli, 2020b). La chiarezza con la quale egli esprimeva anche gli aspetti fondamentali dell'idraulica agraria è stata ricordata in un recente articolo su "L'Acqua", rivista dell'Associazione Idrotecnica Italiana (Benedini, 2021). In Figura 3 sono riportate le immagini di due singolari torrenti calabresi.

Regolamentazione nazionale. Normative tecniche, costruzione di futuro.

L'impegno profuso per la difesa del suolo a scala nazionale ben rappresentava la necessità di operare una sintesi tra normalizzazione delle fasi conoscitive, pianificazione e ottimizzazione degli interventi: si lavorava alla nascita delle normative tecniche. Obiettivo che Travaglini, nominato nel 1971 Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, curò con passione, riversando il proprio bagaglio di competenza e decisionismo, unito alla lungimiranza dell'innovazione.

Una prima fase concreta coincise, nel 1973, col fatto che era in corso presso la Camera dei Deputati l'esame del disegno di legge per le costruzioni in zona sismica. Con la L.64/1974 si avviò un processo decisivo per l'ingegneria del Novecento e, subito dopo, si consolidò l'attenzione al costante monitoraggio. Travaglini sostenne con forza la necessità di un organismo di alta qualificazione scientifica che curasse

l'aggiornamento delle zone sismiche. Con la legge dell'aprile 1976 fu istituito presso il Ministero il Servizio Sismico Nazionale.

Il settore della protezione antisismica fu solo un capitolo delle normative curate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Intervennero progressivamente le nuove norme nel campo delle indagini sui terreni, della stabilità dei pendii, delle opere di fondazione, delle dighe, dei ponti, degli acquedotti, delle fognature, della protezione antincendio. Si instaurò un'intensa collaborazione con molti accademici. Il lavoro fu improntato allo sforzo di privilegiare nella stesura dei testi le disposizioni quadro e la chiarezza. Questa tendenza è stata integrata dalla consapevolezza della dinamica imposta dal continuo progresso tecnico. Il lavoro sulle norme è dunque proseguito nel tempo, ma quei fondamenti sono rimasti.

In quegli anni, inoltre, si verificarono circostanze incisive negli assetti nazionali: basti pensare alla riorganizzazione delle competenze sul territorio, iniziata con l'avvio delle autonomie regionali, agli effetti della crisi economica del 1973, che investì il settore delle costruzioni differendo il completamento di grandi opere, alle prospettive politiche nel raccordo tra governo nazionale e struttura sovranazionale del nuovo Parlamento europeo del 1979.

Di quest' ultimo, Travaglini fece parte dal 1979 al 1984 e dall'1988 al 1989, sperimentando l'esperienza politica e lavorando, in coerenza con la propria competenza tecnica e meridionalistica, in diverse Commissioni, sui temi delle politiche regionali e dell'assetto territoriale, dei trasporti, dell'energia, della ricerca. Nel ruolo di parlamentare ebbe la possibilità di riprendere, approfondendo analisi e proposte nei documenti formulati dalla Comunità europea, il suo impegno per il Sud: un impegno presente in ogni tappa della sua vita, da più parti ricordato e denso di riflessioni tuttora attuali. «Travaglini può a buon diritto essere annoverato nel grande filone dei meridionalisti italiani» (Vianello, 2020) ha scritto Dionisio Vianello, curatore anch'egli della biografia più volte citata. Intenso anche il messaggio di Antonio di Gennaro, che sulle pagine di La Repubblica, il 3 dicembre 2020, a pochi giorni dalla scomparsa di Travaglini, dice di lui «l'uomo che diede un futuro al Sud» (di Gennaro, 2020).

«La sua posizione nei confronti di un problema così complesso ma vitale per il Paese, come le politiche per il Mezzogiorno spazia dal piano personale», dice ancora Vianello, «a quello politico generale in senso lato, connotato da profonde radici storiche e culturali» (Vianello, 2020), sottolineando quanto abbia inciso l'intreccio tra l'essere lo studioso delle realtà locali e il diretto responsabile di programmi operativi.

Si tratta di una sintesi particolare tra conoscenza, ideazione e azione: la stessa, infatti, che in qualche modo si ritrova nell'attività artistica di Travaglini, aspetto non secondario del suo percorso di vita. Nelle sue opere di arte informale materica riaffiora un ingegno completo, che risolve d'imperio la nascita di un quadro superando la dicotomia tra il pensare e il fare, che nell'universo dell'ingegneria appaiono disgiunti e affidati alla razionalità del tecnico l'uno, alla maestria dell'esecutore l'altro,

Fig. 4 – Giovanni Travaglini: legno, 1968; legno e ferro, 1973; plastica, 1973.

e fondendo invece il momento ideativo con quello costruttivo in opere di materiali diversi, legno, ferro, plastica, che vengono di volta in volta associati e plasmati con tecniche sorprendenti[2]. In Figura 4 alcuni esempi.

Pietro Maria Bardi, direttore del Museo di Arte Moderna di San Paolo del Brasile nel 1975, scriveva: «Travaglini [...] nel panorama dell'Informale, appare come un fatto fuori dal comune [...]. La sua intenzione e la sua ambizione, che derivano dalla sua professione di ingegnere, è di penetrare e di scoprire la materia, assoggettandola...» (Travaglini, G., 2011).

Così, la composizione culturale tra ideazione ed esecuzione, tra programmazione e immediata operatività, tra umanesimo e razionalità, tra arte e strumenti dell'arte, rappresenta un tratto di grande attualità, in risposta al bisogno di innovazione contemporanea: testimonianza del nesso tra storia della tecnica e costruzione di futuro, che i protagonisti dell'ingegneria hanno saputo interpretare.

Bibliografia

Aymonino C. 1959. Matera: mito e realtà. Casabella-Continuità, 231, 9-11

Benedini M. 2021. In ricordo di Giovanni Travaglini. L'Acqua, 2, 87-91.

Camera dei Deputati. 1966. Relazione riassuntiva sulla Attuazione della Legge recante provvedimenti straordinari per la Calabria, depositata dal Ministro per gli interventi straordinari nel Mezzogiorno alla Presidenza il 30 settembre, Roma.

di Gennaro A. 2014. Per una storia dell'ecosistema metropolitano di Napoli. Meridiana, 80, 105-124.

di Gennaro A. 2020. Addio a Travaglini. L'uomo che diede un futuro al Sud. La Repubblica, 3 dicembre.

Guiducci R. 1967. Un piano regionale urbanistico per la Calabria. Una politica per la Calabria. Quaderni di Mondo Operaio, 3.

Jappelli R. 2007. Strutture sottili di tenuta nelle dighe massicce, L'Acqua, 6, 63.

Jappelli R. 2020a. La pianificazione delle sistemazioni idrauliche. In: *Storia di un ingegnere*,

Giovanni Travaglini: una vita per le opere pubbliche in Italia (a cura di R. Jappelli, L. Travaglini, D. Vianello). Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Jappelli R. 2020b. La sistemazione del territorio. In: *Storia di un ingegnere, Giovanni Travaglini: una vita per le opere pubbliche in Italia* (a cura di R. Jappelli, L. Travaglini, D. Vianello). Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Jappelli R., Travaglini L., Vianello D. (a cura di). 2020. *Storia di un ingegnere, Giovanni Travaglini: una vita per le opere pubbliche in Italia*. Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

La Greca P. 2020. Prefazione. In: *Storia di un ingegnere, Giovanni Travaglini: una vita per le opere pubbliche in Italia* (a cura di R. Jappelli, L. Travaglini, D. Vianello). Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Mininni M. 2017. *Matera Lucania 2017-Laboratorio città paesaggio*. Macerata: Quodlibet.

Travaglini G. 1969. Per l'assetto territoriale della Regione Campania, Relazione al Comitato Regionale di Programmazione Economica

Travaglini G. 2010. Il Vajont. I primi interventi dopo il disastro. In: *Atti del III Convegno Nazionale AISI*, Napoli, aprile, 1, 45-56. Napoli: Cuzzolin Editore.

Travaglini G. 2011. *Oltre la materia. Una presenza inedita nell'arte informale materica. Opere dal 1958 al 1974.* Napoli: Clean Edizioni.

Travaglini G., Valdinucci A. 1964. *Sulla frana di Nerano e Termini nel febbraio 1963*. Università di Napoli: Istituto di Idraulica Agraria.

Travaglini L. 2020. Quarant'anni di lavori pubblici. In: *Storia di un ingegnere-Giovanni Travaglini: una vita per le opere pubbliche in Italia* (a cura di R. Jappelli, L. Travaglini, D. Vianello). Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Vianello D. 2020. L'intervento straordinario per il Mezzogiorno e le politiche meridionalistiche. In: *Storia di un ingegnere, Giovanni Travaglini: una vita per le opere pubbliche in Italia* (a cura di R. Jappelli, L. Travaglini, D. Vianello). Sant'Arcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Sitografia

[1] Poretti S., Iori T. 2013. https://www.treccani.it/enciclopedia/la-scuola-italiana-di-ingegneria_%28Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Tecnica%29/

Note

1. Il Comitato Scientifico Nazionale ICOMOS *ISC20C*: *Patrimonio del XX secolo*, con Responsabile scientifica la Prof. Concetta Lenza, ha curato il video "Matera oltre i Sassi. I borghi e i quartieri come patrimonio del XX secolo", per il Convegno "Itinerari di architetture moderne in Basilicata e Puglia - 9x 100 = '900- Do.co.mo.mo Italia, Sez. Puglia e Basilicata", Matera,15-16/11/2019.
2. In una disamina tecnica in tema di materiali, R. Jappelli propone una singolare interpretazione delle opere di Travaglini, definendolo "fantasioso artista meccanico"; «secondo il secentista Tommaso Garzoni, meccanico è vocabolo onoratissimo, dimostrando, secondo Plutarco, mestiero della milizia pertinente, e convenevolo ad uomo d'alto affare, e che sappia con le sue mani e col senno mandare ad esecuzione opere meravigliose a singolare utilità e diletto del vivere umano» (Jappelli, 2007).

Andrea Maglio

Stefania Filo Speziale e l'edilizia borghese napoletana. Un'opera inedita: il complesso di via Petrarca 64 a Napoli

Stefania Filo Speziale and the Neapolitan Bourgeois Architecture. An Unpublished Work: the Residential Complex in Naples, via Petrarca 64

Sommario
Situati a valle della panoramica via Petrarca, gli edifici residenziali progettati da Stefania Filo Speziale con Carlo Chiurazzi e Giorgio di Simone rappresentano un episodio in parte emblematico della sua produzione e in parte assai peculiare. Come in molte altre sue opere, le specificità del luogo e l'importanza della vista sul golfo determinano la forma e la tipologia degli edifici. La carriera di Filo Speziale è ancora in gran parte da esplorare e questo contributo intende fornire un ulteriore tassello di conoscenza, utile soprattutto a riconsiderare il suo impegno nell'architettura residenziale borghese oltre che in quella popolare.

Abstract
Located downstream of the panoramic via Petrarca, the residential buildings designed by Stefania Filo Speziale with Carlo Chiurazzi and Giorgio di Simone represent an episode that is partly emblematic of his production and partly different. As in many other of her works, the peculiarities of the site and the importance of the view over the gulf determine the shape and typology of the buildings. Filo Speziale's career is still largely to be explored and this contribution intends to provide a further step of knowledge, useful above all to reconsider her commitment in both popular and bourgeois residential architecture.

Introduzione: una carriera fortunata e tormentata

Quella di Stefania Filo Speziale è una vicenda biografica e professionale per molti versi anomala, non solo per il fatto di essere stata la prima donna a laurearsi in architettura presso l'Ateneo napoletano, nonché la prima donna a divenire docente nella Facoltà di Architettura, ma anche per aver vissuto una carriera segnata da indiscutibili successi e amare delusioni. Laureatasi con Marcello Canino nel 1932, inizia subito a collaborare con il suo maestro e nel 1937, all'età di trentadue anni, viene

coinvolta nella realizzazione del più vasto e ambizioso cantiere d'epoca fascista a Napoli, ossia quello per la Mostra delle Terre Italiane d'Oltremare, inaugurata nel maggio del 1940. Oltre a progettare quattro padiglioni e l'ingresso nord, ella collabora con Canino, insieme a Carlo Cocchia e a Luigi Piccinato, all'elaborazione del piano complessivo. In questi anni si impegna anche in una serie di concorsi, ricevendo premi e menzioni, e realizza diverse opere, ma senza dubbio è il lavoro per la Mostra a costituire un prestigioso viatico per una brillante parabola professionale.

Gli anni della guerra segnano anche l'inizio della sua carriera accademica, poiché nel 1939 Filo Speziale riceve la libera docenza in "Elementi di composizione", anche se solo nel dopoguerra otterrà la cattedra di ruolo. Infatti, dopo essere stata "ternata" al Politecnico di Milano, nel 1955 diviene professore ordinario presso la Facoltà napoletana di Architettura, sotto la presidenza di Alberto Calza Bini, prima in "Caratteri distributivi degli edifici" e poi in "Composizione architettonica" (Villari, 2008: 27). La carriera accademica è accompagnata da un'attività pubblicistica mirata, ossia da un lato relazionata ad alcuni suoi specifici progetti e dall'altro basata su materiale di taglio prettamente didattico. Se gli amici e colleghi Giulio de Luca e Carlo Cocchia divengono i due maggiori caposcuola per le successive generazioni, anche Filo Speziale forma allievi destinati a una brillante carriera, tra cui Uberto Siola e Antonio Lavaggi.

La fine degli eventi bellici segna un punto di ripartenza per il Paese e per Napoli: i bombardamenti e le distruzioni, nonostante le misere condizioni in cui versa la popolazione, forniscono un'occasione per ripensare gli elementi costitutivi della città, tanto a scala urbana quanto a quella architettonica. Il primo quindicennio successivo alla fine della guerra rappresenta per Stefania Filo Speziale il momento di maggiore affermazione professionale. La vena razionalista del periodo pre-bellico era stata alimentata anche dalla conoscenza di testi tedeschi che Filo comprendeva grazie alla sua conoscenza della lingua (Lama, 2007: 215). Gli anni della ricostruzione la vedono però impegnata nella definizione di una cifra linguistica più personale, capace di misurarsi con le specificità del paesaggio napoletano e campano senza aderire in maniera convinta ai canoni del wrightismo e dell'organicismo, come invece succede nel caso di Giulio de Luca (Bertoli, 2013).

L'opera di maggiore successo critico nella carriera di Stefania Filo Speziale è costituita dal cinema-teatro Metropolitan a Napoli, realizzato tra il 1948 e il 1950 nelle cavità tufacee accessibili da via Chiaja, al di sotto del cinquecentesco palazzo Cellamare, dove ella ha anche abitato (Maglio, 2007; Maglio, 2019). Lodato anche dalla rivista "Domus", il progetto presenta una complessità notevole dal punto di vista strutturale per la necessità di regolarizzare le volte delle grotte con calotte di calcestruzzo armato e di misurare le funzioni teatrali, come quelle ad esempio della torre scenica, con le dimensioni e la dislocazione degli spazi esistenti. In questo periodo numerosi sono gli interventi di edilizia residenziale, sia a carattere popolare

che borghese, di cui si dirà in seguito, e che testimoniano una costante ricerca in ambito tipologico, in coerenza anche con il corso da lei tenuto all'università.

Nel 1954 due suoi allievi, Carlo Chiurazzi e Giorgio di Simone, si associano al suo studio, apportando un contributo alquanto differente rispetto alla visione postrazionalista della Filo Speziale. Dichiaratamente wrightiani, infatti, i due giovani architetti rappresentano un termine con cui lei si confronta volentieri e con risultati spesso molto proficui. Non si profila alcuno scontro generazionale, ma la lucida consapevolezza, da parte di Filo Speziale, di dover "svecchiare" lo studio attraverso la collaborazione di nuove leve (Burrascano e Mondello, 2014). La lezione di Wright, ancora per tutti gli anni Cinquanta, sia attraverso l'azione continua di Bruno Zevi che grazie alle opere di tanti filo-wrightiani, costituisce la maggiore novità nel panorama nazionale, nonché un modo per allontanarsi tanto dagli schemi più rigidi del razionalismo europeo quanto dai modelli del ventennio fascista. La prima occasione di rilievo per verificare gli effetti di tale collaborazione è fornita dal concorso per la stazione centrale, cui prendono parte gruppi che annoverano figure di primissimo piano nel panorama nazionale, come Bruno Zevi e Pier Luigi Nervi. Com'è noto, la soluzione finale rappresenterà un compromesso che combina idee provenienti da diversi progetti presentati al concorso (Lenza, 2010).

Cruciale nella storia professionale della "signora", come veniva anche chiamata, è la vicenda del grattacielo della Cattolica Assicurazioni, costruito tra il 1954 e il 1958. Vincitrice del concorso insieme ai suoi due collaboratori, l'architetto si deve confrontare con un committente molto risoluto, un'amministrazione comunale per nulla trasparente e organi di tutela che intervengono direttamente nelle scelte progettuali. Anche grazie alla campagna condotta da Roberto Pane e alle scene de "Le mani sulla città" che Francesco Rosi gira nel 1963 all'interno dell'edificio, questo diviene quasi un simbolo della speculazione edilizia. A seguito di questo episodio, la carriera di Filo Speziale prosegue senza che i suoi lavori siano più al centro dell'attenzione di pubblico e critica ed ella stessa vive gli ultimi anni di professione con amarezza e preferendo, ancora più che in passato, una posizione defilata.

Un'opera degli anni Cinquanta che è stata recentemente riscoperta e che senz'altro rappresenta un lavoro raffinato e di grande qualità è Palazzo Della Morte, in corso Vittorio Emanuele a Napoli. Anche qui, con il rilevante contributo di Chiurazzi e di Simone, alcune specificità del territorio napoletano sono sfruttate per realizzare un edificio in perfetta sintonia con il panorama e con il costone tufaceo su cui sorge, definendo una cifra progettuale lontana dal *mainstream* ma aggiornata sul piano internazionale (Burrascano e Mondello, 2014).

In definitiva, quella di Stefania Filo Speziale rappresenta una figura imprescindibile per la comprensione del panorama architettonico del secondo Novecento a Napoli e al contempo quella di una progettista sensibile e raffinata, lontana dalle mode e da tendenze formaliste. Negli ultimi anni è stata giustamente oggetto di di-

verse riletture, anche nella sua identità di donna in una professione prevalentemente declinata al maschile, ancor più negli anni in cui si è trovata a operare (Bongiovanni 2016; Ingrosso e Riviezzo 2018). Anche per la perdita del suo archivio personale e per la difficoltà nel reperimento di riscontri negli archivi pubblici, manca ancora uno studio ampio in grado di restituire la complessità e la ricchezza della sua opera.

L'edilizia residenziale di Filo Speziale

Oltre a quello dell'edilizia borghese, oggetto specifico di queste note, anche l'ambito dei quartieri popolari è stato un tema in cui Filo Speziale ha esercitato un ruolo per nulla secondario nel panorama napoletano. Già nel 1938, prima ancora di realizzare gli edifici alla Mostra d'Oltremare, ella progetta e poi costruisce un fabbricato per l'IACP in piazza Ottocalli a Napoli. Dopo la guerra diversi sono invece gli incarichi ricevuti nell'ambito del piano Ina-casa: per Capua e Cancello Arnone (1950), per Capodichino (1951), per i successivi lotti del complesso di Capua (1951 e 1952), per Bagnoli (1952), per Agnano (1953), di cui elabora anche il piano complessivo; inoltre, lavora anche per il quartiere Cep al rione Traiano (1958-59), a Capodichino-Ponti Rossi (1960-61) e infine al quartiere Gescal a Casamarciano (1971-72).

Si tratta di un'intensa attività, capace di un notevole livello di sperimentazione tanto rispetto alle soluzioni tipologiche e planimetriche quanto per le tecnologie e i materiali impiegati. Anche se apparentemente non v'è connessione con l'ambito dell'edilizia borghese e di lusso, in realtà molti temi interessano entrambi i campi e, in particolare nel corso degli anni Cinquanta, l'evoluzione della cifra stilistica di Filo Speziale può essere ripercorsa solo guardando a questi due ambiti in continua dialettica tra loro.

Il quartiere Ina-casa di Agnano, ad esempio, si fonda su un impianto planimetrico organico, in cui le strade e gli edifici seguono linee curve che si adattano all'orografia del terreno (De Falco, 2018: 63-76). L'idea di un complesso autosufficiente e concluso, rivolto verso l'interno e con solo tre accessi, oltre a rimandare ad alcune novità dell'urbanistica post-bellica, si fonda su un'attitudine al dialogo tra territorio e costruito che interessa anche l'edilizia borghese. La natura collinare del sito per il quartiere di Agnano è accolta senza negarla, ad esempio inserendo edifici più alti alle quote inferiori. In sostanza, sebbene in modi diversi e con intenti del tutto differenti, si disegna un *townscape* capace di misurarsi con un paesaggio, come quello napoletano, mai neutro, introducendo un tema che nella cultura architettonica italiana era stato poco percorso. Inoltre, anche il disegno delle aperture, con diverse soluzioni sperimentate anche con l'obiettivo di ottenere una continua varietà tanto nella tipologia quanto nell'immagine architettonica, mostra analogie con le logiche sottese al disegno delle palazzine posillipine, comprese, come si dirà in seguito, quelle di via Petrarca 64.

In alcuni casi la tipologia dei blocchi di case popolari, a molti piani e con gran numero di alloggi, richiede un disegno difficilmente paragonabile a quello dell'edilizia borghese. Tuttavia, pur all'interno di una maglia strutturale regolare, Filo Spe-

ziale rinunzia quasi sempre alla facile soluzione di ridurre l'impianto planimetrico alla sola matrice geometrica ortogonale, così come riesce a rendere più dinamici i prospetti attraverso il disegno delle balconate, come ad esempio nei fabbricati di tipo 'C' nel complesso di Bagnoli.

Il disegno delle balconate diviene essenziale nella configurazione dei prospetti anche per le palazzine borghesi, talvolta giocando sul chiaroscuro generato dalla profondità, come tra il 1955 e il 1960 a via Nevio (Burrascano e Mondello, 2014: 28-29), e talaltra definendo ampiezze variabili. Numerosi sono gli interventi di Filo Speziale lungo l'asse panoramico di via Petrarca: al civico 141 della strada l'architetto realizza, su commissione nel 1953 dell'impresa IMEP, dallo stesso anno anche stazione appaltante per Ina-casa e coinvolta nel rione di Bagnoli proprio con edifici firmati da Filo Speziale (De Falco, 2017b: 205), due edifici collegati mediante ponte in un lotto sottoposto a vincolo paesaggistico (Picardi, 2017): come in altri casi, la soluzione al divieto di superare una determinata lunghezza si fonda su una forma "a spezzata", quasi a serpentina. Anche in tal caso le balconate, qui continue, definiscono i prospetti, riportando ai volumi una continuità interrotta dalle variazioni di giacitura.

Tra il 1963 e il 1967, insieme a Chiurazzi e di Simone, ella realizza quattro fabbricati all'interno del cosiddetto "parco Ruffo", ossia nei giardini della preesistente villa Ruffo della Scaletta, un edificio neoclassico progettato da Giuseppe Bechi, affiancato da costruzioni di carattere neogotico. Sul lato superiore della proprietà, con ingresso da via Petrarca 40, si trovano i quattro fabbricati, situati a quote differenti, intorno ai tornanti della strada privata (Manzo, 2018). Il rapporto tra pieni e vuoti definisce un'articolazione mutevole dei prospetti, con l'invariante delle profonde terrazze rivolte verso il panorama, due verso sud-est, in direzione del Vesuvio, e due verso sud-ovest, con scorci quindi sempre differenti.

Questa capacità di adattamento al sito sembra una costante nel lavoro della "signora". Come ella stessa scrive, l'abitazione è sempre «in rapporto all'ambiente esterno circostante costituito dalla natura o da quello artificiale preordinato dall'uomo. In tal modo si crea l'atmosfera esterna e la visuale che si godrà dalla casa» (Filo Speziale, 1953; Burrascano e Mondello, 2014: 58). Basti pensare anche alla residenza che progetta per la propria famiglia in via Tasso 470, a Napoli, realizzata nel 1955 (Manzo, 2005): ancora una volta il contesto della città collinare e borghese definisce una griglia progettuale entro cui calare l'edificio. Stretta tra due "parchi" residenziali, Materazzo e Comola Ricci, su un sito in pendenza che guarda a sud-est, la casa si articola su due corpi ad angolo concavo, di cui uno più alto e l'altro coperto da una terrazza. Alla struttura in calcestruzzo armato corrispondono rivestimenti in tasselli in cotto e in colore ocra, mentre il basamento dal lato dell'ingresso, verso la strada, è in pietra.

L'attenzione per il tema del *genius loci* sembra informare tutta l'opera di Filo Speziale e in particolare le realizzazioni a carattere residenziale. Uno degli esempi più felici, come si accennava, è quello di Palazzo della Morte, dove la tipologia del-

la corte si combina con quella del palazzo cittadino. Il lato meridionale della corte raggiunge quindi un'altezza limitata per non impedire la vista dal corpo retrostante mentre il giardino pensile, attraversato da leggere passerelle aeree, si configura come un luogo appartato ma non chiuso, rivolto verso il mare. La combinazione dei materiali, dai rivestimenti in pietra alle maioliche colorate e dal cemento a vista all'intonaco bianco, è attentamente studiata per gli effetti luministici. Si tratta di un'attitudine costante, fino alla più tarda villa Vitolo del 1962, che presenta anche il tema dei *brise-soleil*, in continuità con la soletta delle balconate o in dialogo con le fasce intonacate orizzontali che intersecano le verticali in pietra. Tale attitudine risulta confermata anche dalle palazzine di via Petrarca di seguito analizzate.

Le palazzine a via Petrarca 64 a Napoli

Nel regesto delle opere di Stefania Filo Speziale, redatto sulla base di uno dei suoi ultimi curriculum vitae, poi trascritto e pubblicato (Iannuzzi, 2010; Burrascano e Mondello, 2014), il complesso residenziale di via Petrarca a Napoli, individuabile grazie al nome dell'impresa cui sono affidati i lavori, risale al 1956. Si tratta evidentemente della data cui risale la fase progettuale poiché, da un riscontro con gli eredi degli imprenditori che li realizzarono, gli edifici furono terminati nel 1960 e certamente abitati a partire da quell'anno. Nel regesto come impresa appaltante risulta la CAP, che per la progettazione strutturale si avvale degli ingegneri Lucio e Giorgio Ricciardelli, ma molti dei grafici sono effettuati per la Società Edilizia Finanziaria-SEFI dell'ingegnere de Conciliis.

Il complesso residenziale si trova lungo uno degli assi a maggiore densità di edificazione nel corso degli anni Cinquanta e Sessanta, in Figura 1. Costruita dalla Società SPEME a partire dal 1926, via Petrarca sarà terminata solo molti anni dopo ma, realizzata a mezza costa sulla collina di Posillipo, da subito attrae per il superbo panorama sul golfo napoletano (Belli e Mangone, 2011: 110-112, 118-120; Manzo, 2018: 183-187). In particolare, il sito si trova in corrispondenza del punto dove sorge il plesso di San Luigi della Pontificia Facoltà Teologica dell'Italia Meridionale, comunemente detto "dei Gesuiti", ossia all'altezza di una curvatura della strada caratterizzata da un panorama di particolare pregio. Il lotto interessato si trova a valle della strada, dal lato verso il mare, e gode pertanto di una vista altrettanto pregevole. Anzi, come frequentemente accade nelle opere di Filo Speziale, il dialogo dell'architettura con le specificità del luogo e con l'eventuale vista panoramica costituisce una ineludibile discriminante progettuale.

Osservando il complesso dall'alto, ossia proprio da via Petrarca, il primo elemento che cattura l'attenzione è rappresentato dall'avveniristica rampa di accesso, articolata su un sistema di curve, con cui superare il notevole dislivello di quota tra il lotto e la strada, come mostrato in Figura 2. In realtà, inizialmente gli edifici avrebbero dovuto risultare accessibili dall'adiacente complesso residenziale di "Parco Gaio" e

Fig. 1 – Napoli: vista del sito di via Petrarca 64 con la rampa di accesso, fine anni '60 (cartolina collezione privata S. Balsamo).

solo successivamente si rese necessario un accesso indipendente da via Petrarca[1]. La stessa rampa, per la posizione che occupa e grazie al percorso che definisce, permette una serie di scorci panoramici sulla collina di Posillipo e sul mare. Caratteristica ricorrente nell'opera dell'architetto napoletano è il rapporto di dialogo intimo con le caratteristiche del luogo, ossia in tal caso proprio con l'elemento paesaggistico e con il costone di tufo. In altri casi, il salto di quota è stato risolto mediante passaggi scavati nella roccia e collegamenti verticali con ascensori, come avviene per esempio nel complesso residenziale di via Petrarca 74 o nel più noto palazzo Della Morte, ma anche nel caso del cinema Modernissimo; nel caso oggetto di queste note, l'ascensore di pertinenza della scala A e poi un tunnel permettono di arrivare a una quota più bassa, in corrispondenza di via Posillipo, nelle immediate adiacenze di piazza San Luigi. All'epoca della costruzione, l'area di via Petrarca risultava ancora poco abitata e quindi sprovvista di attrezzature ed esercizi commerciali, per cui doveva sembrare ancora più utile poter ricavare un accesso dalla strada di Posillipo. La differenza con gli altri tunnel, in particolare quelli per il Modernissimo e per palazzo Della Morte, sta nelle pareti verticali, invece che curvate.

Fig. 2 – Napoli: vista del complesso di via Petrarca 64 dalla rampa d'accesso (Foto di A. Maglio).

Un confronto con palazzo Della Morte a corso Vittorio Emanuele, commissionato già nel 1951 e realizzato tra il 1955 e il 1957, fornisce elementi particolarmente utili, non solo per la coincidenza cronologica, che vede uno sfalsamento di soli pochi anni, ma anche per la lettura del rapporto con il paesaggio. La radicale differenza nell'impianto planimetrico, a palazzo Della Morte basato sul tipo "a corte" e a via Petrarca su un blocco eterogeneo ma lineare, aperto verso il panorama, deriva dalla specifica volontà di adattamento al luogo: il sito del palazzo, a una quota intermedia tra corso Vittorio Emanuele e via Palizzi, permette prevalentemente una visione frontale del mare e del golfo, mentre lo sperone tufaceo di via Petrarca permette una visuale ad angolo concavo, come già nella casa Filo Speziale, in grado di spaziare dalla collina di Posillipo fino al Vesuvio.

L'articolazione degli edifici risulta abbastanza complessa, poiché cinque blocchi, contrassegnati come A, B, C, D, E, realizzati in contiguità tra loro, sono disposti intorno a due corpi scala, di cui due serviti dalla scala 'A' e tre dalla scala 'B', come mostrato in Figura 3. In realtà, dal punto di vista volumetrico, i blocchi risulterebbero essere in numero di quattro, poiché quelli corrispondenti alle lettere 'B' e 'C' restituiscono l'immagine di un corpo unico. Inoltre, dalle planimetrie di progetto si evince come in origine fosse previsto un ulteriore blocco, denominato 'F', a cavallo della rampa di accesso, poi non realizzato. Essendo il panorama la principale discriminante progettuale, i blocchi, e quindi gli appartamenti, sono organizzati in modo da avere sempre un affaccio verso sud o sud-ovest.

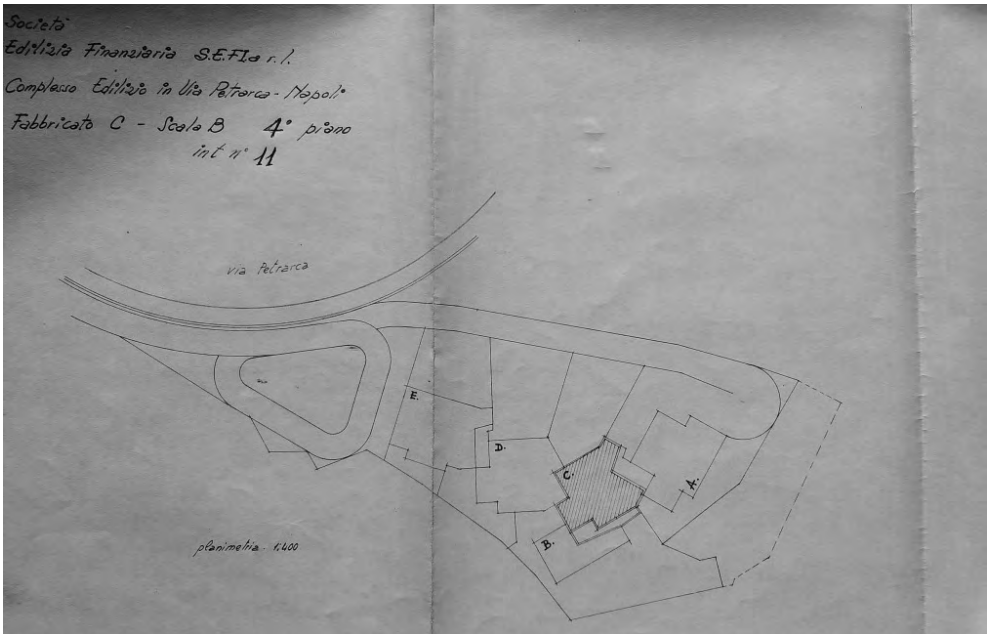


Fig. 3 – Napoli: planimetria del complesso di via Petrarca 64 con indicazione dei fabbricati (Archivio de Conciliis).

L'organizzazione planimetrica del complesso si fonda su una compresenza di geometrie ortogonali e di angolature oblique: la ragione sta da un lato, come detto, nella necessità di rivolgere le abitazioni verso il panorama, e dall'altro nella volontà di comporre una volumetria articolata che abbandonasse banali forme stereometriche. A tal fine, anche i prospetti risultano differenti, sia tra i diversi corpi del complesso che tra i vari piani di uno stesso blocco. Le piante degli appartamenti di un blocco non sempre si ripetono a ogni livello, sebbene ogni appartamento occupi generalmente un intero piano di uno dei blocchi. Inoltre, la forma e l'ampiezza delle balconate variano anch'esse da piano a piano, in modo da disegnare prospetti caratterizzati da sbalzi differenziati, sporgenze e continue variazioni, come mostrato nelle Figure 4 e 5.

Si può ipotizzare che tale approccio, in parte di matrice wrightiana, derivi dal contributo dei due giovani *partners* dello studio, ossia Mario Chiurazzi e Giorgio di Simone, grazie a cui la chiarezza espressiva di marca razionalista di Filo Speziale è mitigata da spunti formali più organici. Peraltro, il razionalismo di Filo Speziale non risulta mai dogmatico e non sembra imitare sterilmente gli esempi nord-europei. Lo dimostrano i progetti per case popolari, in cui spesso l'asse eliotermico ricorrente nelle *Siedlungen* tedesche è abbandonato, ma anche la produzione residenziale borghese, compresa la sua casa a via Tasso, di cui si è già detto.

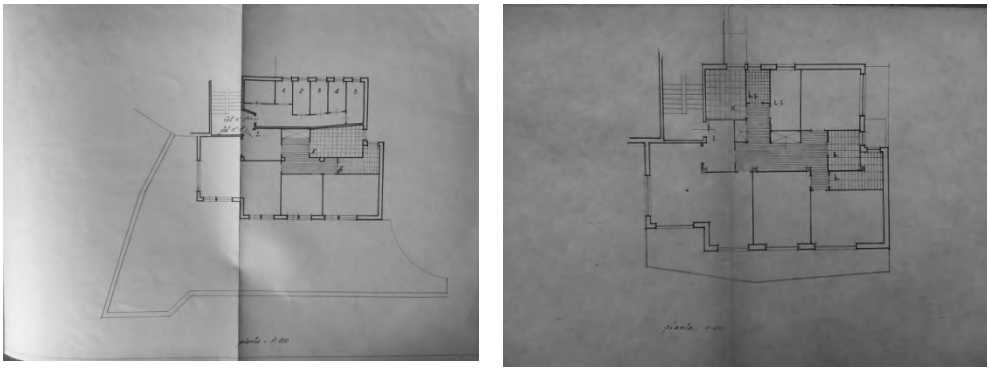


Fig. 4 – Napoli: piante del fabbricato 'A' del complesso di via Petrarca 64, piano terra e terzo piano (Archivio de Conciliis).

Fig. 5 – Napoli: vista delle balconate del fabbricato "E" (a sinistra) e dell'ingresso ai fabbricati (a destra) del complesso di via Petrarca 64, uguale nei due corpi scala (Foto di A. Maglio).

Anche le soluzioni adottate per i prospetti ricorrono in parte a temi consueti della produzione di Filo Speziale e in parte a idee affatto differenti: la presenza di intonaco rosso pompeiano, in particolare, rappresenta un'eccezione se rapportato alle scelte cromatiche di altri lavori coevi. In realtà, per le superfici esterne sono previste *textures* diverse, tra cui anche intonaco bianco, tessere a mosaico giallo e azzurro e listelli in clinker di granito. I volumi intonacati in rosso si alternano a quelli dal colore chiaro,

Fig. 6 – Napoli: complesso di via Petrarca 64, vista dei prospetti dal lato dell'ingresso (Foto di A. Maglio).

come evidenziato in Figura 6, in modo da definire i quattro blocchi distinguendoli secondo una precisa articolazione all'interno di un unico manufatto. Il paramento esterno in mattoncini invece è utilizzato per il registro basamentale e per evidenziare le fasce delle aperture sui prospetti; in particolare, i prospetti verso gli ingressi mostrano delle fasce rivestite in mattoncini, all'interno delle quali sono ricavate le finestre, che forse rimandano, reinterpretandola, all'idea corbusiana della finestra a nastro.

Queste scelte ricordano anche alcuni degli edifici realizzati per il quartiere Inacasa di Agnano, in particolare per il tipo 'B', il cui prospetto meridionale, in maniera simile ai prospetti verso l'ingresso a via Petrarca, presenta una fascia con diverso trattamento delle superfici che incornicia le varie bucature (De Falco 2018, 64). Inoltre, l'edificio dell'ingresso est al quartiere di Agnano simula una continuità delle fasce dei balconi, che non corrisponde ad una continuità della soletta, per raggiungere un livello di uniformità del disegno; a via Petrarca le fasce cedono il posto in più punti a travi sospese nel vuoto, visibili in Figura 7, che collegano blocchi diversi e restituiscono l'unità formale del complesso.

Fig. 7 – Napoli: complesso di via Petrarca 64, il prospetto del fabbricato 'C' dal lato dell'ingresso (Foto di A. Maglio).

Infine, la consapevolezza di come la visione prevalente delle palazzine avvenga dall'alto, peraltro dalla più panoramica e frequentata delle curve di via Petrarca, comporta un attento disegno dei terrazzi di copertura, allo stesso tempo punti di osservazione del panorama e parte di quel panorama stesso. Uguale attenzione era stata dedicata alle coperture per Palazzo Della Morte, dove il blocco meridionale dei "villini" era stato coperto da un terrazzo rivestito in cotto ocra e maiolica azzurra, tanto da far parlare di una "quinta facciata" percepita appunto dall'alto (Burrascano e Mondello, 2014: 81).

Conclusioni

All'interno della vasta produzione di Stefania Filo Speziale, come visto, il tema dell'architettura residenziale, popolare o borghese, riveste un'importanza per nulla secondaria. La possibilità di sperimentare soluzioni planimetriche e di costruire sistemi linguistici complessi in facciata costituisce un *fil rouge* con cui leggere l'evoluzione del suo percorso professionale pur nella varietà degli incarichi affidati. Sin dal progetto per Agnano, a Napoli, è chiara questa matrice della sua ricerca, così come la precisa

volontà di dialogare con la natura del paesaggio. Il rapporto con le qualità del territorio napoletano si esplica in diversi modi, ossia con la scelta di precise giaciture per gli edifici, con l'attento calcolo delle visuali e con un'attenzione non tanto alla geometria esatta degli spazi ma piuttosto a una loro percezione soggettiva. Anche l'usuale perforazione dei costoni di tufo per costruire tunnel e ascensori rimanda a una capacità di sfruttare dislivelli, occupare spazi ipogei e guadagnare percorsi imprevisti.

La componente tecnica non diviene mai fine a se stessa, nemmeno nel caso del Metropolitan, ancora a Napoli, dove è al servizio di un'esperienza dello spazio sorprendente e inedita. In altra sede tali ragioni hanno spinto chi scrive a definire questo tipo di approccio con il termine di "modernità conciliante" (Maglio, 2020), con riferimento alla consapevole rinuncia a definire modelli ideali o paradigmatici in favore di una singolare capacità di adattamento. Il complesso di via Petrarca 64 a Napoli conferma queste ipotesi interpretative, da un lato risultando perfettamente coerente con la produzione di Filo Speziale, dall'altro fornendo elementi di eccezionalità, come le scelte cromatiche dei prospetti, le continue variazioni di pianta nelle singole verticali e le differenze nel trattamento delle balconate.

Per lungo tempo la lettura dell'architettura delle fasce collinari occidentali a Napoli è stata appiattita sull'idea di una generale mancanza di qualità e sulla semplice constatazione dell'aggressione al territorio che peraltro certamente non si può negare. Eppure va riconosciuto come, nella vastissima mole delle realizzazioni nei decenni successivi alla fine del conflitto mondiale, esistano gradazioni e "scale di grigi" ancora tutte da rilevare. Solo di recente è stata argomentata una riconsiderazione dei tipi del "condominio" e del "parco residenziale", quest'ultima una specificità tutta napoletana che presenta talvolta episodi degni di sicuro interesse (Ingrosso, 2017). Il lavoro dello studio Filo Speziale, Chiurazzi e di Simone a via Petrarca 64 non solo è lontano da certe azioni speculative di ben altro tenore, ma richiama invece quel "rapporto con l'ambiente" di cui scrive la "signora" e, pur senza raggiungere i toni aulici di altre opere coeve, rimanda alla possibilità di una qualità diffusa che nel contesto napoletano non è affatto scontata.

Ringraziamenti
Desidero ringraziare sentitamente Riccardo de Conciliis per aver da subito sostenuto questa ricerca e Giovanna de Conciliis per il materiale grafico fornitomi e per avermi cortesemente e con entusiasmo permesso di accedere agli edifici.

Bibliografia
Belli G., Mangone F. 2011. *Posillipo, Fuorigrotta e Bagnoli. Progetti urbanistici per la Napoli del mito 1860-1935*. Napoli: Grimaldi.
Bertoli B. 2013. *Giulio de Luca 1912-2004. Opere e progetti*. Napoli: Clean.
Bongiovanni M. 2016. Stefania Filo Speziale. In: *MoMoWo. 100 works in 100 years. European Women in Architecture and Design. 1918-2018* (A.M. Fernández Garcìa, C. Franchini E. Garda, H. Seražin Eds.). 96-97. Ljubljana: Založba.

Burrascano M., Mondello M. 2014. *Lo studio Filo Speziale e il modernismo partenopeo. Palazzo della Morte.* Napoli: Clean.

De Falco C. 2017a. Immagine e sviluppo della Napoli occidentale: case pubbliche e ricostruzione. Eikonocity, II(1), 85-99.

De Falco C. 2017b. L'Ina Casa a Bagnoli, Agnano e Canzanella e gli interventi della Filo Speziale: ripartire dalla storia per la salvaguardia ambientale. In: *La baia di Napoli. Strategie integrate per la conservazione e la fruizione del paesaggio culturale* (a cura di A. Aveta, B.G. Marino, R. Amore). 204-208. Napoli: Artstudiopaparo.

De Falco C. 2018. *Case INA e luoghi urbani. Storie dell'espansione occidentale di Napoli.* Napoli: Clean.

Iannuzzi I. 2010. *Una prima monografia sull'architetto Filo Speziale.* Tesi di Laurea. Università degli Studi di Napoli Federico II.

Ingrosso C. 2017. *Condomini napoletani. La "città privata" tra ricostruzioni e boom economico.* Siracusa: LetteraVentidue.

Ingrosso C., Riviezzo A. M. 2018. Stefania Filo Speziale and Her Long-Overlooked Legacy to Twentieth-Century Italian Architecture. In: *Women's Creativity since the Modern Movement (1918-2018): Toward a New Perception and Reception* (C. Franchini, E. Garda, H. Seražin Eds.). 1046-1055. Ljubljana: ZRC.

Lama D. 2007. *Storie di cemento. Gli architetti raccontano.* Napoli: Clean.

Lenza C. 2010 (a cura di). *La stazione centrale di Napoli. Storia e architettura di un palinsesto urbano*. Milano: Mondadori Electa.

Maglio A. 2007. Il cinema-teatro Metropolitan a Napoli. "Volumi fantastici" nelle grotte di Chiaia. Opus incertum, Rivista del Dipartimento di Storia dell'Architettura e della Città dell'Università degli Studi di Firenze, I(2), 72-77.

Maglio A. 2019. A Movie Theatre in a Cave: The Metropolitan in Naples as an Essential Step for the Post-war Reconstruction. EdA. Esempi di Architettura, Special issue: I call it Cinematograph. Architectures and Stories of the Movie Theatres, VI(1), 44-55.

Maglio A. 2020. Di una modernità "conciliante". Napoli 1930-1960. In: *Napoli Super Modern* (a cura di LAN-Local Architecture Network / B. Jallon. & U. Napolitano). 25-33. Macerata: Quodlibet.

Manzo E. 2005. Architetture del Moderno a Napoli tra progetto e prassi. La casa di Stefania Filo Speziale. In: *Il Moderno tra Conservazione e Trasformazione. Dieci anni di Do.Co.Mo.Mo. Italia: Bilanci e Prospettive, Atti del convegno internazionale*, Trieste, 5-8 dicembre (a cura di S. Pratali Maffei e F. Rovello). 255-264. Trieste: Editreg.

Manzo E. 2018. Living the Modernity in Naples: via Petrarca and the Post-Second World War Housing. Three Buildings by the Architect Stefania Filo Speziale in Parco Ruffo [Ruffo Park]. In: *Development and preservation in large cities. An International perspective* (C. Gambardella and D. Listokin Eds.), 6-7, 183-192. Napoli: La Scuola di Pitagora.

Picardi S. 2017. Edificio in via Petrarca 141. Stefania Filo Speziale, 1953. In: C. Ingrosso, *Condomini napoletani. La "città privata" tra ricostruzioni e boom economico*, 92-93. Siracusa: LetteraVentidue.

Note

1. La notizia è fornita dagli eredi de Conciliis.

Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino

L'innovazione leggera di Alberto Galardi e Silvano Zorzi: il Palazzo Olivetti di Firenze

The light innovation by Alberto Galardi and Silvano Zorzi: the Olivetti building in Florence

Sommario
La filiale Olivetti di Firenze rappresenta un contributo fondamentale alla storia dell'ingegneria italiana. Raro esempio di edificio appeso a tiranti, fu concepito dall'architetto Alberto Galardi e dall'ingegnere Silvano Zorzi nel 1969 per conto della celebre società diretta da Adriano Olivetti. Questo tipo edilizio si caratterizza per la brillante combinazione di due pionieristiche tecniche costruttive: una struttura sospesa di impalcati portanti abbinata a un leggerissimo *curtain wall* formato da pannelli vetrati. La complessità, in termini ingegneristici, architettonici e di cantiere di questi "edifici-ponte", fu la causa di una ristretta diffusione, che ne generò in ultima istanza l'oblio, anche da parte della storiografia. In assenza di una specifica ricostruzione storica che ne indaghi le ragioni architettoniche e costruttive, questo contributo, assumendo come riferimento il caso studio fiorentino, mira a delineare i caratteri propri degli edifici appesi. "Edificio sorprendente", "oggetto tecnologicamente perfetto", "operazione combinata di architettura più ingegneria", il Palazzo Olivetti di Firenze fu recepito come un oggetto stravolgente all'interno di un tessuto storico ben consolidato. In particolare, il presente studio si propone di dare nuova luce a un edificio cardine per la storia dell'ingegneria italiana ripercorrendo la storia costruttiva e tecnologica di una realizzazione emblematica, dalla concezione della prima proposta progettuale, alla documentazione minuziosa della sua materialità, fino alla scelta della soluzione sospesa e alle sue fasi costruttive di cantiere. Il tutto è basato sull'interpretazione di una ricca documentazione archivistica in gran parte inedita, completata da una testimonianza diretta di Alberto Galardi.

Abstract
The Olivetti building in Florence represents a fundamental contribution to the Italian history of engineering. A rare example of suspended construction, it was designed by architect Alberto Galardi and engineer Silvano Zorzi in 1969, on behalf of the

famous company led by Adriano Olivetti. This building type is characterized by the brilliant combination of two pioneering construction techniques: a suspended structure coupled with an extremely light *curtain wall*, composed of glazed panels. The architectural, engineering, and constructive complexity of these "bridge-buildings" was the cause of a scarce propagation, which finally made them almost totally forgotten, even by historiography. Considering the lack of historical research, this contribution, assuming as a case study the Olivetti palace in Florence, aims to delineate the main features of suspended buildings. "Amazing building", "technologically perfect object", "combined operation of architecture and engineering", the palace was received as an exceptional result in a well-established historical context. This paper aims to trace the constructive and technological history of an emblematic realization, from the first concept to the onsite construction steps, passing through meticulous documentation of its materiality. Based on the interpretation of unpublished archival sources, enriched by Alberto Galardi's direct testimony, the contribution seeks to give new value to one of the most emblematic buildings in the Italian engineering history.

Le strutture tensegrity: dall'utopia al cantiere

Gli anni Venti del Novecento segnarono in architettura un punto di svolta fondamentale nel cammino verso la leggerezza. È in questo periodo che la crescente diffusione di edifici alti portò con sé numerose innovazioni costruttive, legate soprattutto all'uso di materiali quali l'acciaio e il calcestruzzo armato. Contemporaneamente, le questioni legate ai fenomeni di densificazione urbana spinsero ingegneri e architetti a esprimere con forza la necessità di sottrarre gli edifici dal pesante ingombro della struttura[1] (Kiesler, 1925).

Il fatto che negli anni Venti a Berlino i piani terra di molti edifici furono convertiti in negozi e i soprastanti livelli dedicati ad abitazioni, suggerì per la prima volta ad Heinz e Bodo Rasch di proporre soluzioni multipiano caratterizzate dall'utilizzo di elementi in trazione sospesi dall'alto, così da garantire il minor disturbo possibile nella gestione dei livelli inferiori (Minke, 1973). Allo stesso tempo, in America, Richard Buckminster Fuller ideava in maniera utopistica e provocatoria un sistema sospeso di dieci piani del tipo *4D mast house*, basato su un sostegno centrale e funi perimentrali in tensione, da assemblare e collocare in sito grazie all'ausilio di un dirigibile, in Figura 1 (Sassone, 2010).

Questi progetti di strutture *tensegrity* rimasero semplici abbozzi su carta: si dovettero attendere altri 40 anni per vedere le prime realizzazioni concrete. A renderle finalmente possibili fu la crescente applicazione del calcestruzzo armato precompresso, soprattutto dopo che l'impresa tedesca Dyckerhoff & Widmann iniziò negli anni Cinquanta a diffondere su scala internazionale il proprio brevetto Dywidag. Proprio questo sistema, infatti, venne pioneristicamente adottato da Jacob B. Bake-

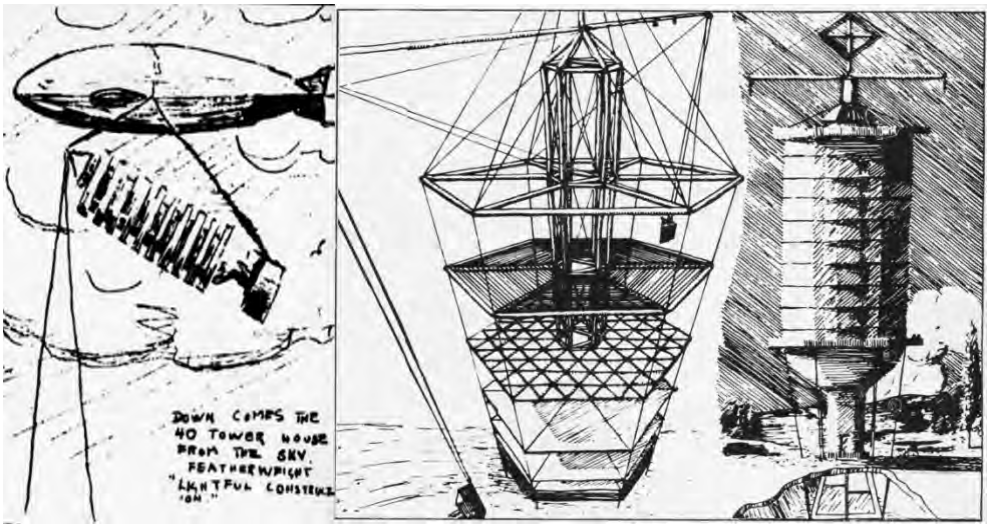


Fig. 1 – Disegni per la 4D mast house di Richard Buckminster Fuller (Oliveri, 1968: 39).

ma e Johannes H. van der Broek per il concorso, bandito nel 1957, per la realizzazione del complesso amministrativo di Marl, in Germania. Il progetto prevedeva quattro torri, due delle quali effettivamente realizzate, a struttura sospesa mediante tiranti in calcestruzzo armato precompresso, ancorati a una imponente trave di copertura e capaci di liberare il piano terreno da qualsiasi ingombro di elementi verticali.

Seppur il tema non sia ancora stato sufficientemente indagato, anche l’Italia svolse un ruolo cruciale nella diffusione europea delle costruzioni sospese. Le nozioni di trasparenza, leggerezza e flessibilità divennero molto ricorrenti in quegli anni e ingegneri e architetti vi si confrontarono costantemente nella continua ricerca di strutture finalmente capaci di integrarli. Una prima soluzione era rappresentata dall’uso di solai a sbalzo nervati incastrati in un nucleo centrale portante, come nel caso del progetto della Torre per uffici a Genova[2] di Angelo Mangiarotti e Bruno Morassutti (1955). Seconda soluzione, che si affermò storicamente su quella a sbalzo, fu appunto la sospensione, che grazie al calcestruzzo precompresso garantiva un uso migliore dei materiali, un’ingente riduzione delle loro quantità e un’ottimizzazione nella gestione degli spazi e dei tempi di cantiere. Questi fattori positivi erano considerati sufficienti a giustificare l’esecuzione di una costruzione appesa rispetto a una struttura tradizionale. Si cominciò così a scrivere un capitolo fondamentale nella storia dell’ingegneria e delle tecniche costruttive italiane, inspiegabilmente trascurato dalla storiografia moderna, ma che merita indubbiamente di essere approfondito. È un periodo di fermento e innovazione in cui gli ingegneri e gli architetti furono continuamente chiamati a confrontarsi tra loro, in un dialogo costruttivo volto a elaborare soluzioni progettuali

Fig. 2 – Firenze: Palazzo Olivetti, vista esterna. Appare da subito evidente l'adozione della struttura sospesa (©Gabriele Basilico/Archivio Gabriele Basilico).

capaci di integrare gli aspetti strutturali con quelli distributivi e tecnologici, in primo luogo con i sistemi di facciata, necessariamente leggeri e modulari.

In questo contesto la filiale Olivetti di Firenze, in Figura 2, opera di Alberto Galardi e Silvano Zorzi (1969-1971), si pone come un'opera emblematica, raro esempio italiano di "edificio-ponte" sospeso a tiranti, capace di affermarsi a livello internazionale grazie alle sue elevate qualità tecnologiche (Koenig, 1973).

Un'operazione combinata di ingegneria e architettura

Quando nel 1969 la Olivetti affidò ad Alberto Galardi il progetto per la propria filiale nel capoluogo toscano, la scelta dell'architetto sembrò cadere naturalmente sull'adozione di una struttura sospesa, a favore di una pianta libera, che venne «immediatamente accettata a Ivrea dalla direzione»[3]. I disegni di archivio testimoniano in realtà l'esistenza di una precedente ipotesi, che vedeva la facciata come una mastodontica trave reticolare, ma che fu presto abbandonata per ragioni formali[4]. Effettivamente Galardi non era nuovo a questo genere di soluzioni: fin dai primi anni di università, quando a un corso di progettazione si richiedeva l'ampliamento della propria casa, egli proponeva «una struttura leggera, un piccolo studiolo appeso al tetto»[3] della sua abitazione a Chiavari. Qualche anno dopo, ancora in Liguria, realizzava l'arredo per

la mostra del Tigullio, concependo un allestimento sospeso con fili d'acciaio ancorati al soffitto (Galardi, 2001). Si dovrà però attendere il concorso del 1964 per il Palazzo degli Affari di Torino, ideato con Carlo Mollino, Carlo Graffi e Antonio Migliasso, per assistere alla realizzazione del suo primo edificio con struttura appesa.

Il Palazzo Olivetti di Firenze rappresenta così il punto di arrivo di una lunga ricerca progettuale, un'operazione combinata di ingegneria, design e architettura (Koenig, 1973) unica nel suo genere e appositamente concepita per una «città dal passato così ingombrante»[3].

Sapientemente, come sempre, la Olivetti abbinò la progettazione architettonica di Galardi con quella ingegneristica dello studio Zorzi[5], rappresentato a Firenze dall'ingegner Augusto Bianco. Seppur il coinvolgimento di Zorzi pare avvenire ad uno stadio progettuale già avanzato – Galardi ne ricorda il rammarico per non poter contribuire attivamente al design della struttura, limitando il suo intervento ad operazioni di calcolo e dimensionamento[3] – egli fu considerato la figura ideale per la migliore riuscita dell'opera. Ideale perché Zorzi è, insieme a Morandi e agli altri protagonisti della Scuola italiana d'ingegneria (Iori e Poretti, 2016), uno dei massimi esperti nell'uso del calcestruzzo armato precompresso, immaginato da Galardi come il principale materiale da costruzione. Ed è proprio nel precompresso che risiede la via per la leggerezza del Palazzo Olivetti di Firenze, è la tecnologia che «permette l'eliminazione di tutto quello che è superfluo […] verso la riduzione del peso materico e figurativo a nulla più del necessario» (Villa, 1995). La leggerezza strutturale fu in definitiva per Zorzi il risultato della competenza ingegneristica e ne fu convinto a tal punto da rimettere in discussione alcune delle più celebrate opere di Pier Luigi Nervi, che considerava «tutt'altro che audaci, in quanto impiegano quattro volte di più materiali del necessario e che se veramente calcolate da un punto di vista tecnico avrebbero potuto avere forme del tutto diverse, se solo si fossero maggiormente sfruttate le potenzialità della tecnologia del ventesimo secolo. […] Il resto è in fondo dilettantismo sentimentale o pigrizia della mente» (Zorzi R., 1995).

Una filiale per una città salotto

L'edificio sorge in una zona confinante con il centro storico, in Via Santa Caterina d'Alessandria, area cittadina particolarmente complessa, al limite della città ottocentesca. Nonostante ciò, «Galardi non si è lasciato spaventare dall'ambiente fiorentino, evitando assonanze formali con il contesto» (Koenig, 1973), ma facendosi interprete intelligente del suo tempo e protagonista nell'innovazione. Il palazzo può essere suddiviso in due zone funzionalmente distinte, ma tra loro collegate: la parte entroterra, destinata a garage e agli impianti tecnici, e la parte fuori terra destinata agli uffici e alle aree espositive. All'impianto funzionale corrisponde una chiara distinzione dei principi strutturali e costruttivi: le due parti sono rese indipendenti grazie alla presenza di un giunto, «per evitare qualsiasi tipo di lesioni in caso di possibili cedi-

Fig. 3 – Firenze: Palazzo Olivetti, vista interna dello showroom con spazio continuo al piano terreno (fotografia di Pino Abbrescia, © Associazione Archivio Storico Olivetti / Fondo Lodovichi Galeazzi).

menti differenziali tra il terreno portante il garage, meno caricato, e quello portante la porzione fuori terra, invece più caricato»[6].

La necessità di poter disporre di un sottosuolo senza vincoli strutturali e l'esigenza di avere uffici totalmente liberi e sempre trasformabili, un *plateau libre* neutro, giustificano la scelta dell'elegante struttura appesa. I quattro livelli dell'edificio sembrano così fluttuare al di sopra del piano terreno, completamente trasparente e privo di qualsiasi pilastro, come mostrato in Figura 3. Questo spazio, vero biglietto da visita della filiale toscana, è esclusivamente vetrato, «in modo da creare una continuità tra lo spazio esterno, interno e il cortile retrostante»[3]. Ad accentuare questa percezione «gran parte della vetrata su strada può scomparire rientrando nel pavimento e le vetrate verso il terrazzo interno, a bilico verticale, permettono una continuità assai utile durante la visita di folti gruppi di persone» (s.a., 1972a). Leggerissima, per non impattare negativamente sulla struttura, è anche la facciata, messa a punto dai serramentisti della Malugani di Cinisello Balsamo, riferimento nel campo delle facciate leggere. Si tratta di un sottile *curtain wall* composto da pannelli vetrati con apertura rotante a 360 gradi nella parte superiore e a vasistas in quella inferiore. Il tutto è arretrato di 1,10 m dal filo esterno della struttura, per ridurre gli apporti solari estivi.

Lo schema strutturale del palazzo ricorda da vicino quello utilizzato nella costruzione dei ponti strallati. Esso si basa su un sistema trilitico in cui due corpi scala laterali sostengono la piastra di copertura, alla quale sono appesi i piani mediante tiranti in calcestruzzo armato precompresso (Galardi, 2001).

Come nel suo altro celebre edificio olivettiano, la sede Marxer di Loranzè[7], anche a Firenze Galardi prevede una struttura completamente faccia a vista, allontanandosi però «dalle volute citazioni corbusiane» (Koenig, 1973) e favorendo qui l’uso di un cemento bianco con inerti ricavati dalla frantumazione di marmo di Zandobbio. Né rivestimento né pitturazioni sono previsti in alcun punto. L’architetto ricorda inoltre come la prima intuizione fu quella di utilizzare il marmo bianco di Carrara, presto scartato per una minore resistenza alla compressione[3].

La portata innovativa di questo edificio, oltre che a livello costruttivo, passa anche attraverso la sua sistemazione interna, infatti «Galardi e la Olivetti sono stati così inteligenti da non intasare i piani liberi sfruttando al millimetro gli spazi, ma da lasciarli alla fantasia di [Ettore] Sottsass» (Koenig, 1973). Insieme a lui i membri della Divisione Synthesis[8] si ispirarono ai principi dei *landscape offices*, dimostrando come sia possibile concepire un ambiente di lavoro elegante, basato su arredi prodotti in serie.

Ci trovavamo su un lotto complesso

Fin dai primi momenti la vicinanza del centro storico, con la conseguente difficoltà di parcheggio in zona, rappresentò un serio problema per Galardi. A ciò si sommavano anche la ristrettezza del terreno disponibile e i limiti di cubatura imposti a livello normativo, che non consentivano di creare rampe di accesso opportunamente disimpegnate[9]. La scelta dell’architetto fu allora quella di optare per la costruzione di uno tra i primi autosilo automatici italiani, adottando un impianto svizzero del tipo *Silopark* dal peso complessivo di 28 tonnellate[9]. In una profondità di tre piani interrati, 56 autovetture venivano trasportate automaticamente, con conduttore a bordo e in un solo minuto di tempo, dall’ingresso del parcheggio al rispettivo posto auto, grazie a un montavetture con carrello trasbordatore a doppio movimento di elevazione e traslazione. Tutta la struttura è realizzata in calcestruzzo armato, dosato a 350 kg/m^3 di cemento 425 con acciaio nervato ad alto limite elastico[6].

Concepito il garage, le operazioni di scavo rappresentarono una ulteriore difficoltà da affrontare. L’esiguità dell’area a disposizione portò l’impresa, la Cooperativa Muratori e Cementisti di Ravenna, sotto la direzione dell’ingegner Mazzesi, a limitare al minimo indispensabile i movimenti di terra e, al contempo, a ricavare dove possibile delle zone per lo stoccaggio dei materiali. Per questo motivo, lungo tutto il perimetro del lotto e praticamente a ridosso degli edifici esistenti, si previde la costruzione di un diaframma continuo, per una profondità di 7,50 m sotto il piano stradale. All’interno di questo perimetro una seconda paratia in cemento, con tiranti di ancoraggio al terreno, si spinse fino a 14,50 m di profondità, come testimoniato in Figura 4. Si venne così a delimitare un’area di circa 750 m^2 entro la quale sono sistemati l’autosilo, i locali di servizio e le fondazioni delle due torri che sostengono la struttura fuori terra (s.a., 1972b).

Fig. 4 – Firenze: Palazzo Olivetti, operazioni di scavo sul sito di cantiere. Si osserva la realizzazione delle due paratie a -7.50 m e -14.50 m di profondità (© Archivio privato Alberto Galardi).

Un enorme portale trilitico

L'adozione di una struttura appesa richiede indubbiamente uno sforzo sotto molteplici aspetti: architettonico, ingegneristico, tecnologico e non ultimo di cantiere. «Vale la pena di realizzare un tale marchingegno?» Si chiese Giovanni Klaus Koenig, che all'edificio di Firenze dedicò un lungo ed elogiativo articolo sulla rivista di Bruno Zevi e che, valutando il beneficio spaziale che se ne ottenne, la libertà compositiva e l'impatto iconico dell'opera, rispose alla propria domanda «sono propenso a pensare che il gioco valga – eccome – la candela» (Koenig, 1973).

Cominciando dai primi elementi caricati, gli impalcati sospesi tipo, in numero di quattro, sono costituiti da una serie di solette nervate in cemento armato precompresso, con sezione a *p-greca* e poggianti alle estremità, per interposti cuscinetti in neoprene, sulle selle dei tiranti collegati alla copertura[6]. Ogni elemento è prefabbricato e si ripete con modulo costante per l'intera lunghezza del fronte principale con un interasse di 2,235 m. Per facilitare la realizzazione l'ultima porzione di ciascuno di essi, per una lunghezza di circa 1 m, non è prefabbricata, ma gettata direttamente in opera, a garantire un più facile e preciso ancoraggio dei tiranti. Lo spessore della soletta è di 7 cm e l'altezza delle nervature di 68 cm. La precompressione è stata ap-

plicata mediante sei barre tipo Dywidag post tese, di diametro 26 mm, rintracciabili su ciascuna facciata dietro i dadi di protezione (s.a., 1972b). Come molti architetti suoi contemporanei, anche Galardi, credendo fermamente nella necessità di integrare strutture e impiantistica, previde una serie di fori nelle nervature per permettere il passaggio di tubi e canali.

Fig. 5 – Firenze: palazzo Olivetti, dettaglio di appoggio degli impalcati sulle teste a martello dei tiranti. Da osservare anche i dadi di chiusura dei cavi per la precompressione (© Giulia Marino).

Il sostegno degli impalcati è effettuato per mezzo di 19 coppie di tiranti per ogni lato maggiore dell’edificio, che portano i carichi dei solai verso la copertura. I tiranti più esterni sostengono il primo e il secondo impalcato, mentre quelli interni il terzo e il quarto livello. La disposizione a coppie di tiranti giustifica una distanza variabile tra gli appoggi degli impalcati, che vale 17,57 m quando il tirante è esterno e 17,03 m quando è invece posto all’interno[6]. Anche i tiranti sono elementi prefabbricati e precompressi con barre Dywidag, di lunghezza pari a ciascun interpiano e di sezione quadrata costante pari a 23 cm x 23 cm, a eccezione della testa di appoggio a martello, come visibile in Figura 5 (Galardi, 2001). Al fine di ottenere una forma perfetta e fili rigorosamente rettilinei, sono prefabbricati entro casseri metallici e “cuciti” in opera per mezzo di manicotti filettati e idonea malta di sigillatura (s.a., 1972).

Arrivando in copertura, tutti i carichi sono sostenuti da un’imponente struttura di tipo scatolare. Questa «piattabanda alveolare» (Caporicci, 1972), grossa fascia marcapiano, sovrasta l’intero edificio con dimensioni di 17.90 x 40.60 m e altezza di circa 2 metri. Essa è «costituita da due solette, inferiore e superiore, collegate da due ordini di nervature ambedue in calcestruzzo armato precompresso» (s.a., 1972b). L’intera copertura poggia, per mezzo di cuscinetti in neoprene, sulle torri di servizio, rimanendo quindi slegata dai sostegni verticali. Per via della ripresa di tutti i carichi, la piattabanda risulta sensibilmente stressata e soprattutto a rischio di eccessive deformazioni e sollecitazioni in campata. Abilmente Zorzi, per ovviare al problema, previde di «imporre una deformazione contraria, così da compensare i carichi accidentali. Questa è realizzata per mezzo di barre Dywidag verticali, poste all’estremità della struttura»[6]. L’ordine secondario di nervature è composto da 19 travi perpendi-

Fig. 6 – Firenze: Palazzo Olivetti, realizzazione dell'enorme portale trilitico (© Archivio privato Alberto Galardi).

colari all'asse longitudinale dell'edificio, ciascuna delle quali porta alle sue estremità una coppia di tiranti. Dall'altro lato quattro nervature principali, parallele all'asse maggiore del palazzo portano le travi secondarie e poggiano sui corpi scala, con una luce libera di 27,32 m.

Tutti i carichi sono infine trasmessi ai due corpi laterali, in Figura 6, che Galardi disegnò come grosse «torri scatolari» (Caporicci, 1972). Esse hanno un ingombro esterno di 9,15 x 6,70 m e i loro setti pieni in calcestruzzo fungono al contempo da irrigidimento e da delimitazione dei locali di servizio e dei corpi scale a tutta altezza. Qui, la ristrettezza dell'area di cantiere e la profondità della quota di fondazione misero nuovamente a dura prova i progettisti, che ne risolsero la realizzazione «tramite l'impiego di casseri rampanti e setti paratia, come normalmente usati per la costruzione delle metropolitane»[9]. Poggiando su fondazioni poste a circa 10 m al di sotto del piano stradale, le torri scaricano finalmente a terra tutti i pesi.

Un progetto concepito come un fatto integrale

Il palazzo fu accolto positivamente dalla città di Firenze[3] e da subito considerato quale un «oggetto tecnologicamente perfetto» (Koenig, 1973). D'altronde «alla Olivetti l'innovazione era una cosa sempre ben accetta»[3]. Esso è il frutto di un'accurata

espressione architettonica, resa possibile da una struttura unica nel suo genere. Lo stesso schema strutturale «è un'ingegnosa macchina che si impone come simbolica di avanguardia tecnologica e di progresso produttivo» (Caporicci, 1972). Come avveniva a Ivrea per il montaggio delle macchine da scrivere, allo stesso modo a Firenze l'«ingegnosa macchina […] mostra un continuo ricorso ai temi e ai materiali della tecnologia industriale, propone la disciplinata impersonalità di una composizione dedotta dal montaggio di elementi seriali e ripetuti» (Caporicci, 1972).

La spazialità unica tanto cara a Galardi, già predicata da Le Corbusier (Koenig, 1973) e intransigentemente teorizzata da Mies van der Rohe (Caporicci, 1972), trova qui completa applicazione grazie alla collaborazione con Silvano Zorzi, tra le più alte testimonianze del dialogo continuo e fruttuoso tra i progettisti del secondo Novecento. Anche l'ingegnere milanese infatti comprendeva le potenzialità di un ambiente libero, «disponibile per svariati usi interni o cambiamenti d'uso; con all'interno qualsiasi tipo di tramezzature purché facilmente spostabili o sostituibili» (Zorzi S., 1995). Solo così, attraverso raffinati calcoli strutturali, condotti pionieristicamente «con l'ausilio dell'elaboratore elettronico Olivetti Programma 101»[10], fu possibile concretizzare l'intuizione spaziale di Galardi, che si configura come il risultato di quella spasmodica riduzione delle strutture al minimo necessario, che consentiva secondo Zorzi la messa in opera di «manufatti di grande eleganza formale, leggerezza, elasticità ed essenzialità di elementi, semplificazione di forme» (Zorzi R., 1995).

Tutto questo può avvenire solo «nel raro caso in cui il progetto sia concepito come un fatto integrale, che coinvolga funzione, estetica, struttura, impianti in un unico processo logico» (Zorzi S., 1995). Ecco allora che a Firenze, laddove si saldarono ingegneria e architettura, struttura e spazio, essenza e ritmo, ci si trova di fronte una funzionalità diretta, in cui si ritrova nuovamente «intatta quella matrice razionalista, che a forza di cacar dubbi credevamo di aver perduta. Ed invece era ancora lì, disponibile per ogni uomo di buona volontà» (Koenig, 1973).

Bibliografia

Caporicci G. 1971-72. La Olivetti a Firenze. Moebius, 6, 80-89.

Galardi A. 2001. *Alberto Galardi Architetto*. Buenos Aires: Fundación Gordon.

Iori T., Poretti S. 2016. La scuola italiana di ingegneria. Rassegna di architettura e urbanistica. LI(148).

Kiesler F. 1925. Manifesto of Tensionism. De Stijl, Serie XII, 10/11, 146.

König G. K. 1973. La nuova filiale Olivetti a Firenze, architetto Alberto Galardi. L'architettura: Cronache e Storia, XVIII(9), 576-583.

Minke G. 1973. Wohnen in zugbeanspruchten Konstruktionen. DBZ Detail, 4, 673-681.

Oliveri G.M. 1968. *Prefabbricazione o metaprogetto edilizio*. Milano: Etas Kompass.

Sassone M. 2010. L'architettura sospesa fra tecnica e utopia. In: *Il Palazzo degli Affari di Carlo Mollino. Architettura d'autore nella storia della Camera di commercio di Torino* (a cura di E. Tamagno). 113-125. Torino: Adarte.

Villa A. 1995. Di opera in opera. In: *Silvano Zorzi ingegnere* (a cura di A. Villa). 192-196. Milano: Electa.
Zorzi R. 1995. Due o tre cose su Silvano Zorzi. In: *Silvano Zorzi ingegnere* (a cura di A. Villa). 7-11. Milano: Electa.
Zorzi S. 1995. Habitat Duemila. In: *Silvano Zorzi ingegnere* (a cura di A. Villa). 170-173. Milano: Electa.
s.a. 1972a. Nel centro di Firenze il nuovo palazzo Olivetti. Notizie Olivetti, 3.
s.a. 1972b. L'edificio della nuova filiale Olivetti a Firenze. L'Industria Italiana del Cemento, 6, 389-411.
s.a. 1973. A Firenze: una filiale, un edificio, un negozio. Notizie Olivetti, 1-3.

Note

1. A tal proposito Frederick Kiesler nel suo *Manifesto of Tensionism* dichiarava «cemeteries have more air for the skeletons of their dead than our cities for the lungs of their living. […] We want: 1. Transformation of the surrounding area of space into cities. 2. Liberation from the ground, abolition of the static axis. 3. No walls, no foundations 4. A system of span (tension) in free space» (Kiesler, 1925).
2. Così nel n. 309 di Domus nel 1955 veniva descritto il progetto: «Sorgerà sulla costa italiana il primo grattacielo in cemento armato precompresso con solai completamente a sbalzo (da m 5 a m 6); destinato a uffici, pianta a spirale con nucleo centrale degli ascensori e piani con altezze di m 3,50 e di m 5,25. Il grattacielo permette numerose possibilità di variazione nel taglio degli uffici. La superficie esterna completamente in cristallo scopre in trasparenza la struttura interna e consente alla mole dell'edificio una eccezionale leggerezza».
3. Alberto Galardi, intervista di Giuseppe Galbiati, rilasciata a Milano in data 1 giugno 2021.
4. Galardi ricorda come questa prima ipotesi progettuale, datata 1968, venne scartata in quanto la grossa trave reticolare di facciata occultava fortemente la vista dalle finestre. Anche la Commissione Edilizia di Firenze espresse a tal proposito parere contrario, non ritenendo accettabile «*la sovrapposizione decorativa della struttura delle facciate, che viene a proporsi su un contesto architettonico già delineato e già chiarito*» (risposta del Comune di Firenze alla richiesta di licenza di costruzione del 6 giugno 1968, Archivio Comunale Storico di Firenze). Parimenti si espresse il soprintendente Guido Morozzi, che approvò il progetto di Galardi «*a condizione che prima di iniziare la realizzazione vengano presi accordi con questo Ufficio al fine di approfondire e rendere più adeguata all'ambiente la soluzione della facciata su via S. Caterina d'Alessandria*» (Soprintendenza ai monumenti delle provincie di Firenze e Pistoia, 25 luglio 1968, Archivio Comunale Storico di Firenze).
5. Nella sua intervista Alberto Galardi ricorda come inizialmente egli chiese alla Olivetti di essere affiancato nella progettazione strutturale dall'ingegnere Antonio Migliasso, con il quale aveva già realizzato il Palazzo degli Affari di Torino a struttura appesa. Nonostante ciò la scelta finale dell'azienda ricadde sul coinvolgimento di Silvano Zorzi.
6. Silvano Zorzi, Progetto strutturale del Palazzo Olivetti Firenze, relazione del 16 giugno 1969 (Associazione Archivio Storico Olivetti, Ivrea).
7. Si tratta dell'edificio per i laboratori farmaceutici Marxer di Loranzè, progettato da Alberto Galardi insieme all'ingegnere Antonio Migliasso nel 1962 su commessa della Olivetti.

8. La Divisione Synthesis raggruppò una serie designers interni alla Olivetti dediti alla progettazione di un innovativo e completo sistema di arredi, basato sulla produzione in serie e sull’uso estensivo di materie plastiche colorate. Voluta da Roberto Olivetti nel 1968 e affidata alla direzione di Ettore Sottsass, la Divisione rimase attiva con sede a Massa fino al 1998, producendo migliaia di armadi, classificatori, sedie e scrivanie. Un ruolo di primo piano nell’applicazione del Sistema Synthesis a Firenze fu ricoperto dall’architetto Bruno Scagliola.
9. Relazione conclusiva di progetto, Palazzo Uffici di Firenze del 15 marzo 1977, (Associazione Archivio Storico Olivetti, Ivrea).
10. Nella relazione di progetto strutturale Silvano Zorzi tiene a precisare come i calcoli per l’edificio di Firenze siano stati svolti con l’ausilio della Olivetti Programma 101. Nello stesso anno la medesima macchina, il primo *personal computer* della storia, venne richiesta dalla NASA per il calcolo del volo spaziale e delle orbite d’allunaggio nella missione Apollo 11.

Pasquale Tunzi

Giustino Cantamaglia, ingegnere della ricostruzione post-bellica in Abruzzo

Giustino Cantamaglia, Engineer of post-war reconstruction in Abruzzo

Sommario
Nella catalogazione realizzata dalla Soprintendenza Archivistica e Bibliografica dell'Abruzzo e del Molise, iniziata nel 2000 sugli Archivi di Architettura in Abruzzo, compare per la prima volta un regesto completo dell'attività professionale svolta dall'Ing. Giustino Cantamaglia dal 1948 al 1997. Dalla sua ampia e diversificata produzione abbiamo scelto di occuparci del disegno di progetto, in particolare di quello relativo alla fase iniziale della sua attività professionale. In quel periodo egli si impegnò nell'analizzare e risolvere una serie di problemi relativi alle infrastrutture, campo piuttosto importante per gli sviluppi futuri delle città piccole e grandi dell'Abruzzo. Ma presto si dedicò alla realizzazione delle abitazioni, di opifici e di edifici pubblici. Il suo pensiero è racchiuso nei disegni, espressione di conoscenze e valori, e nella capacità comunicativa della rappresentazione da cui emerge l'intuizione di nuove soluzioni e il potere della persuasione. Qui guarderemo due progetti di ponti extraurbani che parteciparono ad appalti concorso.

Abstract
In the cataloging carried out by the Archival and Bibliographic Superintendence of Abruzzo and Molise, begun in 2000 on the Archives of Architecture in Abruzzo, a complete register of the professional activity carried out by Eng. Giustino Cantamaglia from 1948 to 1997. From his wide and diversified production we have chosen to deal with the project design, in particular that relating to the initial phase of his professional activity. At that time he undertook to analyze and solve a series of problems inherent to infrastructures, a rather important field for the future development of the small and large cities of Abruzzo. But soon he devoted himself to the construction of homes, industries and public buildings. His thought is contained in the drawings, an expression of knowledge and values, and in the communicative capacity of the representation from which the intuition of new solutions and the power of persuasion emerge. Here we will look at two suburban bridge projects that participated in competitions.

Introduzione

L'attività professionale dell'Ing. Giustino Cantamaglia, documentata presso l'Archivio di Stato di Pescara da un corposo patrimonio di carte e disegni, abbraccia quasi cinquant'anni, dal 1948 fino al 1997[1]. Fu svolta in diversi campi: dall'abitazione condominiale e in villa, ai piani urbanistici, dalle infrastrutture agli opifici, dalle strutture sportive agli edifici pubblici.

Nel settembre 2017, nelle Giornate Europee del Patrimonio, l'Archivio di Stato di Pescara ha esposto una parte dei progetti, con l'intento di far conoscere questo personaggio, uno dei protagonisti dello sviluppo urbano di Pescara, attraverso grafici e fotografie. Per l'occasione è stata eseguita una selezione critica dei materiali, considerando un afflusso di pubblico eterogeneo e privo di conoscenze tecniche. All'esposizione si è affiancato l'8 ottobre un *tour* in città per vedere direttamente in loco l'aspetto di alcune di quelle opere disegnate, e commentare il loro valore dopo molti decenni dalla realizzazione[2].

L'associare il disegno-documento alla fisicità del costruito di alcune opere di Cantamaglia ha mostrato qual è il possibile legame che intercorre tra il pensiero progettuale e la realtà dei luoghi attuali. I documenti consentono di rinvenire, al di là del tempo, una parte del fare progettuale, dall'idea alla prescrizione grafica, mentre la realtà nel celare il processo costruttivo, articolato e complesso, rivela la sua resistenza negli anni o l'adattamento. E poi ci sono i caratteri formali e quelli materici a incidere sullo sguardo, laddove la scelta estetica sul piano pratico e razionale rimanda alla cultura di un determinato momento.

I documenti d'archivio sono la traccia tangibile di un'impegnativa attività programmatica in cui si legano figure professionali e maestranze diverse che il progettista coordinerà nella realizzazione dell'opera. Ciò non fa che validare le decisioni assunte anche in merito alla committenza segnando, a un tempo, il cambiamento di un luogo. L'ingegnere offre il proprio contributo al miglioramento della vita del singolo e della società, soprattutto nei casi in cui si manifestino grandi necessità funzionali, distributive e pratiche. È quanto si rileva dall'archivio dei disegni di Cantamaglia, attestazione di un considerevole impegno negli anni della ricostruzione post bellica di Pescara e dell'Abruzzo. Il suo pensiero è racchiuso nei tratti di penna e di matita su carta, espressione di conoscenze e valori, sostanziati dai calcoli. I grafici mostrano la capacità comunicativa della rappresentazione da cui emerge, contemporaneamente, l'intuizione di nuove soluzioni e l'induzione alla convinzione di opportune scelte.

Per l'ingegnere il disegno è regola, ordine, legame con la tecnologia, rapporto con l'impresa, il mezzo col quale andare oltre l'estetica del soggetto da raffigurare per raggiungere più intimamente gli elementi essenziali che riguardano la consistenza. Per Cantamaglia, Ingegnere di una nuova era, il senso della realtà è strettamente connesso a quello della possibilità fattuale, all'immaginare nella sua concretezza

tutto ciò che avrebbe potuto soddisfare il bene comune, sia in tema di viadotti e acquedotti, opere primarie che incidono profondamente sul territorio, sia in tema di edifici pubblici e privati.

In questo contributo l'attenzione sarà dedicata al progetto di due ponti redatti nel 1951, sulla base di appalti concorso banditi dal Ministero dei Lavori Pubblici.

Cenni biografici

Nato a Francavilla al Mare, in provincia di Chieti, il 30 luglio 1911, Giustino Filiberto Raffaello Cantamaglia compì gli studi superiori a Torino presso la Regia Accademia di Artiglieria e Genio. Col grado di tenente fu inviato a Udine per progettare e realizzare linee ferroviarie, ponti e teleferiche. Tornato a Torino negli anni Quaranta frequentò la Scuola di Guerra e nel 1947 si laureò in Ingegneria Civile a Genova (Cantamaglia, 2002). Quello stesso anno intraprese l'attività professionale a Pescara, assolvendo l'incarico comunale di riorganizzare l'Ufficio Strade. L'anno seguente, concluso tale compito, si dedicò pienamente alla progettazione affrontando nei diversi luoghi dell'Abruzzo vari temi secondo le necessità del tempo (Appignani, 2018).

Il suo primo progetto fu il ponte ferroviario tra le stazioni di Francavilla al Mare e Tollo, al quale seguirono un paio di abitazioni, un pastificio e un chiosco per rifornimento carburante. Da qui prese il via, nel 1948, un'ampia e diversificata attività progettuale che vide nel 1951 la partecipazione a concorsi pubblici per la costruzione di ponti extraurbani, il municipio di Scafa e la nuova sede della Camera di Commercio a Pescara in collaborazione con gli architetti Michele Campanella e Giuseppe Caleffi, e successivamente con l'architetto Antonio Cataldi Madonna per la realizzazione dell'Auditorium De Cecco. Non mancarono negli anni Cinquanta numerosi villini e condomìni, lottizzazioni e infrastrutture, come elettrodotti e reti fognarie, e il progetto dell'Acquedotto Orfento-La Morgia per la Comunità Montana della Maiella e del Morrone iniziato nel 1953. Inoltre in quegli stessi anni la partecipazione al progetto dell'arch. Eugenio Montuori per il Circolo cittadino sulla riviera di Pescara, oggi Museo Vittoria Colonna, portò nel 1956 alla definizione di un quartiere per lavoratori finanziato dall'Istituto Autonomo Case Popolari, al margine sud-ovest della città.

Degli anni Sessanta sono i progetti di edifici scolastici, stabilimenti e molte abitazioni. Nell'elenco cronologico delle opere rinveniamo ancora elettrodotti e reti fognarie, strade extraurbane e sottopassi.

Di rilievo negli anni Settanta ricordiamo l'ospedale a Penne e la sede della Cassa di Risparmio di Pescara e Loreto Aprutino, mentre nei due decenni seguenti l'ingegnere si dedicò a una serie di impegnative opere.

Giustino Cantamaglia concluse la sua proficua attività nel 1997 e il 1° luglio dell'anno successivo, all'età di 86 anni, è deceduto.

La ricostruzione nazionale

La realizzazione dei ponti in Italia è sintomatica e a un tempo paradigmatica del periodo della ricostruzione postbellica. Com'è noto, i ponti consentono di ricollegare i percorsi interrotti, ferroviari e carrabili, e di avviare una nuova crescita economica e sociale. Fu quindi una priorità da cui ripartiva il nuovo Stato.

Con i bombardamenti del 1944 furono distrutti in Italia poco meno di 10.000 ponti, di cui 811 ferroviari, un quarto del totale nazionale, 2968 ponti sulle principali strade statali, 5269 ponti minori, nonché un migliaio circa nelle città di Roma, Firenze, Pisa, Verona, Bologna, Pescara e tante altre. Nel periodo della ricostruzione la realizzazione dei tanti ponti, per risarcire le lacerazioni causate dai pesanti bombardamenti, è passata quasi inosservata, perché ritenuta necessaria e pertanto ordinaria[3], nonostante fosse l'inizio della rinascita della Nazione per la quale si avviò l'opera di rinnovamento[4]. In ogni caso, come si può immaginare, fu un'attività molto impegnativa messa in campo dal Ministero dei Lavori Pubblici, dall'ANAS e dalle Ferrovie dello Stato e svolta da tutti gli ingegneri disponibili, spesso giovanissimi, appena laureati. Dopo una prima ricostruzione di emergenza essi affrontarono con le imprese una fase di servizio che, seppur temporanea, permise una certa stabilità, benché fu limitata ai collegamenti principali, in particolare ferroviari, risolti in molti casi con i moduli reticolari Bailey. Seguì dal 1950 la costruzione definitiva sostenuta dagli aiuti economici statunitensi del Piano Marshall[5], elargiti per rinfrancare le diverse aziende del settore edilizio.

Le imprese furono quindi il mezzo per raggiungere il fine. Ma se guardassimo la documentazione relativa alle imprese impegnate nell'attività di produzione e ricostruzione, protagoniste dell'importante fase in cui i bandi dei concorsi nazionali le coinvolsero direttamente in modo fattivo, notiamo che è limitata. La motivazione è dovuta alla presenza di pochissime e poco esperte ditte, delle quali molte a conduzione familiare. La scarsa competenza specifica associata a una forza lavoro esigua non giovò alla propria crescita e irrimediabilmente scomparvero verso la metà degli anni Sessanta con la crisi, disperdendo gli archivi. Solo in alcuni casi gli ingegneri costituirono o coordinarono imprese che, tuttavia, spesso cambiarono ragione sociale o si fusero con altre, perdendo buona parte della documentazione della loro attività. Ad ogni modo, nonostante alcune di esse non fossero del tutto all'altezza della situazione, si trovarono, insieme ad altre più professionalmente capaci, ad essere protagoniste di questa importante fase in cui i bandi dei concorsi nazionali le coinvolsero direttamente in modo fattivo.

Tra i primi bandi pubblicati già nel 1945, si ricordano quelli più discussi negli esiti sulla ricostruzione dei ponti urbani di Firenze[6], ai quali parteciparono imprese come Cosimo Pancani di Signa (FI)[7], la S.P.E.R. di Roma[8], la Bertolé di Torino[9] e molte altre[10].

Le sperimentazioni italiane sul calcestruzzo armato precompresso condotte nel periodo tra le due guerre, furono riversate nella costruzione e ricostruzione dei ponti,

procurando grande risparmio di tempo e maggiore economicità, rispetto alle tradizionali tecniche di realizzazione in pietra. La politica italiana, tra le prime nel mondo, era interessata alla prefabbricazione pesante con la quale sostenne pienamente la produzione di strutture portanti.

La tecnica del calcestruzzo armato applicata nella riedificazione dei ponti storici accese molte discussioni sul piano estetico, in parte placate adottando il rivestimento lapideo quale compromesso in una fattibilità che doveva tener conto della velocità di costruzione e di una spesa contenuta[11]. I ponti in calcestruzzo armato precompresso "nudi", senza involucro accessorio, furono realizzati prevalentemente in zone naturalistiche, poco visibili. Tra i primi del dopoguerra, a travatura continua, si annovera quello a Canneto sull'Elsa, vicino Empoli, di 40 m di luce, progettato nel 1949 da Morandi e realizzato dall'impresa Fr.lli Giovannetti, in quello stesso anno il ponte sul Samoggia a S. Giovanni a Persiceto, di 24 m di luce, di Giuseppe Rinaldi, e il viadotto sul Piave a Vallesella di Domegge progettato da Carlo Pradella sempre nel 1949.

Altri interessanti progetti di ponti stradali, di tutt'altro sistema costruttivo e aspetto, furono contemporaneamente studiati da Arrigo Carè, Giorgio Giannelli e Giulio Ceradini[12]. Nel 1947 realizzarono vicino Terni un ponte ad arco sul Nera, riproposto l'anno seguente a Massa Carrara sul Frigido. Il modello di riferimento proviene dall'ingegnere svizzero Robert Maillart (Billington, 1979), questi aveva sviluppato importanti sperimentazioni sul calcestruzzo armato precompresso già al principio del secolo, ed era giunto a definire il ponte ad arco sottile con impalcato irrigidente. Il sistema fu presto adottato e impiegato in Italia13: a Genazzano vicino Roma, il Genio Civile[14] ne realizzò uno alto 16 m e lungo poco meno di 30, e altri ve ne sono sparsi un po' ovunque.

La situazione in Abruzzo

Negli anni 1943-44 l'Abruzzo fu teatro di scontri terribili essendo solcata dalla linea Gustav, spartiacque tra le truppe tedesche a nord e le alleate a sud. Dal 28 agosto del 1943 sino al giugno 1944 numerosi bombardamenti, dal cielo e via terra, furono compiuti alle linee ferroviarie e ai principali percorsi carrabili (Artese, 1993), nonché alle città piccole e grandi della regione che sino a quel momento avevano vissuto il conflitto marginalmente. La ferrovia Sulmona-Roma fu obiettivo dei raid aerei nell'agosto del '43, e il 27 settembre.

«Nell'ottobre e nel novembre 1943 crollarono quasi tutti i ponti a sud del Moro; il 10 ottobre furono distrutti il ponte stradale e quello ferroviario sull'Osento; l'11 ottobre il ponte ferroviario alla foce del Sangro; nella notte tra il 7 e l'8 novembre il magnifico ponte stradale sullo stesso Sangro» (Nativio, 1983: 16). Anche i due ponti sul vallone S. Cristoforo ad Ateleta furono distrutti nel novembre del '43, e stessa sorte subì il ponte stradale sul fiume Aterno a Popoli nel marzo dell'anno seguente (Serafini, 2008). Negli ultimi tre mesi del 1944 non furono risparmiati i ponti sul

fiume Vomano e sul Tordino, tutti quelli sul fiume Sangro, da Fossacesia a Lanciano e Casoli, i ponti ferroviari della Sangritana e l'intera linea San Vito-Castel di Sangro, fatti saltare dai tedeschi per rallentare l'avanzata degli americani.

A questo brevissimo elenco se ne accosta uno ben più lungo sui notevoli danni di guerra che oltre alle province di Chieti e Pescara, in quei difficili dieci mesi, subì il resto della Regione.

Il Ponte sul torrente Avello

Nel 1948 vennero pubblicati i primi bandi di gara per la progettazione di alcuni dei ponti distrutti in Abruzzo. A cinque di essi partecipò l'impresa D'Amico Croce di Pescara coadiuvata dall'ing. Cantamaglia con delle proposte in cemento armato per scavalcare i torrenti Volturno, Moro, Avello, Feltrino e Orta[15].

L'esperienza acquisita a Udine dal nostro ingegnere tornò utile nel maggio 1951 nella redazione dei disegni del ponte sul torrente Avello, e nel dicembre per quelli sull'Orta.

Il vecchio ponte costruito negli anni Venti sul torrente Avello era situato sulla strada comunale di accesso ai comuni di Civitella Messer Raimondo, Fara S. Martino, Palombaro e Casoli. Otto campate di 12 m coprivano l'alveo, ognuna costituita da un gruppo di quattro travi con soletta superiore a sbalzo per i marciapiedi. Le pile e le spalle in calcestruzzo cementizio armato erano crollate a seguito dell'esplosione delle mine poste dai tedeschi alla base, la cui potenza danneggiò anche gli zoccoli.

Per conto dell'impresa D'Amico Croce, Cantamaglia dovette compiere, quindi, un'attenta ispezione della struttura finalizzata a comprendere cosa si potesse recuperare e quanto dovesse, invece, essere rimosso, in quanto fratturato e poco sicuro. Nella relazione sui dissesti accertati, egli aggiunse considerazioni in merito alla staticità delle fondazioni rispetto ai nuovi carichi che si sarebbero imposti al ponte, ossia al nuovo dimensionamento del piano viabile e delle strutture. Compì anche un ulteriore accertamento sulla stratigrafia del suolo, con supposizioni sulla motilità degli inerti nel caso di piena del torrente, tenendo presente condizioni analoghe rinvenute nei ponti sul fiume Moro e sul Feltrino[16].

Il progetto, ultimato da Cantamaglia il 5 maggio 1951, prevedeva anzitutto la demolizione delle parti inconsistenti e poi l'esecuzione del cerchiaggio degli zoccoli con dodici pali periferici di 40 cm di diametro gettati e armati di tipo "Rodio", da spingere sino alla profondità di 6 m, lì dov'era lo strato compatto di argilla. Uno zatterone in calcestruzzo armato avrebbe tenuto insieme la palificazione e inglobato lo zoccolo preesistente, in modo da aumentare la capacità portante della pila e produrre resistenza nei momenti di piena. Il medesimo sistema di rinforzo era previsto anche per le due spalle.

Il collegamento superiore delle pile avveniva con quattro travi contrappesate appoggiate e accostate, in modo da ridurre il numero dei giunti. Tali scelte sono giustificate tecnicamente nella relazione attraverso i numerosi calcoli, gli schemi grafici e

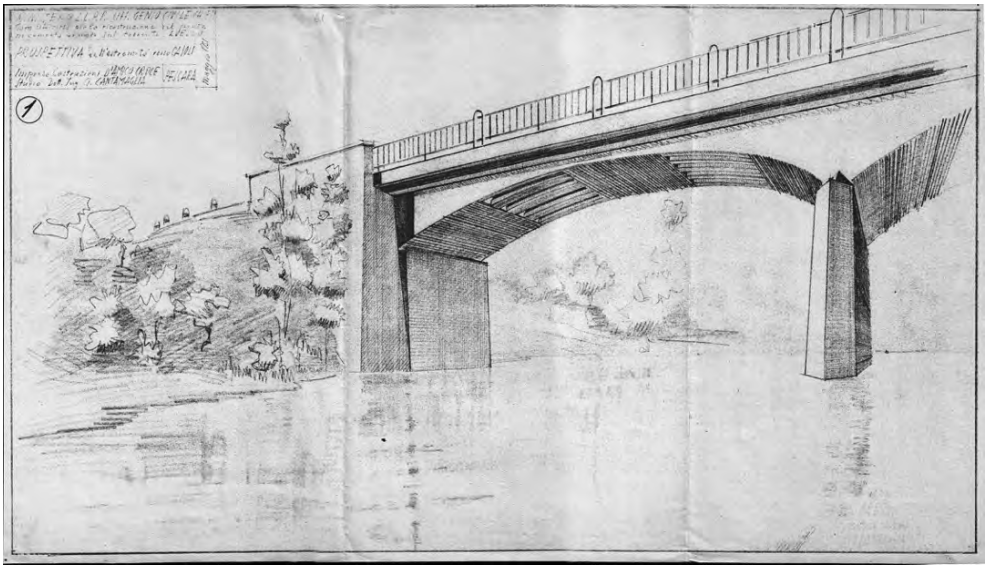


Fig. 1 – Ing. G. Cantamaglia: ponte sull'Avello, prospettiva dell'estremità verso Casoli.

il vaglio di sistemi alternativi come le travi continue e del tipo Gerber. Al progetto sono allegati i diagrammi sulla distribuzione dei carichi, dei momenti e degli sforzi e le tabelle contenenti le determinazioni analitiche. Infine per la fase attuativa Cantamaglia suggerisce di intervenire contemporaneamente in più punti, sia per le demolizioni che per la realizzazione, in modo da soddisfare i tempi brevi previsti dal bando di gara, e per i quali previde la consegna in 150 giorni[17].

La documentazione in archivio, oltre ai numerosi fogli di studio sulle varie porzioni del ponte, contiene tre disegni eliografici: il primo in scala 1:200 dell'intero ponte in pianta e in alzato, con due dettagli grafici, e il secondo in scala 1:50 relativo alle armature delle campate estreme, più un particolare della cerniera in scala 1:12,5. Il terzo disegno è una vista prospettica dell'estremità verso Casoli, in Figura 1, in cui si inquadra dal basso l'aggancio alla parete naturale della prima campata sormontata da ringhiera protettiva. La raffigurazione a matita particolarmente suggestiva, è risolta da mano esperta nella variazione tonale e nell'uso delle ombre che trasmettono un'idea chiara dell'opera progettata. Anche i disegni tecnici nelle Figure 2 e 3 sono stati redatti con rigore e accessibilità.

Come egli stesso ha lasciato scritto, «il progetto D'Amico [è] il migliore al pieno giudizio dato dai tecnici del Genio Civile» e «sarebbe stato certamente scelto qualora si fosse fatto il concorso senza i prezzi». Lo Stato decise per un'opera analoga ma decisamente meno onerosa, lasciando amareggiato il progettista.

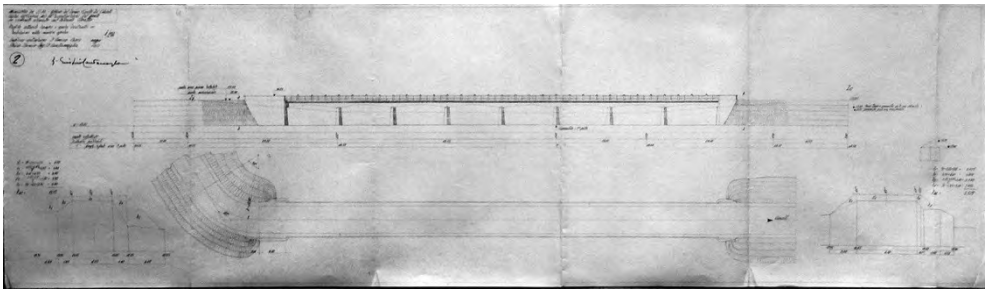


Fig. 2 – Ing. G. Cantamaglia: ponte sull'Avello, pianta e prospetto, scala 1:200.

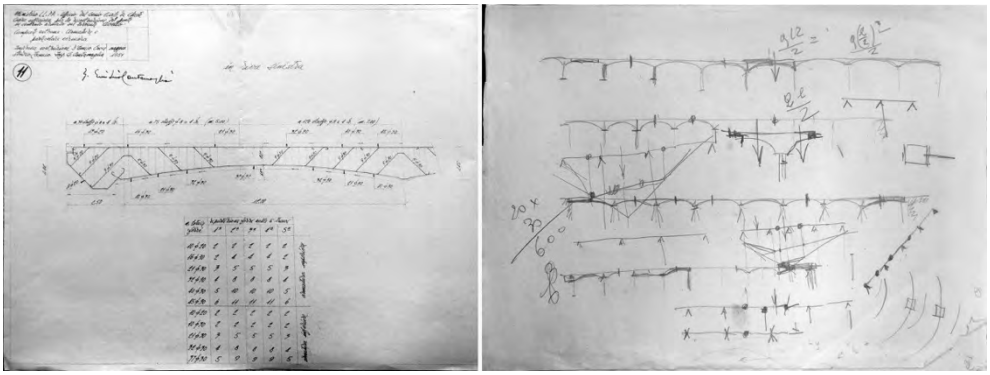


Fig. 3 – Ing. G. Cantamaglia: ponte sull'Avello, armature delle campate estreme, scala 1:50 e tabella delle sezioni dei ferri (a sinistra); schizzi di studio dei carichi ripartiti nei vari segmenti delle campate (a destra).

Il Ponte di Salle

L'"Appalto concorso lavori di costruzione ponte sul fiume Orta e strada collegamento S. Tommaso-Salle", sulla provinciale Scafa-Caramanico innesto alla Comunale Salle-Musellaro-Tocco Casauria, è un altro dei documenti di rilievo. Per la suddetta impresa di costruzioni D'Amico Croce, Cantamaglia stilò nel dicembre 1951 un progetto particolarmente curato e totalmente diverso dal precedente. In questo caso, non si trattava di un ponte da ripristinare, ma di una nuova opera necessaria a intensificare i collegamenti carrabili dell'area nord-est della regione (Di Giangregorio, 2016).

All'uscita settentrionale della cittadina di Salle vi è un profondo impluvio naturale in cui scorre il torrente Orta, e gli abitanti per raggiungere le cittadine di Caramanico Terme, verso sud, e di San Valentino in Abruzzo Citeriore, verso nord, dovevano percorrere sentieri poco sicuri. Si rendeva quindi opportuno costruire un ponte la cui luce era di 106 m per scavalcare una profondità di 104 m.

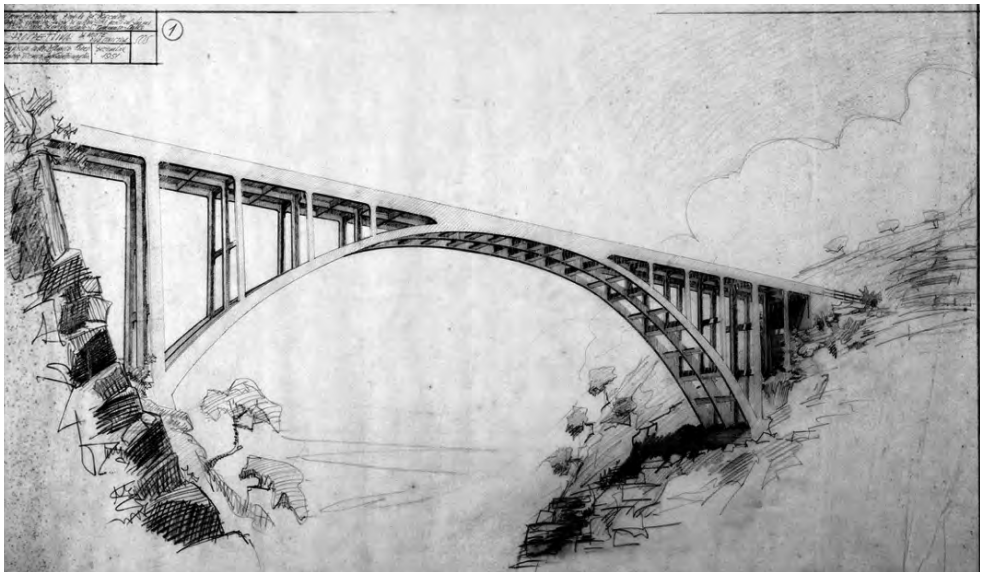


Fig. 4 – Ing. G. Cantamaglia: ponte di Salle prospettiva.

Il progetto di Giustino Cantamaglia prevedeva un sottile arco in cemento armato a tre costole che con leggerezza e sobrietà costruttiva si inseriva nella natura[18]. Era piantato nei due costoni del solco pietroso e legato in chiave al piano viabile, sorretto da sottili piedritti paralleli verticali. L'ispirazione giunse dalle soluzioni progettate dall'ing. svizzero Robert Maillart, di cui si è detto. La scelta di questo sistema fu guidata da questioni economiche e di estetica oltreché dalla condizione del luogo, non trascurando il problema della realizzazione. A questi requisiti si aggiunsero l'economia dei materiali impiegati, conglomerato, ferro e casseforme, e del magistero che avrebbe investito l'uso della centinatura[19].

Nella prospettiva disegnata dal Nostro in Figura 4 sono chiaramente evidenti tre sottili archi legati da traverse e sormontati da tre travi continue legate verticalmente da "portali", ossia montanti formati da tre piedritti a sezione a T per i due esterni, e a croce per quello centrale. Nella tavola tecnica la sottigliezza degli archi espressa dal notevole alleggerimento e da una sufficiente armatura, risponde alle sollecitazioni di sola compressione, mentre la travatura irrigidente è soggetta grosso modo alle medesime sollecitazioni di una trave continua su appoggi elasticamente cedevoli nei due sensi, e ravvicinati. Questa struttura è mostrata nella Figura 5, in cui il progettista presenta il ponte in pianta e alzato, di cui metà in sezione, con le quote, e i tre differenti "portali" che sorreggono le travi[20].

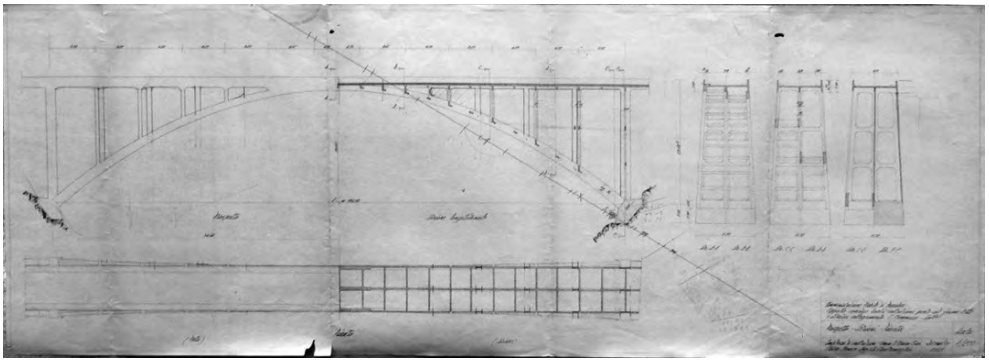


Fig. 5 – Ing. G. Cantamaglia: ponte di Salle, prospetto-sezione e pianta, con i "portali", scala 1:200.

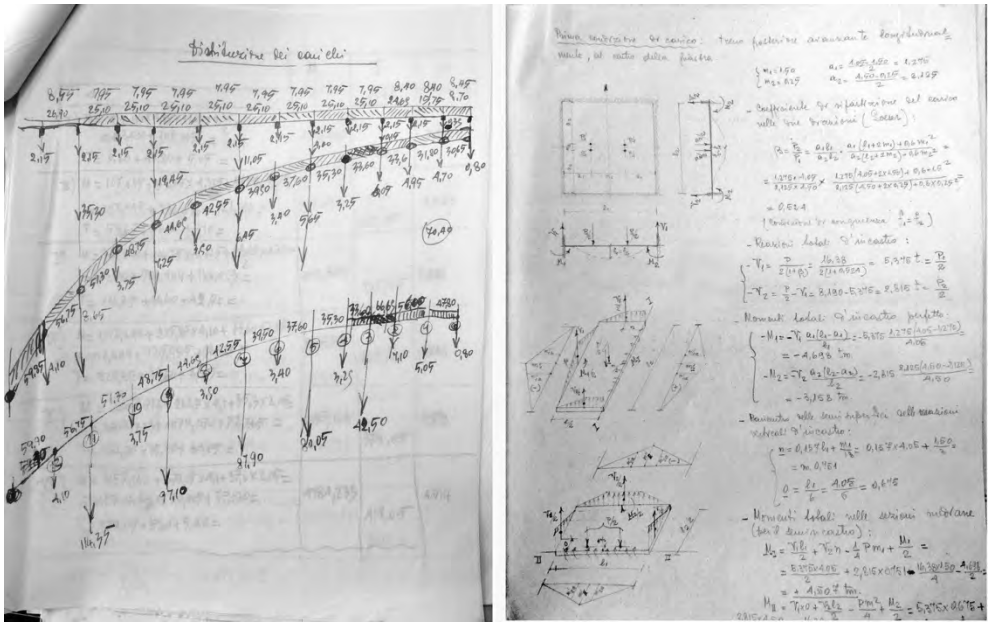


Fig. 6 – Ing. G. Cantamaglia: ponte di Salle, schizzi e calcoli di alcune parti della struttura in calcestruzzo armato.

Tra le numerose carte con calcoli, schizzi, disegni di dettagli in Figura 6, vi è anche un elaborato a penna su lucido, probabilmente in scala 1:100, che raffigura la distribuzione dei carichi su mezzo arco, illustrati da una tabella con le ordinate della funicolare dei carichi fissi.

Conclusioni

La progettazione e la realizzazione di nuovi ponti avviata dalla seconda metà degli anni Quaranta introduce simbolicamente e di fatto l'età dell'ingegneria repubblicana. L'Abruzzo, come molte altre regioni, fu un cantiere attivo aperto anche alle sperimentazioni, ovvero disponibile al rinnovamento e alla modernizzazione. Fu quindi una importante occasione per emanciparsi dal passato, con progetti e costruzioni che diventano l'immagine della rinascita e di un radicale cambiamento.

Cantamaglia contribuì a tale cambiamento nella sua regione, proponendo nuove forme e migliori funzioni in cui si ravvisa un tentativo di svecchiamento del costume. Operò nel rispetto di ogni situazione, con equilibrio e determinazione secondo uno spirito di servizio che ne ha contraddistinto il suo ruolo. Guardò sempre oltre il consueto, consigliando, suggerendo, adottando processi ideativi e fattivi che manifestano una forza personale, per certi versi unica, e tuttavia allineata con quanto si realizzava in Italia e altrove. Il territorio nel quale è intervenuto, caratterizzato talvolta da situazioni aspre e difficili, si è giovato del suo segno, sempre discreto e controllato. La matita sul foglio era la traccia di quel che sarebbe stata la realtà in fieri, perseguita all'inizio della sua attività nel principio della sanabilità e poi del potenziamento del territorio e delle città. I progetti dei ponti di Cantamaglia sono espressione della tecnica avanzata, ossia della scienza delle costruzioni, manifestata attraverso calcoli che graficamente visualizzano l'eleganza della forma. Come disse Maillart «Attraverso il numero, l'uomo ha usato la materia per mezzo della quale, vincendo un ostacolo naturale, è stato in grado di descrivere la sua epoca» (Arnaboldi, 2003) e Cantamaglia ne è in tal senso un esempio da tener presente.

I due progetti di ponti portati qui all'attenzione degli studiosi si pongono a paradigma di un processo che ha visto l'Italia intera riconquistare il perduto, attraverso la perizia dei suoi abili tecnici. Si è trattato di una valida schiera di professionisti che con grande competenza e dedizione al lavoro ha affrontato sfide non facili.

Ringraziamenti

Alla dott.ssa Silvia Iovane, direttrice dell'Archivio di Stato di Pescara, per aver concesso la riproduzione e la pubblicazione dei disegni dell'Ing. Cantamaglia.
Alla famiglia Cantamaglia per la disponibilità nel fornire informazioni specifiche.

Bibliografia

Appignani A.M., Tunzi P. (a cura di). 2018. *Le carte dell'ing. Giustino Cantamaglia conservate nell'Archivio di Stato di Pescara*. Fondazione Pescarabruzzo. Pescara: Vaio editore.
Arnaboldi A. 2003. Connessioni territoriali. L'Arca Plus, 38, 38.
Artese G. 1993. *La guerra in Abruzzo e Molise (1943-1944)*. Lanciano: Carabba.
Billington D.P. 1979. *Robert Maillart's bridges: the art of engineering*. Princenton: University Press.

Cantamaglia F. 2002. *Giustino Cantamaglia. I tecnici che hanno fatto grande Pescara*. Ingegneri Pescara informa, 11, 23-29.
Di Giangregorio M. (a cura di). 2016. *Il ponte di Salle, Provincia di Pescara*. s.l., s.n.
Fauri F. 2010. *Il Piano Marshall e l'Italia*. Bologna: Il Mulino.
Koenig G.K. 1968. *Architettura in Toscana 1931-1968*. Torino: ERI Edizioni RAI.
Nativio G.1983. *La guerra in Abruzzo*. Lanciano: Itinerari.
Renzulli T. 1998. Galli. In: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 51. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana.
Serafini L. 2008. *Danni di guerra e danni di pace.* Villamagna: Tinari.
Toraldo F., Ranalli M.T., Dante R. (a cura di). 2013. *L'Architettura sulla carta. Archivi di Architettura in Abruzzo.* Villamagna: Tinari.
Tramontin A. 2008. *Ponti e viadotti*. Roma: EdilStampa.

Note

1. La famiglia Cantamaglia ha depositato l'intera documentazione e buona parte della biblioteca presso il suddetto Archivio nel 2011. La prima espressione pubblica è stata fornita dalla Soprintendenza Archivistica per l'Abruzzo nel 2013. Si veda F. Toraldo e altri, 2013.
2. All'inaugurazione della mostra è seguito un convegno sulla figura dell'ing. Cantamaglia e la presentazione del catalogo. L'organizzazione dell'intera manifestazione è stata sostenuta dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara, e vi hanno partecipato diverse istituzioni e associazioni culturali.
3. Restano a documento le interessanti riprese filmiche dell'Istituto Luce, in cui si testimonia la ricostruzione avvenuta con il lavoro assiduo e coordinato di migliaia di persone.
4. I primi provvedimenti arrivarono nel dicembre 1944 col secondo governo Bonomi. Bartolomeo Ruini fu Ministro dei Lavori Pubblici, coordinatore delle attività ricostruttive, e presidente del neo costituito Comitato Interministeriale della Ricostruzione, da gennaio a dicembre 1945.
5. In quattro anni furono erogati all'Italia 1204 milioni di dollari destinati a risarcire la quasi totale distruzione di molti paesi e città, e a riavviare l'attività produttiva (Fauri, 2010).
6. La storia dei concorsi e dei progetti è raccontata in "Le vicende dei ponti fiorentini", in (Koenig, 1968).
7. Ricostruì nel 1946 il ponte a Signa progettato dall'ing. Enrico Bianchini.
8. Realizzò tra il 1946 e il '48 il ponte di S. Niccolò a Firenze progettato da Riccardo Morandi, con un arco ribassato di 91 m di luce.
9. Un primo bando comunale pubblicato nel 1946 per la ricostruzione del ponte della Carraia, fu annullato perché la ricostruzione era di competenza dello Stato. Il progetto vincitore del nuovo bando fu dell'arch. veronese Ettore Fagiuoli, mentre la realizzazione fu affidata alla Bertolé che lo concluse nel 1951.
10. Il Fondo Archivistico di Ateneo di Firenze possiede interessanti e numerosi documenti sulla ricostruzione dei ponti in Toscana.
11. Sempre sui ponti di Firenze, l'argomento è trattato negli articoli dei numeri 1 e 2 de "Il Ponte", 1945, rispettivamente di B. Berenson e R. B. Bandinelli. Altre opinioni espresse da G. Dorfles e G. Michelucci sono nella rivista "La Nuova Città", nei numeri 4 e 5 del 1946. Ricordiamo che il rivestimento del calcestruzzo armato fu adottato a Roma nel 1908 per il ponte del Risorgimento sul Tevere. (Tramontin, 2008).

12. Il ponte di Albiano, progettato dal trio, fu realizzato dall'impresa Nino Ferrari nel 1949. La buona esperienza acquisita da Ceradini dal 1943 al 1946 in Svizzera, a seguito del monitoraggio dei ponti a volta sottile con impalcato irrigidente realizzati da Maillart, fu certamente determinante nella progettazione degli anni Cinquanta.
13. Il prof. Adriano Galli nel 1932 ebbe modo di lavorare nel Laboratorio prove del Politecnico di Zurigo, diretto da Mirko Ros, amico e collaboratore di Maillart (Renzulli, 1998). Galli insieme a Vincenzo Franciosi realizzò sul fiume Corace a Gimigliano (CZ) un ponte ad arco completato nel 1955.
14. È opportuno ricordare la sua istituzione ottocentesca e le successive riforme che ne hanno definito la struttura organizzativa. Nel gennaio 1945, per snellire le procedure tecniche, amministrative ed economiche dei lavori pubblici, lo Stato istituì i Provveditorati regionali che assorbirono gli Ispettorati generali compartimentali del Genio Civile. Dieci anni dopo, il Decreto n. 1534 del 30 giugno ne confermò le suddette funzioni decentrate, passate negli anni Settanta sotto la direzione delle Regioni appena istituite.
15. I documenti sono presso l'Archivio di Stato di Pescara (fondo Cantamaglia, B. 33).
16. I suddetti ponti, anch'essi minati, furono in parte trascinati dalla forza delle acque.
17. In un suo promemoria ritiene non utilizzabili i materiali di recupero, nonostante il risparmio dei costi, in quanto non assicurano la staticità futura dell'opera. (fondo Cantamaglia, B. 33)
18. Un ponte simile Cantamaglia lo progettò per conto dell'ANAS, sul fiume Moro, nell'aprile 1951. Quel luogo, presso Ortona, era stato teatro dello scontro a fuoco tra il 3 e il 27 dicembre 1943, tra Tedeschi e Inglesi. Si vedano i documenti presso l'Archivio di Stato di Pescara (fondo Cantamaglia, B. 33).
19. Si era prevista una centinatura in elementi tubolari a doppio ventaglio con cunei di imposta al di sotto dell'imposta dell'arco. Si indicava, inoltre la realizzazione di piazzuole di manovra e deposito materiali per il piazzamento delle macchine e delle attrezzature. Per la formatura dei piedritti di sostegno alle travi si sarebbero adottate strutture reticolari in ferro da impostare sugli arconi.
20. Il ponte attuale, molto simile a quello concepito da Cantamaglia, fu realizzato nei tre anni seguenti il 1952 dall'impresa Rodolfo Stoelcker di Roma su progetto di Riccardo Morandi, vincitore del concorso bandito dal Ministero dei Lavori Pubblici. È ritenuto il ponte più alto dell'Italia centrale, usato per svolgere l'attività di *bungee jumping*.

Ermanno Bizzarri

Il contributo delle industrie nella scrittura del territorio all'ombra del Vesuvio: il lavoro dell'ingegnere Pasquale Amodio a Torre Annunziata a metà Novecento

The Industrial Contribution to the Urban Design at the Foot of Vesuvius: Engineer Pasquale Amodio's Work in Torre Annunziata during the Mid-Twentieth Century

Sommario
La vocazione industriale del territorio della provincia di Napoli ha indubbiamente una storia lunga; in particolare, la città di Torre Annunziata, per sua conformazione geografica e per le infrastrutture presenti, si è da sempre rivelata uno dei luoghi campani migliori per il settore secondario. Con il seguente saggio s'intende analizzare il contributo delle industrie nello sviluppo urbanistico dell'insediamento oplontino a metà Novecento, quando la produzione dei pastifici era ancora alta e il ramo siderurgico si stava espandendo. Figura chiave, e poco conosciuta, di tale trasformazione urbana è quella dell'ingegnere Pasquale Amodio, docente accademico e professionista molto prolifico, i cui progetti commissionati dai pastifici oplontini, dall'Ilva e dalla Dalmine hanno influenzato fortemente la crescita della città.

Abstract
The character geared to the industrial activities of the area in the province of Naples has undoubtedly a long history. Specifically, the town of Torre Annunziata, due to its geography and existing infrastructures, has always established itself as one of the best places in Campania for the secondary sector. This paper aims at analyzing the industrial contribution to the urban development of the former *Oplontis* during the mid-twentieth century, when the rate of pasta production was still high, and the iron and steel industry was expanding. Key figure for the urban transformation was the not-well-known Engineer and Academic Professor Pasquale Amodio, whose projects for the pasta factories in Torre Annunziata, Ilva, and Dalmine have deeply influenced the growth of the town.

Introduzione
L'area costiera alle pendici del Vesuvio si è da sempre contraddistinta per i suoi valori ambientali, di tipo sia paesistico sia storico-archeologico, tanto da diventare sin

dal XVIII secolo tappa fondamentale dei viaggi di formazione di artisti e architetti di diversa nazionalità. Per le stesse ragioni questa porzione di territorio ha catturato l'interesse anche del settore secondario, che ha individuato nella zona vesuviana il polo produttivo ideale, grazie alla disponibilità di risorse naturali, alle infrastrutture presenti e alla relativa vicinanza al capoluogo campano. Tra tutti i centri dell'area, Torre Annunziata si è distinta come città industriale e commerciale anche prima della costruzione del canale Conte di Sarno (1592-1605), opera progettata da Domenico Fontana e voluta da Muzio Tuttavilla per alimentare i suoi mulini con la sorgente di Santa Maria La Foce di Sarno (Fontana, 1603; Meo e Russo, 1995: 79-84; Verde, 2008: 85-87). L'infrastruttura idraulica ha così permesso di sostenere la tradizione locale dell'arte bianca e l'industria alimentare (Rubino, 1983; Di Liello, 2017); al contempo, è stata l'attrattore decisivo per lo sviluppo dei traffici e del commercio, rendendo indispensabili le realizzazioni del porto e della ferrovia, e per l'insediamento dell'industria meccanica, a cominciare dal 1652 con la Real Fabbrica d'Armi (Di Martino e Russo, 1983; Rubino, 1983) [1].

Dal XIX secolo, il rapido progresso tecnologico industriale ha reso necessari nuovi spazi per la produzione, allo scopo di soddisfare i livelli di produttività raggiungibili con le nuove attrezzature disponibili. D'altra parte, il progresso tecnologico edilizio, grazie all'impiego dell'acciaio e del calcestruzzo armato nelle strutture, ha consentito la creazione di nuove tipologie di ambienti lavorativi, delineando così il filone otto-novecentesco dell'architettura industriale, esteso fino al campo della residenza operaia. Su tali presupposti s'intende analizzare il processo di trasformazione architettonica e urbanistica che Torre Annunziata ha subìto a causa delle istanze industriali verso la metà del Novecento. Nel fare ciò, si seguiranno le tracce del lavoro poco indagato di Pasquale Amodio (1907-1981), ingegnere oplontino laureato nella sezione civile dell'Università di Napoli nell'ottobre del 1931, abilitato alla professione nello stesso anno a Palermo[1], e poi docente di Disegno alla Facoltà di Ingegneria sempre presso l'Ateneo napoletano[2]. Molto attivo professionalmente nella sua città, Amodio ha elaborato progetti[3], non tutti realizzati, sia per i pastifici che per l'industria siderurgica, divenendo per quest'ultima il referente locale principale; in tal modo ha contribuito, più o meno direttamente, alla configurazione dell'attuale conformazione urbana di Torre Annunziata.

Gli spazi rinnovati dell'industria molitoria e delle paste alimentari

L'industria della macinazione e pastificazione a Torre Annunziata vanta una lunga storia e una consolidata tradizione, che affonda le proprie radici nel XII secolo e grazie alla quale la città si affermò come polo commerciale all'interno del Regno delle due Sicilie (Dati, 1962; Gargiulo e Quintavalle, 1983; Di Liello, 2017). Un primo processo di meccanizzazione della produzione avvenne già alla fine del XV secolo con la messa a punto di congegni in legno come la gramola e il torchio (Dati, 1962;

Giordano, 1994). Tuttavia, è solo dal XIX secolo che il settore ha registrato una trasformazione industriale in senso stretto con l'introduzione di macchinari alimentati a vapore, ma anche elettrici, idraulici e a gas (Giordano, 1992; Giordano, 1994). A tale periodo corrisponde la fase di maggior floridezza dell'arte bianca, messa a dura prova negli anni '30 del secolo successivo e conclusa in seguito a una crisi decisiva dal secondo dopoguerra, per ragioni di mercato, tecnologia e struttura (Picarelli, 1971: 4; Gargiulo e Quintavalle, 1983: 167, 172-173).

La disposizione urbanistica di mulini e pastifici a Torre Annunziata si deve essenzialmente allo sfruttamento idrico, sia per la fabbricazione dei prodotti che per l'uso della forza motrice. I primi stabilimenti sorgevano principalmente in un'area ai limiti della città storica e a ridosso del litorale[4] e laddove era presente la falda acquifera[5], specialmente nella località Fuori Porta. Quando, però, l'attività industriale diventò indipendente dalla presenza delle risorse naturali con l'introduzione delle macchine a cilindro, mulini e pastifici si diffusero in maniera pressocché uniforme sul territorio comunale[6], concentrandosi anche nel nucleo storico (Gargiulo e Quintavalle, 1983: 166-168; Giordano, 1992: 250-251).

La tipologia edilizia dell'industria molitoria e delle paste alimentari fino ai primi decenni del Novecento non ha mai avuto una precisa configurazione[7]: i fabbricati erano in struttura muraria, con impianto planimetrico longitudinale o a corte, quest'ultimo prevalentemente nel centro storico, ed erano suddivisi in stanzoni. Se nei mulini l'ingombro e l'utilizzo delle attrezzature determinava un assetto spaziale ben preciso (Guida, 1983: 26-27, 37), i pastifici, collocati per lo più lungo le cortine edilizie, presentavano caratteri non dissimili dal tipo edilizio abitativo, che mutavano in parte solo se associati all'attività molitoria (Gargiulo e Quintavalle, 1983: 182). Un sostanziale cambiamento si ebbe quando cominciarono a diffondersi i sistemi di asciugamento termo-meccanico.

Ancora ai primi del Novecento la prima essiccazione avveniva in maniera naturale lungo gli ampi marciapiedi della città o all'interno delle corti, affinché la merce non fosse troppo esposta alle correnti e alle impurità. Il procedimento continuava poi nei locali di rinvenimento, sotterranei, e di asciugamento definitivo, posti quanto più in alto possibile (Giordano 1994: 47). Tale processo, in precedenza della durata compresa tra 8 e 20 giorni, con un sistema termo-meccanico[8] si esauriva in circa 3 giorni, riuscendo a controllare i parametri termo-igrometrici.

Per poter soddisfare i nuovi processi industriali e la perfezionata procedura della catena di montaggio a nastro e avanzamento automatico, le soluzioni edilizie adottate erano quelle dell'architettura industriale: vasti lotti pressocché regolari per grandi sale coperte, talvolta su più piani e dotate di moderni impianti, in cui i paramenti murari interni erano ridotti tutt'al più alla struttura puntuale. Questi sono i caratteri principali che contraddistinguono anche i progetti di Amodio, il quale fa ricorso a coperture a unica volta in SAP con una luce netta massima di 29 m (Amodio, 1950:

Fig. 1 – Ing. P. Amodio: vista prospettica del mulino e pastificio S.A.M., s.d. (a sinistra) (Amodio, 1950: tav. 3.1)*; vista prospettica del pastificio S.A.E.M., s.d. (al centro)* (Amodio, 1950: tav. 6.1); *vista prospettica del pastificio Filippone in un primo studio di progetto, s.d. (a destra)* (Amodio, 1941: 114).

tav. 6.2) e a una misura longitudinale degli ambienti ad aula unica compresa tra 50 e 100 m. Il metodo compositivo dell'ingegnere è ben messo a fuoco: volumi funzionali di diverse dimensioni sono assemblati e intersecati tra loro, come si vede nel progetto non realizzato per il mulino e pastificio S.A.M., in Figura 1. Esso si presenta come un compatto complesso *ex novo* in cui ricorrono tutti gli elementi formali dell'architettura di Amodio: *brise soleil*, rigorose bucature geometriche e a oblò, aggetti ambiziosi (Amodio, 1950). Lo stesso accade per l'ormai demolito pastificio S.A.E.M., sempre in Figura 1, accostato al mulino preesistente (Amodio, 1950; Gargiulo e Quintavalle, 1983: 211-213, 215).

Altra caratteristica comune dei progetti per mulini e pastifici di metà Novecento è la disposizione dei fabbricati a bracci ortogonali e corte aperta, adeguata a un più facile carico e scarico delle merci. Il primo progetto di Amodio per il settore, quello per il pastificio Filippone, in Figura 1, apre la strada in tal senso: un grande spiazzo delimitato su due lati da tre ordini di volumi longitudinali voltati (Amodio, 1941: 114-120). L'ingegnere dimostra di aver assimilato gli stilemi dell'architettura contemporanea nelle forme, nelle tecniche e nell'uso dei materiali come il vetro cemento. Purtroppo, la crisi di metà Novecento dell'industria delle paste alimentari a Torre Annunziata ha interrotto una florida fase di sperimentazione architettonica, lasciando un'eredità edilizia di non facile gestione.

La residenza operaia: i progetti per l'Ilva e il piano parziale di ricostruzione

Escludendo il caso della Real Fabbrica d'Armi, stabilitasi per ragioni militari del Regno delle due Sicilie già nel XVII secolo (Rubino, 1983), l'insediamento del settore meccanico-siderurgico a Torre Annunziata ebbe una stretta connessione con la costruzione della ferrovia, che attraversa il territorio parallelamente alla linea di costa e molto vicina ad essa (Pagnini, 2019). L'ubicazione della stazione (Pagnini, 2019: 192-194) determinò infatti il sito del primo stabilimento industriale metallurgico, la Ferriera del Vesuvio di Natanson e Duché[9], posta sulla spiaggia della Salera, nella parte residuale tra il mare e il tracciato infrastrutturale, che definì così una cesura tra il litorale e la città[10]. Fu questa la prima azione di urbanizzazione di una zona storicamente umida (Di

Maio e Stefani, 2003), che in tal modo ha legato indissolubilmente i successivi insediamenti alla vocazione industriale[11].

I progetti di primo Novecento riguardanti le aree di Terragneta, orti di Schito e Stagnone, ora riconosciute come il quartiere di Rovigliano, non attengono soltanto alla sfera produttiva, ma affrontano anche il problema della residenza operaia, essendo gli stabilimenti non facilmente raggiungibili all'epoca dalla città consolidata. Il primo a studiare una soluzione fu l'industriale Cattori, il quale rilevò l'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche di Charles Finet e Alfredo Cottrau sulla riva opposta del Sarno, a Castellammare di Stabia (N., 1906; Favre, 1907). Il rione operaio Cattori, la cui prima pietra fu posta nel 1906, come ricordato nella cartolina in Figura 2, avrebbe dovuto occupare l'intera porzione di territorio oplontino tra la foce del fiume e la Ferriera del Vesuvio[12]: erano previste non solo abitazioni, ma anche attrezzature di tipo collettivo. Di fatto, la morte dell'industriale arrestò l'avanzamento del progetto, che si concluse soltanto «in un gruppetto di palazzine e due palazzi grandi, costruiti quasi sulla spiaggia» (Bernari, 1966: 171-172).

Fig. 2 – Cartolina postale della posa della prima pietra del rione operaio Cattori a Torre Annunziata, 1906 (Collezione privata S. Balsamo).

Dal tempo del progetto descritto fino alla seconda guerra mondiale, l'area non subì rilevanti trasformazioni: la Ferriera del Vesuvio si confermò un importante centro industriale, affrontando passaggi di proprietà che l'hanno resa prima "Ferriere Italiane" e poi, in ultima istanza, "Ilva Alti Forni e Acciaierie" (ILVA S.p.A., 1948: 110). Lo stabilimento arrivò a estendersi per oltre 350.000 m^2, comprendendo anche un pontile lungo 243 m (ILVA S.p.A., 1948: 187-196).

Gli eventi che più segnarono la zona industriale avvennero tutti negli anni '40: i danni bellici della seconda guerra mondiale, l'eruzione del Vesuvio del 1944 e, su tutti, l'esplosione della santabarbara nella stazione ferroviaria del porto, avvenuta nella notte del 21 gennaio 1946. Il tragico incidente determinò numerose vittime e la cancellazione dell'intero quartiere marinaio [2], con la distruzione totale di almeno la metà dei 992 vani conteggiati (Andriello, 1946: 3). Torre Annunziata fu così inclusa tra i Comuni per l'adozione di un piano di ricostruzione, nel suo caso parziale per la zona Castello (Gazzetta Ufficiale, 1946). Lo strumento urbanistico fu redatto da una commissione tecnica, la cui composizione variò dalla fase di progettazione del 1946 a quella di approvazione, avvenuta nel 1949[13]. Pasquale Amodio contribuì alla prima stesura dello strumento urbanistico (Andriello, 1946: 7); dalla lettura di una delle due tavole poi approvate [3], è chiaro quale sia stato il suo apporto: la progettazione del quartiere operaio Ilva.

Il nuovo rione operaio, realizzato dall'IACP[14] per sopperire anche all'emergenza residenziale, sorge in un'area contigua allo stabilimento industriale, dal lato opposto rispetto all'ipotizzato rione Cattori (Amodio, s.d.). Amodio si misurò con la progettazione di un intero quartiere, passando dalla scala architettonica a quella urbanistica; il tema, però, non gli era nuovo: già per l'Ilva aveva sviluppato un progetto di un fabbricato in linea con 4 vani scala (Amodio, 1941: 54-58).

Per il rione Ilva, Amodio previde opere di urbanizzazione primaria, come il collegamento dell'abitato e dello stabilimento con la "nuova strada litoranea", per decongestionare la già esistente via Terragneta. Di fatto, la nuova arteria, presente anche nel piano parziale di ricostruzione, non fu realizzata se non più di 60 anni dopo e in maniera differente [4]. Il complesso nel progetto originario, la cui planimetria generale è in Figura 3, era un quartiere autonomo, per quanto tale definizione sia sempre ingannevole: oltre alle 8 stecche di fabbricati per residenze operai, disposte secondo una configurazione memore della lezione del razionalismo tedesco e dei princìpi eliotermici applicati anche alle scuole, e all'edificio per impiegati sul fronte mare, erano previste le due già citate scuole di diverso grado, negozi, un dopolavoro e una chiesa. Alla consegna dei primi 5 fabbricati di alloggi per operai, il 3 maggio 1951, era ancora in previsione la realizzazione completa del rione (Farro, 1951; s.a., 1951), in realtà mai avvenuta a causa della crisi che coinvolse lo stabilimento Ilva[15]: si aggiunsero soltanto le scuole, con e per espressa preoccupazione del sindaco per la distanza del rione dalla città (Farro, 1951).

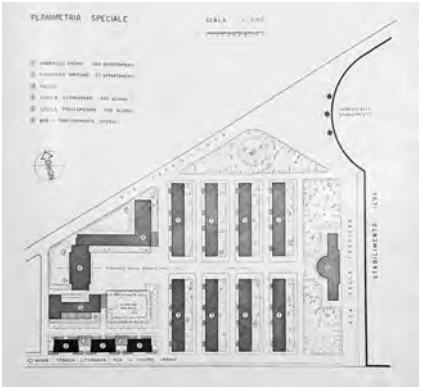


Fig. 3 – Ing. P. Amodio: planimetria originaria del rione operaio Ilva in scala 1:500, s.d. (Amodio, s.d.: tav. 2).

Nel merito degli edifici, tornano tutti gli elementi formali dell'architettura di Amodio, tra cui il frangisole per il vano scale, che scandisce il ritmo dei prospetti sulla base di un gioco ripetuto tra gli aggetti dei balconi, la linearità delle finestre e lo scavo delle logge; lo stesso ritmo denuncia la doppia tipologia di appartamenti a una o due camere da letto, alle quali corrispondono altrettante bucature, come mostrato in Figura 4. Planimetricamente gli alloggi sono simili a quelli progettati precedentemente per l'Ilva, denotando più che una stasi progettuale un già raggiunto grado di avanzamento in campo di edilizia residenziale pubblica nel secondo dopoguerra, comune a tutta l'accademia napoletana. Ad ogni modo, la capacità residenziale del rione non riuscì a soddisfare il fabbisogno reale; al contrario, le controversie burocratiche e le condizioni di vita degli abitanti suscitarono l'attenzione pubblica[16]. Come misura di contenimento, seppur non riuscita, l'Ilva, nella forma di cooperativa

Fig. 4 – Ing. P. Amodio: vista prospettica delle residenze operaie, Torre Annunziata, s.d. (a sinistra) (Amodio, s.d.: tav. 3)*; edifici realizzati, s.d. (a destra)* (Amodio, s.d.: tav. 8).

di dipendenti e poi con il gruppo Italsider, aderì al piano INA-Casa, realizzando edifici nelle vicinanze dello stabilimento[17] e a via Luigi Iacono, in quello che sarebbe diventato il nuovo centro cittadino (Musto, 2009); per quest'ultimo fabbricato l'incarico fu affidato ancora una volta ad Amodio[18].

Infine, tra i progetti non realizzati per il rione spiccano il dopolavoro, per la soluzione planimetrica simile al dispensario antitubercolare a Torre del Greco (Amodio, 1941: 68-69), e l'edificio per impiegati, i cui aggetti spinti, tanto da richiedere una trave di sostegno (Amodio, s.d.: tavv. 9-10), saranno in parte ripresi in una costruzione della stessa tipologia commissionata da un'altra industria: la Dalmine.

Un nuovo stabilimento in città: la Dalmine a Torre Annunziata

L'insediamento della Dalmine a Torre Annunziata, attivo dal 1954 al 1989, si inserisce nel più vasto quadro generale delle nuove iniziative industriali per il Meridione, a partire dalla creazione della Cassa per il Mezzogiorno e la ridefinizione dell'IRI nel secondo dopoguerra (Brancaccio, 1992). Di tali azioni a indirizzo economico-produttivo beneficiò non solo il settore meccanico, ma anche quello chimico[19], più precisamente farmaceutico, con l'apertura dello stabilimento Lepetit sulla riva oplontina del Sarno, in prossimità della foce[20] (Mazzetti, 1968).

La Dalmine, industria del Bergamasco, fece il suo ingresso nella provincia napoletana nel 1951, quando decise di produrre tubi saldati di piccolo diametro nel Mezzogiorno (Dalmine S.p.A., 1956; Ranieri, 2006: 149). Il nuovo centro produttivo dovette affrontare numerosi problemi, primo fra tutti la situazione di crisi dell'Ilva, che portò a numerosi scioperi degli operai, concludendosi sia in una dislocazione degli stessi nella Dalmine sia in licenziamenti[21]. Altra difficoltà fu quella riguardante l'area produttiva: la scelta ricadde sul lotto libero, di 15.000 m^2, contiguo allo stabilimento Ilva, sul lato opposto rispetto al rione operaio, grazie ancora una volta alla presenza della ferrovia e ai raccordi, ma per anni si protrassero questioni di tipo burocratico legate agli espropri e a mancati accordi economici[22]. Per gli incarichi progettuali e la risoluzione delle controversie fu scelto come referente locale l'in-

gegnere Amodio, il quale cominciò una proficua collaborazione con la Dalmine dal 1952. Al professore dell'Università di Napoli fu affidata la direzione dei lavori del comparto produttivo, della cui progettazione si occupò l'ufficio tecnico dell'industria, mentre su suoi disegni furono realizzati due complessi di residenze per operai e impiegati e il palazzo degli uffici. In occasione della posa della prima pietra dello stabilimento, il 10 maggio 1953, fu presentato il progetto dell'edificio direzionale (Dalmine S.p.A., 1953; s.a., 1953) [5].

Il palazzo per gli uffici, in Figura 5, sarebbe da annoverare nella tipologia in linea, anche se l'articolazione in volumi funzionali aggregati rende il fabbricato più complesso, con un profilo movimentato ritmicamente nelle coperture e nelle altezze. La struttura era stata studiata inizialmente, sotto suggerimento del presidente della Dalmine Magrì[23], secondo una soluzione in cavalletti tubolari a tre cerniere[24], realizzati in calcestruzzo armato con progetto in variante[25] e lasciati a vista al pian terreno, adibito a parcheggio. L'ossatura dell'edificio e l'uso della finestra a nastro sembrerebbero suggerire un'ispirazione lecorbusiana, ma la composizione volumetrica e i vetri a tutt'altezza citano l'architettura tedesca di primo del Novecento. Diversamente, l'elemento verticale della torre, così come l'accostamento al blocco principale, si avvicina ai progetti delle case littorie e di alcuni pastifici sviluppati da Amodio (Amodio, 1941; 1950); infine, il corpo a un piano con la copertura voltata denota la tipologia industriale. Nel palazzo degli uffici, dunque, l'ingegnere confermò di aver assimilato il linguaggio dell'architettura contemporanea.

Per quanto riguarda gli edifici residenziali, i primi ad essere stati eseguiti, contemporaneamente agli uffici, furono le case di abitazione per impiegati. Il fabbricato, sito a via Gino Alfani, sorge in una zona al tempo definita periferica[26], ma apprezzata per il suo valore panoramico e la vicinanza ai lidi. Essa fu preferita ad un'area di completamento del rione Ilva e all'acquisto di appartamenti di un palazzo in progetto di costruzione[27]. L'operazione avrebbe dovuto essere la prima di un piano più esteso:

Fig. 5 – Ing. P. Amodio: vista prospettica dello stabilimento Dalmine, con in primo piano il palazzo per uffici, Torre Annunziata, s.d. (a sinistra) (Dalmine S.p.A., 1953)*; l'edificio realizzato, s.d. (a destra)* (Archivio fotografico Francesco Nappo, ex dipendente Dalmine).

a monte del complesso erano previsti altri edifici residenziali e un dopolavoro progettato dall'architetto Giovanni Greppi[28]; di fatto, in più furono realizzate soltanto le case per gli operai equiparati ristrutturando un fabbricato precedentemente appartenuto al pastificio Voiello[29], retrostante al complesso progettato da Amodio, al quale è collegato tramite un cancello interno[30].

In pianta, le residenze per impiegati si configurano come tre ali centrifughe rispetto al vano scale, tutte volte a sud, verso il mare; volumetricamente, il corpo a nord-est, più arretrato, guadagna un piano, relazionandosi quasi a incastro con gli altri due blocchi a tre livelli. Questi ultimi presentano quasi per ciascuna bucatura un balcone, il cui aggetto è marcato dal parapetto pieno frontale e inclinato a 45°, al quale nella stessa direzione seguono lateralmente i tubolari per le ringhiere[31]. Gli stessi tubolari, prodotti proprio dalla committenza, sono utilizzati nei cancelli e nelle inferriate di delimitazione delle aree di proprietà, come mostrato in Figura 6.

Gli appartamenti di via Gino Alfani, dotati di tutti i servizi, anche doppi, e finemente arredati, sono tipologicamente differenti da quelli realizzati nel 1963 dalla Dalmine con il quarto programma CECA, sempre su progetto dell'ingegnere Amodio[32]. Afferente alla sfera residenziale pubblica, il complesso per operai si trova in un brano della città urbanizzato proprio a metà Novecento dai programmi di edilizia economica e popolare. Inizialmente era prevista la costruzione di due file, chiuse dall'autostrada, di quattro fabbricati ciascuna (s.a., 1963), di cui ne è stata realizzata solo una aumentandone la volumetria. Gli alloggi rispettano le norme dell'edilizia residenziale pubblica del tempo, provvedendo a inserire un vestibolo separabile dal resto degli ambienti e un locale lavatoio al quale è possibile accedere esclusivamente dalla loggia. Unico guizzo progettuale è, di nuovo, il balcone, che qui si stacca in maniera sghemba rispetto al filo del prospetto. Con la Dalmine, dunque, l'ingegnere Amodio riuscì finalmente a occuparsi dell'architettura industriale sia nel campo direzionale-produttivo che in quello residenziale.

Fig. 6 – Il cantiere delle case per impiegati a via Gino Alfani, Torre Annunziata, s.d. (a sinistra) (Archivio fotografico Francesco Nappo, ex dipendente Dalmine)*; la costruzione completata, s.d. (a destra)* (Dalmine S.p.A., 1956: 107).

Conclusioni

Nel 1949 lo scrittore Michele Prisco nel suo romanzo d'esordio dal titolo più che esplicativo, La provincia addormentata, descriveva i paesi della fascia costiera vesuviana come «un gruppo di borgate interrotte o separate tra loro da colline di pini o castagneti o altre zone altrimenti boschive […], dove la vita sembra fermarsi improvvisamente intorpidita dall'invadenza del sole» (Prisco, 1978: 9). Lo stesso territorio, invece, dopo circa 70 anni si presenta come una solida conurbazione; così, si potrebbe dire che la provincia non è più addormentata, ma diffusa.

Nel processo di espansione urbana, i diversi rami dell'industria hanno ricoperto un ruolo importante, aiutando a individuare aree funzionali e talvolta indirizzando lo sviluppo edilizio. Questo è ciò che succede a Torre Annunziata, una città dilatata nel giro di pochi decenni: nel farlo, in un periodo di deindustrializzazione e speculazione edilizia, si cominciano a occupare i luoghi ormai abbandonati dall'arte bianca. I pastifici ottocenteschi diventano residenze, grazie alla disposizione in stanzoni; i complessi del Novecento talvolta subiscono lo stesso destino per sostituzione edilizia, come nel caso del pastificio S.A.E.M. di Amodio (Gargiulo e Quintavalle, 1983). Altre volte, invece, si adattano ad ospitare nuove funzioni, com'è accaduto per il pastificio Filippone dell'ingegnere, ora parco commerciale di vendita al dettaglio [6]. Altre volte ancora, infine, si configurano come vuoti urbani nello stato di abbandono e/o demolizione (Gargiulo e Quintavalle, 1983).

Diversamente, l'area industriale metallurgica rimane immutata nella propria enclave, segnata a priori dal tracciato ferroviario. Cambiano i settori di produzione: i cantieri nautici prendono il sopravvento, potendo sfruttare la vicinanza al mare e gli ampi spazi dei capannoni; gli edifici di rappresentanza, invece, diventano sedi di aziende. Sorte comune degli spazi sembra essere quella dell'uso e riuso ininterrotto, stravolgendo le costruzioni con interventi che talvolta alterano irrimediabilmente l'architettura originaria: le residenze continuano ad essere abitate, seppur con diversa fortuna; i luoghi della produzione proseguono tendenzialmente a produrre merci, sebbene diverse da quelle originarie. L'industria, dunque, ha contribuito a formare il volto dell'odierna Torre Annunziata, lasciando che lo sviluppo edilizio e urbanistico seguisse la strada da essa indicata.

Ringraziamenti

Si ringraziano per le preziose indicazioni l'architetto Andreas Amodio, nipote dell'ingegnere; la Fondazione Dalmine, nelle persone di Stefano Capelli e Silvia Giugno, per l'aiuto nella ricerca e la disponibilità dimostrata; infine, l'architetto Danilo Nappo per il materiale iconografico della Dalmine a Torre Annunziata.

Fonti

ASNa. PrefNa: Archivio di Stato di Napoli. Prefettura di Napoli;
ASUnina: Archivio Studenti dell'Università degli Studi di Napoli Federico II;
FDalm.: Fondazione Dalmine.

Bibliografia

Amodio P. 1941. *Disegni, concorsi, costruzioni. Volume primo.* Pompei: Scuola tipografica pontificia.

Amodio P. 1950. *Costruzioni e progetti. Volume secondo*. Pompei: Scuola tipografica pontificia.

Amodio P. 1974. *Pasquale Amodio*. Napoli: STILTE.

Amodio P. S.d. *Il rione ILVA a Torre Annunziata. Istituto Autonomo Case Popolari per la provincia di Napoli*. s.l.: s.n.

Andriello D. 1946. *Torre Annunziata: un esempio. Comunicazione al Convegno per la ricostruzione del Mezzogiorno e della Sicilia (giugno-ottobre 1946)*. s.l.: s.n.

Argenziano P. 2011. I progetti dell'ingegnere Pasquale Amodio per l'Accademia Aeronautica in Campania. Processi ideativi nel paesaggio. In: *Abitare il futuro. Il disegno delle trasformazioni* (a cura di L. Papa). Napoli: CLEAN Edizioni.

Argenziano P. 2012. Il Novecento napoletano. I disegni di architettura di Pasquale Amodio nella Nuova Pompei. In: *Atlante di Pompei* (a cura di C. Gambardella). Napoli: La Scuola di Pitagora editrice.

Bernari C. 1966 (I ed. 1934). *Tre operai*. Milano: Mondadori.

Brancaccio G. 1992. Il miracolo economico. In: *Napoli: un destino industriale* (a cura di A. Vitale). Napoli: CUEN.

Dalmine S.p.A. 1953. *Stabilimento di Torre Annunziata: posa della prima pietra, 10 maggio 1953*. s.l.: s.n.

Dalmine S.p.A. 1956. *La Dalmine durante cinquant'anni. 27 giugno 1906-27 giugno 1956*. Torino: ILTE.

Dati F. 1962. *Indagini storiche di Torre Annunziata e della sua grande industria dell'arte bianca*. Napoli: Tipografia Laurenziana.

Di Liello S. 2017. Mulini e pastifici a Torre Annunziata tra XVI e XX secolo: la costruzione di una retorica industriale ai piedi del Vesuvio. Napoli Nobilissima, LXXIV(II-III), 116-128.

Di Maio G., Stefani G. 2003. Considerazioni sulla linea di costa del 79 d.C. e sul porto dell'antica Pompei. Rivista di studi pompeiani, XIV, 141-195.

Di Martino G., Russo S. 1983. *Torre Annunziata, la sua vocazione industriale e il canale conte di Sarno*. s.l.: D'Amelio Editore.

Farro F. 1951. Il ministro Aldisio alla consegna dei nuovi alloggi per operai. Il Mattino, 4 maggio.

Favre E. 1907. Le particolarità delle locomotive americane acquistate dalle Ferrovie dello Stato nel 1906. L'Ingegneria Ferroviaria, IV, 1, 53-58.

Fontana D. 1603. *Della trasportatione dell'obelisco vaticano et delle fabriche di nostro signore papa Sisto V. Libro secondo in cui si ragiona di alcune fabbriche fatte in Roma et in Napoli dal cavalier Domenico Fontana*. Napoli: appresso Domenico Basa.

Gargiulo P., Quintavalle L. 1983. L'industria della pstificazione a Torre Annunziata e Gragnano. In: *Manifatture in Campania. Dalla produzione artigiana alla grande industria* (a cura dell'Associazione per l'Archeologia Industriale. Centro di Documentazione e Ricerca per il Mezzogiorno). Napoli: Guida editori.

Gazzetta Ufficiale. 1946, approvazione dell'8° elenco dei Comuni danneggiati dalla guerra che dovranno adottare un piano di ricostruzione dei rispettivi abitati. Decreto Ministeriale 11 settembre 1946. Gazzetta Ufficiale, LXXXVII, 218, 2308-2309.

Giordano A. 1994. *L'arte bianca di Torre Annunziata*. Torre Annunziata: D'Amelio Editore.

Giordano V. 1992. L'arte bianca: mulini e pastifici dall'Unità al fascismo. In: *Napoli: un destino industriale* (a cura di A. Vitale). Napoli: CUEN.

Guida E. 1983. Tipologia e morfologia edilizia della fabbrica tra paleoindustria e rivoluzione industriale. In: *Manifatture in Campania. Dalla produzione artigiana alla grande industria* (a cura dell'Associazione per l'Archeologia Industriale. Centro di Documentazione e Ricerca per il Mezzogiorno). Napoli: Guida editori.

ILVA S.p.A. 1948. *ILVA: alti forni e acciaierie d'Italia. 1897-1947*. Bergamo: Istituto Italiano d'Arti Grafiche.

Mazzetti E. 1968. L'industria chimica. In: *Campania in trasformazione* (a cura di F. Compagna). Milano: il Saggiatore.

Meo F., Russo S. 1995. *Torre Annunziata, Oplonti (dalle origini ai giorni nostri)*. Torre Annunziata: Editrice-Libreria Rosati.

Musto G. 2009. Torre Annunziata. In: *I centri storici della provincia di Napoli. Struttura, forma, identità urbana* (a cura di C. de Seta, A. Buccaro). Napoli: ESI.

N. M. 1906. Officine M. Cattori e C. (Castellammare di Stabia). L'Ingegneria Ferroviaria, III, 1, 8-9.

Pagnini V. 2019. *La ferrovia da Napoli per Nocera e Castellammare. Le città vesuviane nel paesaggio ferroviario italiano (1839-1860)*. Napoli: Federico II University Press-fedOA Press.

Picarelli A. 1971. *L'industria della pasta alimentare nel Mezzogiorno*. Napoli: CESAN.

Prisco M. 1978 (I ed. 1949). *La provincia addormentata*. Milano: Rizzoli.

Ranieri R. 2006. Prodotti e mercati. In: *Dalmine 1906-2006. Un secolo di industria* (a cura di F. Amatori e S. Licini). Dalmine: Fondazione Dalmine.

Rispoli F. P. 1902. *La provincia e la città di Napoli. Contributo allo studio del problema napolitano*. Napoli: stab. tipo-stereotipo F. Di Gennaro & A. Morano

Rubino G.E. 1983. Le fabbriche del Sud. Saggi di storia e archeologie dell'industria. In: *Manifatture in Campania. Dalla produzione artigiana alla grande industria* (a cura dell'Associazione per l'Archeologia Industriale. Centro di Documentazione e Ricerca per il Mezzogiorno). Napoli: Guida editori.

Sciarelli S. 1970. *L'industria metallurgica e meccanica in Campania*. Napoli: Giannini.

s.a. 1951. Chiare parole del ministro Aldisio sulla ricostruzione edilizia a Napoli. Il Popolo, 4 maggio.

s.a. 1953. La posa della prima pietra dello stabilimento "DALMINE" a Torre Annunziata. La Voce di Napoli, 18 maggio, 3.

s.a. 1963. Programma CECA, alloggi per dipendenti. 1963. Conversazioni, X, 10, 9-10.

Senato della Repubblica. 1954. Disegno di legge d'iniziativa dei Senatori Sereni, Palermo, Valenzi e Cerabona, comunicato alla Presidenza il 20 luglio 1954. Costruzione ed assegnazione di alloggi nel comune di Torre Annunziata, città sinistrata dallo scoppio del 21 gennaio 1946. 1954. Atti Parlamentari del Senato della Repubblica, disegni di legge e relazioni, II legislatura, n. 653.

Senato della Repubblica. 1958. Disegno di legge d'iniziativa dei Senatori Sereni, Valenzi, Palermo, Bertoli e Cerabona, comunicato alla Presidenza il 24 ottobre 1958. Costruzione ed assegnazione di alloggi nel comune di Torre Annunziata, città sinistrata dallo scoppio del 21 gennaio 1946. 1958. Atti Parlamentari del Senato della Repubblica, disegni di legge e relazioni, III legislatura, n. 191.

Verde P.C. 2008. Domenico Fontana, regio ingegnere nel Regno di Napoli (1592-1607). In: *Studi sui Fontana. Una dinastia di architetti ticinesi a Roma tra Manierismo e Barocco* (a cura di M. Fagiolo). Roma: Gangemi editore.

Sitografia

[1] https://www.difesa.it/AID/Stabilimenti/Munizionamento/Pagine/TorreAnnunziata.aspx.
[2] https://patrimonio.archivioluce.com/luce-web/detail/IL5000052871/2/un-treno-carico-munizioni-degli-alleati-scoppia-nei-pressi-torre-annunziata-gravi-i-danni.html?startPage=0.
[3] https://www.rapu.it/ricerca/jpg/148.jpg.
[4] http://www.regione.campania.it/regione/it/multimedia/presidente-y5xnxi42/apertura-bretella-stradale-lungomare-oplonti?page=1.
[5] https://patrimonio.archivioluce.com/luce-web/detail/IL5000026500/2/scontro-piroscafo-haiti-victory-e-nave-linee-inglesi-duca-york-quattro-persone-disperse-torre-annunziata-grazie-ai-contributi.html?startPage=0.
[6] https://lostrillone.tv/nasce-silos-shopping-center-taglio-del-nastro-per-il-punto-vendita-conad/26924.html.

Note

1. ASUnina, Facoltà di Ingegneria, laureati anno 1931. B. 52, fasc. 56.
2. Per un profilo biografico esaustivo si veda (Argenziano, 2011; Argenziano, 2012).
3. I progetti elaborati nel periodo 1931-1950 sono raccolti in due volumi-*portfolio*, curati dallo stesso ingegnere (Amodio, 1941; 1950; s.d.). Questi sono conservati nel fondo Amodio presso la Biblioteca Comunale "Ernesto Cesaro" di Torre Annunziata, assieme alle pubblicazioni e ai disegni ad acquerello dell'Aeronautica militare di Pozzuoli, donati dallo stesso progettista. Per i lavori successivi al 1950, presenti in minima parte in una pubblicazione successiva di Amodio (1974), si è fatto ricorso quasi unicamente alla ricerca d'archivio.
4. La toponomastica individua la via dei Molini Idraulici in una zona dove sfociava anche il canale conte di Sarno, definitivamente separata dal porto dalla massicciata ferroviaria.
5. Per una lista delle sorgenti termali si veda Meo e Russo (1995: 132-133).
6. Ancora una volta la toponomastica indica le aree d'interesse, come via Mulini a Vapore, dove si trovava il mulino e pastificio S.A.M (Gargiulo e Quintavalle, 1983: 201; Musto, 2009: 257).
7. Tale tesi è supportata da Gargiulo e Quintavalle (1983), che, tramite una schedatura degli impianti (pp. 193-202), individuano tre tipologie e ulteriori sottotipi diverse per uso e struttura (p. 182).
8. A fine XIX secolo, grazie a un'invenzione locale, si procedeva già con un'essiccazione controllata della pasta con la "camera a vento Cirillo", una stanza con ventilatore ad aria calda (Gargiulo e Quintavalle, 1983: 181).
9. Il sito dell'industria fu con molta probabilità definito anche dalla presenza della falda acquifera, testimoniata dall'esistenza della sorgente Natanson Duché & C. a breve distanza dal mare (Meo e Russo, 1995: 133) e dei pozzi sorgivi non più utilizzati successivamente dall'Ilva (ILVA S.p.A., 1948: 190). Inoltre, la localizzazione sul litorale concorda con la storica politica urbanistica provinciale, da Bacoli a Castellammare, degli stabilimenti produttivi (Sciarelli, 1970: 94).
10. Tale cesura fu poi consolidata con la costruzione dei tronchi ferroviari verso Castellammare di Stabia, l'area portuale e gli stabilimenti industriali.
11. Il destino dell'area è chiaramente connesso anche alla drastica opera borbonica di rettificazione del Sarno, che ha trasformato l'intricata foce a delta in una dritta foce a estuario.

12. Dalle tavolette IGM si desume la presenza del toponimo “cantiere Cattori” dal 1906 nell’area dello Stagnone; nel 1936 si aggiungono quelli di “Cattori”, per le residenze, e “S. Michele”, per la chiesa.
13. Gli unici nomi della commissione che non cambiano dalla prima comunicazione (Andriello, 1946: 7) alla fase di ratifica dell’adozione del piano, con Decreto Ministeriale div. 23° n. 3899 del 15 marzo 1949, sono quelli degli ingegneri Domenico Andriello e Luigi Cosenza.
14. Torre Annunziata è uno dei quattro Comuni, al di fuori del capoluogo campano, in cui è attestata l’attività dell’Istituto prima della seconda guerra mondiale. Tale fatto è da ascrivere alla questione che lega l’edilizia economica e popolare al lavoro industriale. ASNa. PrefNa. Gabinetto, II versamento B. 874.
15. ASNa. PrefNa. Gabinetto, III versamento B. 1514, fasc. Torre A. Stab. Ilva, 1953; b. 2204, fasc. Torre Annunziata. Stab. Ilva, 1956.
16. Già durante la II legislatura fu presentato al Senato della Repubblica senza successo un disegno di legge per risolvere l’emergenza abitativa, la cui causa prossima fu individuata nel disastro del 1946 (Senato della Repubblica, 1954). Lo stesso fu riproposto durante la III legislatura, rivelando un blocco della situazione (Senato della Repubblica, 1958).
17. ASNa. PrefNa. Lavori pubblici, Calcoli di c.a. B. 125, fasc. 21.
18. Ivi, fasc. 20.
19. Anche il settore chimico vanta una lunga storia nell’area tra Torre Annunziata e Castellammare di Stabia, in cui dall’Ottocento si producevano candele, nitrato di potassio e sapone (Rispoli, 1902).
20. ASNa. PrefNa. Gabinetto III versamento B. 1514, fasc. Torre Ann.ta. Stabilimento antibiotici Lepetit, 1953.
21. Ivi, fasc. Torre A. Stab. Ilva, 1953; b. 2204, fasc. Torre Annunziata. Stab. Ilva, 1956.
22. Ivi, b. 1514, fasc. Torre Annunziata Stabilimento Dalmine, 1953, lettera della direzione generale Dalmine S.p.A., 20 novembre 1954; lettera del prefetto di Napoli, 11 dicembre 1954.
23. FDalm. Dalmine e collegate, ricerca e sviluppo, direzione centrale sviluppo impianti. Fasc. 196. 3/148 Torre Annunziata, generali. Verbale della riunione tenuta presso la sede il 19 maggio 1953, 20 maggio 1953.
24. Ivi, lettera di Pasquale Amodio, 1 giugno 1953.
25. ASNa. PrefNa. Lavori pubblici, Calcoli di c.a. B. 125, fasc. 19, Relazione e certificato di collaudo, 30 ottobre 1956.
26. Ivi, b. 151, fasc. 10. Tale notazione risulta rilevante in quanto ora il complesso si trova in quello che è ritenuto il centro cittadino.
27. FDalm. Dalmine e collegate, carte di direzione, verbali riunioni comitato di direzione. Fasc. 6. 1952. 33. Riunione n. 13 dell’8 agosto 1952, p. 5.
28. FDalm. Dalmine e participate, Dalmine S.p.A., Archivio Disegni. Torre Annunziata Cral, Case contadini, Case equiparati, mensa, planim. Gen. Sta. Voiello.
29. Ibidem.
30. Ibidem.
31. ASNa. PrefNA. Lavori pubblici, Calcoli di c.a. B. 125, fasc. 19, tav. balconi, scala 1:20.
32. FDalm. Dalmine e participate, Dalmine S.p.A., Archivio Disegni. Torre Annunziata Case CECA.

Aurora Riviezzo

La testimonianza di un ingegnere a Palermo negli anni Sessanta: Giorgio Fernandez

Being an engineer in Palermo in the Sixties: Giorgio Fernandez

Sommario
Il contributo mira a esaminare la figura di Giorgio Fernandez (Palermo, 1920-2020) nel panorama professionale degli ingegneri palermitani formatisi durante il Ventennio e attivi nelle successive dense fasi di sviluppo urbano tra la ricostruzione postbellica e il boom economico, considerando nello specifico la sua produzione legata ai complessi residenziali progettati a Palermo. Fernandez si laurea nel 1942 presso la Facoltà di Ingegneria di Palermo, città a cui resta profondamente legato per cento anni. È qui che ha vissuto tutta la vita e dove ha quasi esclusivamente svolto la sua ricca attività professionale, scandita da un gran numero di interventi su scala urbana ed edilizia e da altrettanti progetti di interni e arredamento, per la prima volta documentati in una recente pubblicazione monografica (Manzo, 2020). Rileggere la sezione più importante della sua storia professionale legata all'edilizia residenziale – di cui è una fondamentale testimonianza l'Archivio Professionale Fernandez dichiarato di interesse storico nel 2014 – significa riflettere sul ruolo che ha avuto la scuola di ingegneria palermitana nella sperimentazione di nuove tecnologie, soluzioni strutturali e materiche nel campo edilizio, nel tentativo di delineare una diversa prospettiva di osservazione della fase urbana del "Sacco". In stretta relazione con la nuova committenza privata della classe media imprenditoriale, i progetti residenziali, che Fernandez realizza dai primi anni Cinquanta, sono allo stesso tempo una testimonianza della sua ricerca personale, intrecciata costantemente a diverse professionalità palermitane: artisti, artigiani, tappezzieri, ma anche ingegneri navali, con cui, ad esempio, ha ideato una cassaforma *ad hoc* per la produzione della colonna strutturale del complesso residenziale in Piazza Vittorio Veneto (1969). Parallelamente, Fernandez ha attinto dalle esperienze nazionali e soprattutto dai colleghi milanesi, nel tentativo di essere al passo con i tempi per l'impiego di soluzioni e materiali innovativi, tra cui i mosaici disegnati da Gio Ponti, impiegati per il rivestimento della facciata del suo progetto più documentato: il Palazzo AR all'angolo tra via Roma e via Amari (1964).

Abstract
This paper aims to examine the figure of Giorgio Fernandez (Palermo, 1920-2020) in the professional *milieu* of Palermo engineer, trained during the Fascism and active in the subsequent dense phases of urban development between the post-war reconstruction and the economic boom period, particularly considering his contribution in residential complexes design. Fernandez graduated in 1942 at the Faculty of Engineering of Palermo, city to which he remained deeply attached for a hundred of years. It is here where he spent all his life and he almost exclusively carried out his rich professional activity, completely documented by Fernandez Professional Archive, declared of historical interest in 2014, and presented in a recent monographic publication for the first time (Manzo, 2020). He designed a large number of interventions both on urban and architectural scale, as well as many interior and furnishing projects. Focusing on the most important part of his career related to housing means reflecting on the role of the Palermo engineering school had in experimenting with new technologies, architectural expressions and structural solutions, in an attempt to outline a different perspective of observation of the urban history of Palermo common known as 'il Sacco'. Closely linked to the new private entrepreneurial middle-class, the residential buildings he designed since the early 1950s are a testimony of his personal architectural research, constantly intertwined with different categories of professionals based in Palermo: artists, artisans, upholsterers, as well as, for example, marine engineers, who collaborated in the developing of a special-purpose formwork for the structural pillar of a residential complex in Piazza Vittorio Veneto (1969). At the same time, Fernandez was inspired by the contemporary national experiences, and in particular by Milanese colleagues, managing to keep up with the times regarding spatial solutions and use of innovative materials, including a mosaic designed by Gio Ponti used for the façade cladding of his well-known 1964 project: Palazzo AR at the corner of via Roma and via Amari.

Introduzione
Ogni città italiana ha acquisito la conformazione urbana attuale tra la fase di ricostruzione del secondo dopoguerra e gli anni del *boom* economico, dando attuazione a politiche per lo sviluppo territoriale promosse su scala nazionale, ma chiaramente recepite secondo tentativi molto diversificati in base al contesto regionale e comunale preesistente. È noto che il fenomeno della speculazione fondiaria e immobiliare, denunciato quotidianamente dalla testate generaliste, si sia sviluppato con un sistema più radicato nell'Italia meridionale che in quella settentrionale, delineandosi anch'esso con sue specifiche modalità di esecuzione e finalità, finendo per etichettare come "palazzinari" l'intera generazione di progettisti coinvolta come espressione di una dimensione progettuale quantitativa più che qualitativa, e rimasta di conseguen-

za a lungo quasi del tutto in disparte nella storiografia nazionale. Tra queste città c'è Palermo, con il suo Sacco edilizio, e tra questi progettisti c'è l'ingegnere Giorgio Fernandez che a Palermo ha scelto di vivere e lavorare per cento anni.

Gli anni della formazione professionale (o dell'espansione della città)

Nell'assolato luglio palermitano del 1942, Giorgio Fernandez si laurea presso la Facoltà di Ingegneria presentando il progetto per un Palazzo dell'Arte nell'area del Teatro Politeama, ormai abbandonata e fatiscente a causa della guerra. L'anno seguente, poco prima degli ultimi disastrosi bombardamenti che hanno definitivamente afflitto la città, si sposta a Roma grazie a una borsa di studio che gli permette di svolgere il servizio militare contemporaneamente a un corso di Ingegneria Aeronautica, di cui troverà i frutti in diversi momenti della sua storia professionale (Fernandez, 1993). Il soggiorno nella capitale è molto breve e al suo rientro siciliano Fernandez scopre che Palermo è ormai tutta da riprogettare: interi isolati rasi al suolo e orde di persone ammassate nei quartieri ottocenteschi restituiscono l'immagine di una delle città più colpite d'Italia, con circa 73.000 i vani danneggiati e inabitabili e quasi la metà della popolazione in attesa di un nuovo alloggio.

La ricostruzione inizia in attuazione del D. Lgs. n. 154 del 1945 con la programmazione di piani urbani decennali, redatti dai tecnici comunali in considerazione delle linee guida imposte dal PRG vigente, che a Palermo è del 1944 (Trombino, 2020)[1], innescando quella che è stata la fase di crescita territoriale, e contemporaneamente di adeguamento urbano, più rapida e intensa della storia delle città italiane.

Di pari passo, dalla scala regionale a quella locale dei piccoli insediamenti sulla costa, l'Isola è coinvolta nel totale ridisegno infrastrutturale del Meridione con una serie di opere straordinarie finanziate dall'ente pubblico della Cassa per il Mezzogiorno, istituito nel 1950 con il governo De Gasperi proprio con lo scopo di colmare il divario industriale e finanziario con l'Italia Settentrionale. E, se da un lato si assiste all'effettiva crescita economica delle singole regioni, dall'altro l'accelerazione dell'industria è proporzionata quasi esclusivamente al flusso in continua crescita del mercato edilizio, diventato per molti anni il vero volano dello sviluppo del Sud, spesso anche a discapito della originaria vocazione di tipo agricolo e artigianale di quelle aree.

In questo clima di generale rinnovamento politico e sociale, Fernandez inizia la sua densa carriera da ingegnere, cadenzata dal susseguirsi delle fasi di pianificazione territoriale della sua città, e in attiva collaborazione con i diversi attori pubblici e privati che vi prendono parte, diventando non di rado committente e progettista allo stesso tempo, e a tratti anche dirigente: ad esempio, è chiamato nel 1968 a dirigere l'Ufficio della Sicilia Occidentale dell'Istituto per lo Sviluppo di Edilizia Sociale-ISES, dopo aver spesso collaborato con la Cassa.

Appena laureato, lasciatosi alle spalle la retorica monumentale che aveva caratterizzato il suo percorso di studi, Fernandez si dedica con i primi incarichi quasi

inconsciamente alla riscoperta del territorio palermitano. Ne analizza la storia con attenti progetti di restauro, o con il disegno di piccoli interventi di arredamento per quelle nuove strutture ricettive che stavano riprendendo la propria attività a ridosso degli antichi mercati rionali, tra cui un ristorante commissionatogli dalla Pontificia Assistenza nel 1950 nell'antico rione medioevale della Conceria. S'impegna in una collaborazione costante con gli artigiani locali, soprattutto tappezzieri e ceramisti, nonché con giovani artisti, da cui impara come incorporare nei suoi interventi elementi decorativi ed efficaci *escamotage* spaziali a basso costo di realizzazione, sovrapponendo ogni volta diversi input funzionali e tecnici alla sua formazione da ingegnere (Fernandez, 1993; Manzo, 2020). Il suo interesse resta essenzialmente connesso alla cultura tecnica e compositiva alla scala del progetto edilizio e, pur rimanendo del tutto estraneo all'impegno politico e al dibattito accademico vivo in quegli anni soprattutto al Nord Italia, Fernandez è affascinato dalla Milano moderna di Gio Ponti e dall'architettura europea. Viaggia molto per studiare i progetti dei maestri del Movimento Moderno, tra cui soprattutto Alvar Aalto.

Ritorna sempre a Palermo e prende parte all'intensa stratificazione edilizia, per certi aspetti la subisce anche, aggiungendo tanti piccoli tasselli architettonici alla rapida espansione urbana nei vent'anni del Sacco. Tasselli finiti per diventare una parte del tutto e a lungo privati di un tentativo di approfondimento storiografico, come una grande parte dei progettisti italiani degli anni del *boom*, tra cui, per fare un esempio siciliano, l'ingegnere messinese Giuseppe Arici (Arici et al., 2008), anche vincitore della medaglia d'oro all'Expo di Brussels per l'invenzione della calcolatrice per il dimensionamento strutturale "Arici55".

Il sistema residenziale del condominio

L'iter professionale di ogni ingegnere e architetto italiano formatosi durante il Ventennio è contraddistinto da un diretto coinvolgimento nella progettazione di edilizia residenziale in rapporto sia a una committenza pubblica e ai piani di *mass-housing*, sia a una committenza privata legata essenzialmente all'affermazione di una classe imprenditoriale medio-alta, spesso lontana dai colti salotti di intellettuali che la *Belle Époque* aveva prodotto.

È in questo periodo che ricche ville unifamiliari, bifamiliari e seconde case di villeggiatura hanno indistintamente conformato tutti punti naturalistici e topografici delle nostre città. La collina torinese, come quella napoletana, il litorale laziale o la strada verso Mondello sono state il laboratorio progettuale di un'intera generazione di professionisti che ha avuto l'occasione di approfondire e esprimere una propria interpretazione dei temi moderni dell'abitare nell'accurato disegno di architetture, di cui spesso, quando analizzate come un oggetto indipendente da politiche e previsioni territoriali, è stato riconosciuto il grande pregio progettuale, fino a diventare in alcuni casi vere e proprie icone della cultura italiana: si pensi, per usare un esempio

clamoroso, alla Villa Malaparte a Capri, addirittura del 1937. Parallelamente, l'altra faccia della committenza privata è quella che ha determinato fruttuosi sodalizi tra progettisti e gruppi imprenditoriali, spesso consorziati in imprese per unire il capitale e rafforzare gli investimenti immobiliari.

La tipologia edilizia diffusasi in questo caso non è più la villa, ma la palazzina multipiano (Ferracuti e Marcelloni, 1983; AA.VV., 1991; Irace, 1996; Caramellino et al., 2013; Caramellino et al., 2017; Ingrosso C., 2017), diventata, sebbene in adesione alle stesse linee programmatorie dell'edilizia privata, il risultato per antonomasia dello speculatore e del progettista "palazzinaro", primato poi ereditato dalle megastrutture autosufficienti disseminate in tutta Italia con la Legge 167 del 1962.

Nella diatriba tra la preservazione del centro storico e la necessità di alleggerirne la densità demografica, è dagli anni Cinquanta che, da nord a sud, abbiamo assistito al repentino sorgere di miriadi di complessi e parchi residenziali in ogni angolo inurbanizzato del territorio comunale, ideando spesso un paesaggio cittadino a suon di varianti urbanistiche e sotterfugi normativi, in un clima politico che arrancava a disciplinare un preciso quadro di strumenti urbanistici, sia normativi sia attuativi (Cafiero e Busca, 1970; De Seta, 1977; Bortolotti, 1978; Secchi, 1984; Campos Venuti e Oliva, 1993; Scoppo Iacopini, 2019).

Nel caso di Palermo, la sua attuale geografia urbana è stata direzionata da larghe arterie che corrono a nord, lungo il mare e verso Mondello. Segue l'espansione ottocentesca prevista dal piano risanamento redatto nel 1885 dall'ingegnere Felice Giarusso, con una direttrice che dal teatro Politeama arriva fino al parco della Favorita, corrispondente a quella che è poi diventata la via della Libertà. Una fitta maglia ortogonale di condomini ha rapidamente preso il posto di interi quartieri già storicamente stratificati con ville barocche o in stile liberty, che erano arricchite anche da rigogliosi giardini di agrumi e fichi d'india, e viali alberati.

La fertile vocazione agricola e produttiva della città è stata, così, quasi annullata in meno di dieci anni, quando, per dirla proprio con le parole di Fernandez: «i contadini sono diventati capitalisti» (Fernandez, 1993: 217) e hanno ceduto la propria terra agli speculatori. E nella distesa cementizia di nuova edificazione, visivamente omogenea e planimetricamente compatta, Giorgio Fernandez ha realizzato in vent'anni nove complessi residenziali, con altrettanti che sono rimasti solo su carta.

In linea con il suo modo di essere un ingegnere, lo studio preliminare di ognuno di essi conta disegni e disegni di analisi della zona del piano, fino al particolare in scala reale del minore degli elementi del progetto, di cui, come un artigiano, costruisce anche la strumentazione per realizzarli (Manzo, 2020: 89-169)[2]. Tutte le scale del progetto sono strettamente intrecciate per ottenere un sistema edilizio perfettamente funzionante sotto l'aspetto costruttivo, tecnologico e estetico.

Il suo metodo manierista, mai casuale, è ben rappresentato dalle piccole assonometrie al tratto, che diventano uno stampo per timbrare in alto a sinistra i documenti

esecutivi e ufficiali di ogni progetto. E il suo patrimonio archivistico è in grado di raccontare quelle che sono state le sue possibilità lavorative e le forti motivazioni alla base dell'esercizio della professione a Palermo, nonostante le lungaggini burocratiche, le difficili committenze e la collaborazione con le ditte in un radicato sistema culturale che può essere efficacemente indicato come di "intermediazione impropria" (Barucci, 2007)[3].

Sviluppo planimetrico e funzionale

In ogni città italiana, nelle fasce urbane pianificate tra gli anni Sessanta e la seconda metà degli anni Settanta, è probabile notare più e più condomini caratterizzati da una ricercatezza dei materiali di rivestimento, o delle soluzioni tipologiche, o ancora del sistema strutturale a vista. Un'analisi formale e trasversale dei singoli manufatti rende possibile tracciare degli approcci interpretativi comuni, riscontrabili in tutti i contesti cittadini, che partono dalla relazione tra l'elemento edilizio e la previsione del piano urbano, analizzando poi i tentativi di sperimentazione strutturale e linguistica, di cui diventano un manifesto il piano attico e soprattutto l'androne.

Le zone di espansione previste dal PRG palermitano del 1962 hanno portato alla negazione di qualsiasi tipo di slargo e piazza e, nella quasi totale assenza di rilevanti attività terziarie, i vicinati di nuova costruzione si sono sviluppati mantenendo una precisa e unica funzionalizzazione in senso verticale con un pianterreno a uso commerciale o ricettivo, una fascia intermedia che accoglie gli uffici e un blocco residenziale che culmina in un piano attico panoramico.

Dato che lo sviluppo del tipo edilizio è prescritto con il piano di lottizzazione comunale, che ne quantifica i volumi futuri secondo la definizione di parametri dimensionali e di indici di edificabilità, il primo passo mosso dal progettista di un condominio è lo studio delle caratteristiche del lotto dato in base all'ambiente antropico esistente o previsto: come articolare la spazialità interna per assicurare il migliore orientamento rispetto all'asse eliotermico? E come risolvere il prospetto su strada in relazione alle funzioni interne e agli aspetti del contesto cittadino?

In tutti e nove i progetti di condomini analizzati, Fernandez si è confrontato con un lotto angolare, quindi con un retro cieco e due facce aperte verso una diversa città. Il primo complesso residenziale che realizza nel 1962 è il "Palazzo Primavera", in Figura 1, tra via Marchese di Villabianca e via Duca della Verdura, contrapposto al Giardino Inglese. Esso rappresenta la sintesi del percorso professionale e personale di Fernandez, che ne è il progettista, il committente per conto di una società di investimento familiare e il residente, e che sceglie anche il piano attico per il suo stesso studio professionale, oggi adibito ad accogliere anche il suo archivio.

Un setto verticale pieno segna sul prospetto maggiore il vano scala. I fronti sono diseguali per lunghezza, ma entrambi composti con una fascia orizzontale in cui logge vetrate si alternano a frangisole scorrevoli per la regolazione del soleggiamento

Fig. 1 – Palermo: vista prospettica del Palazzo Primavera (1952-62) in un disegno a china, che evidenzia la soluzione angolare e l'articolazione dei prospetti in relazione all'orientamento spaziale del lotto (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, fascicolo 4).

nella zona giorno degli appartamenti. Diversamente, l'angolo tra via Amari e via Roma, che diventa l'acronimo per indicare il progetto, appunto "AR", è segnato da un elemento incernierato ad angolo che supera la linea di gronda, come mostrato in Figura 2. I due prospetti sono qui identici: privi di balconi o aggetti, sono ritmati da elementi di calcestruzzo prefabbricato e pomice e rivestiti in tessere di mosaico martellato, allora prodotto da una ditta milanese su disegno di Ponti. La volumetria compatta è studiata per contrastare le problematiche del lotto, immerso nel trafficato centro città.

Il progetto "2V", invece, s'innesta seguendo l'andamento convesso del monumento progettato nel 1910 da Ernesto Basile al centro di piazza Vittorio Veneto, che chiude l'asse di espansione già citata di via della Libertà. Il prospetto principale è prospiciente alla piazza e ne diventa una sorta di quinta architettonica che si configura con continuità nel contesto urbano preesistente, e che recupera l'andamento delle colonne dell'alta esedra sul lato nord con un sistema strutturale a vista, modellato da sottili elementi di alluminio anodizzato, in Figura 3, e quello del podio, riprendendone l'altezza con una fascia continua di parapetti, rivestita da sottili lastre dello stesso marmo martellato utilizzato per il monumento.

Fig. 2 – Palermo: Palazzo AR (1961-64) in una foto degli anni Sessanta (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, fascicolo 3).

Fig. 3 – Palermo: prospetto dell'edificio 2V (1965-69) in una foto del 1965 (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, album fotografico 4).

Espressionismo strutturale

Fernandez impronta i suoi progetti mediante uno schema compositivo planimetrico e altimetrico per calibrare globalmente sia il disegno costruttivo sia quello formale a partire dagli indici previsti dal piano. È l'impianto strutturale a fornire di volta in volta il margine di sperimentazione tecnica, tecnologica ed espressiva del progetto tutto e dei suoi singoli elementi.

Ad esempio, prendendo ancora il "Palazzo Primavera" a modello, l'intero progetto è regolato mediante un modulo di 1,64 m, come schematizzato in Figura 4, costante in pianta e in alzato, e con i suoi sottomultipli che tracciano gli spazi comuni e la pianta degli appartamenti. Grossi telai in calcestruzzo a vista compongono il sistema strutturale. Partono da una fascia basamentale arretrata e sono inglobati nel blocco residenziale soprastante, fino al piano attico dove disegnano una pensilina sagomata come la fascia a quota stradale. La suddivisione matematica di multipli e sottomultipli permette un iter di ideazione del progetto generale, scandito spesso anche in micro-progetti secondari, cui Fernandez lavora con collaboratori esterni o inconsuete figure professionali. Ne sono una testimonianza interessante le colonne in calcestruzzo armato che strutturano al pianterreno l'edificio "2V", realizzate con una sezione rastremata e un cappello a fungo, come risultato della lunga collaborazione tra Fernandez e un gruppo di ingegneri del Cantiere Navale del porto di Palermo e a seguito di numerosi tentativi di fabbricazione di particolari casseforme e miscele di cemento, poi mai commercializzate forse per i tempi di realizzazione.

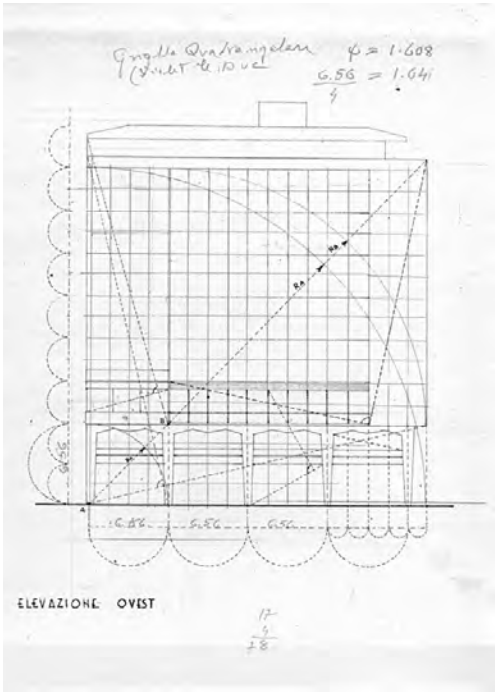


Fig. 4 – Palermo: schema compositivo del prospetto di Palazzo Primavera (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, fascicolo 55).

Il piano attico

L'elemento strutturale corre lungo la facciata fino al piano attico, sempre progettato per essere un volume residenziale differenziato dagli alloggi sottostanti. Accoglie solitamente l'appartamento di maggior pregio, quasi sempre acquisito dal

committente o dalla impresa coinvolta, o progettato con richieste specifiche per un committente che acquista l'immobile già in fase di cantiere.

Acquisisce un ruolo importante nel processo di rendita immobiliare, e richiede, pertanto, un impegno progettuale del disegno planimetrico finalizzato ad avere spazi più ampi e flessibili, in collegamento con la terrazza esterna e con il panorama che si apre sulla città.

Emblematico è il progetto del piano attico dell'edificio "AR.PE", come in Figura 5, che Fernandez realizza per l'impresa Catania, in parte anche committente dell'immobile, in cui lo sviluppo planimetrico e funzionale dello spazio costruito è studiato in stretta relazione con l'esposizione panoramica del lotto, direzionando lo sguardo verso il porto della città fino al monte Moarda.

In tutti i progetti esaminati, i complementi d'arredo, le partizioni interne e gli infissi sono interamente progettati su misura, con tendaggi e rivestimenti pregiati.

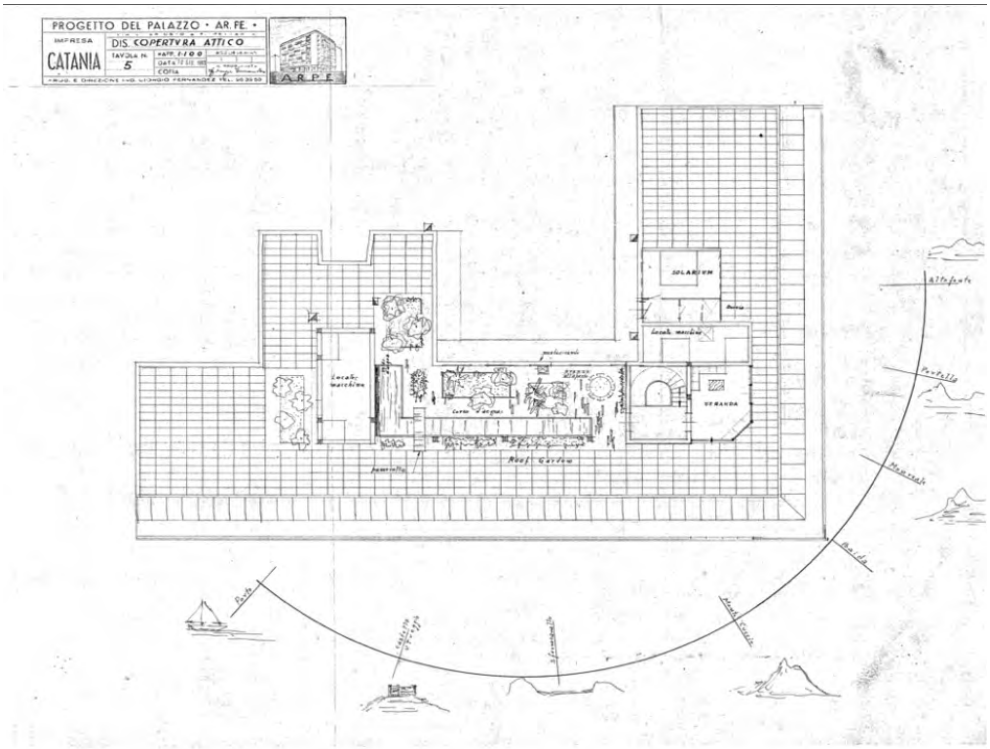


Fig. 5 – Palermo: Palazzo AR.PE. (1963-64), pianta della copertura a uso "roof garden" del piano attico con l'indicazione dei punti panoramici visibili (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, fascicolo 8).

L'androne e i collegamenti verticali

Anche la composizione degli spazi comuni può influire in positivo sul valore immobiliare dell'edificio, tanto che l'androne diventa solitamente il 'manifesto' del progetto di un condominio: anticipa dall'esterno le caratteristiche della spazialità interna e rivela l'immagine di chi ci vive, svolgendo anche un ruolo chiave in quanto ambiente di accoglienza e di connessione tra le diverse funzioni previste nell'immobile, e di scambio tra gli inquilini e con la portineria. Sono famose tante collaborazioni tra i progettisti e ceramisti o scultori per creare un'opera *site-specific*, corrispondente spesso anche all'intero progetto dell'androne. Per il micro-progetto dell'androne, Fernandez sperimenta sempre un andamento curvilineo finalizzato a incorporare la portineria, piccoli piani di appoggio, delle sedute e almeno un vano deposito, come ad esempio nel progetto "2V" in Figura 6. La scelta dei materiali e l'uso delle forme è ripreso anche nei collegamenti verticali, con delle soluzioni superficiali o decorative a parete, a pavimento o nella sezione della balaustra.

Caso diverso è il vano scala della residenza tra via Arimondi e via Di Marco (1972-77), che segna il prospetto principale con una parete continua in calcestruzzo a vista, puntellata da un susseguirsi di geometrie estruse e vuote, forse con un lontano rimando a Le Corbusier, in Figura 7.

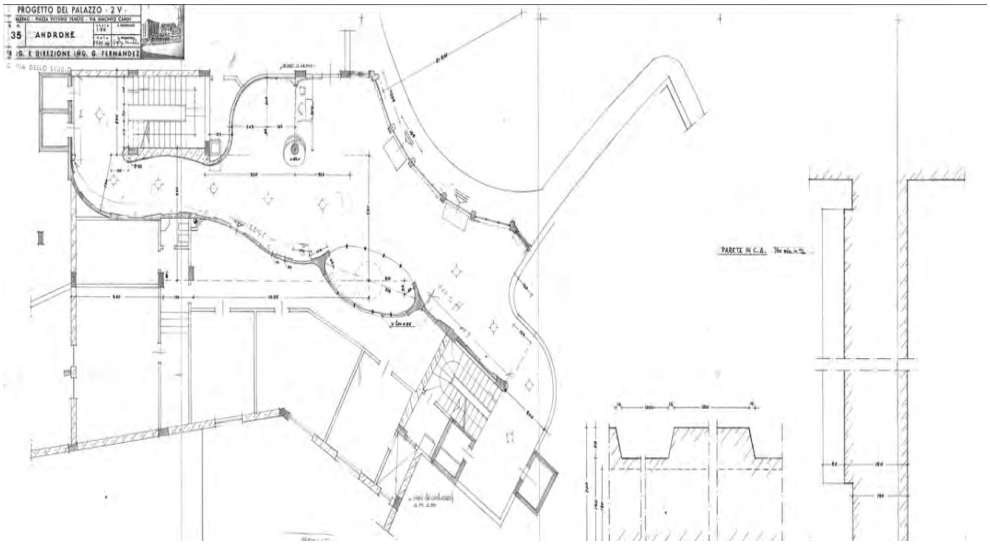


Fig. 6 – Palermo: Palazzo 2V, pianta dell'androne (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, fascicolo 5).

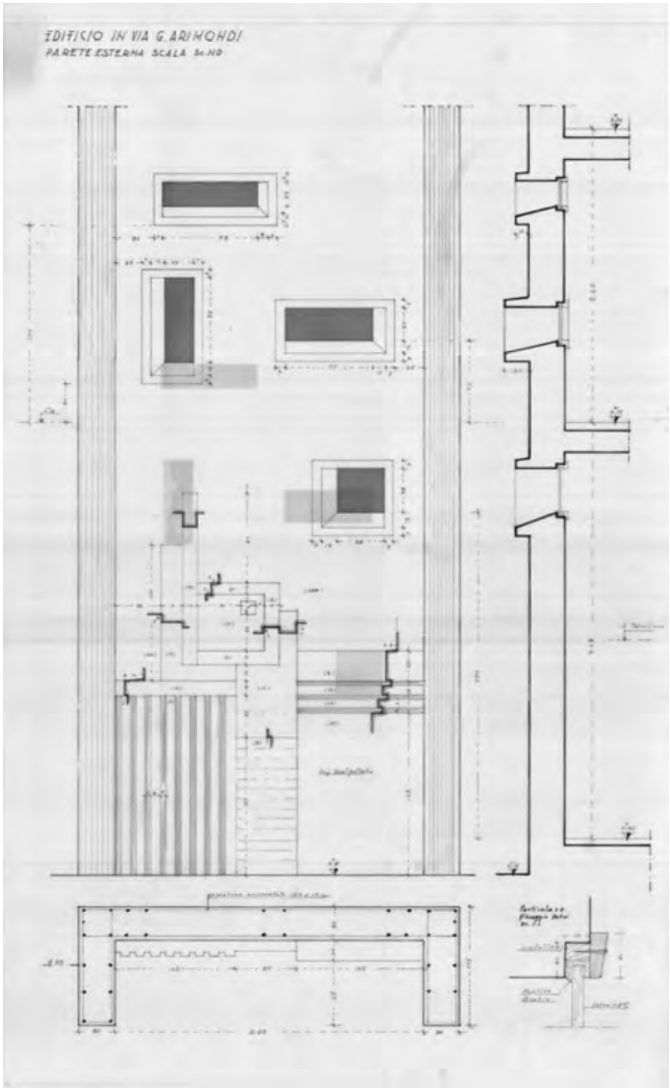


Fig. 7 – Palermo: Particolare del vano scala nell'edificio in Via Arimondi (1972-77) (Archivio Professionale Giorgio Fernandez, fascicolo 5).

Conclusioni

L'osservazione proposta con questo testo è articolata sul racconto del continuo relazionarsi tra la difficile storia recente di una delle città culturalmente più stratificate al mondo e quella professionale di un ingegnere, che vi partecipa con un ruolo attivo

e sempre consapevole. Chiudendo con quanto sottolineato brevemente nell'introduzione, il fenomeno politico su cui si tenta di innescare una riflessione grazie al contributo professionale di Giorgio Fernandez è stato assai diffuso ed è ancora per molti versi persistente, ma ha finito a lungo per etichettare in particolare quella del solo Meridione, dove le modalità sono state certamente più radicate e gli esiti sono più lampanti. Il patrimonio urbano ed edilizio che ne è derivato costituisce una dimensione urbana e culturale più che consistente delle nostre città, che richiede oggi nuove e necessarie forme di intervento, di restauro e anche di preservazione. È forse oggi necessaria una narrazione della vicenda edilizia del *boom* capace di superare le interpretazioni più consolidate, senza negarle, ma approfondendole?

Ringraziamenti
Vorrei ringraziare Federica Fernandez per la sua gentilezza e per la sua immensa disponibilità per la fruizione del prezioso patrimonio documentale dell'Archivio Fernandez. Ringrazio anche la professoressa Elena Manzo per avermi coinvolta nella grande scoperta della figura di Giorgio Fernandez in occasione del progetto editoriale monografico da lei curato e pubblicato nel 2020.

Bibliografia

AA.VV. 1991. *La palazzina romana*. Metamorfosi, 15 (numero monografico).
Arici, M., Arici, F. Siviero, E. 2008. Giuseppe Arici (1900-1980): figura eclettica nell'ingegneria del primo Novecento. In: *Atti del 2° Convegno di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino), II, 1351-1358. Napoli: Cuzzolin Editore.
Barbera G. 2012. *Conca d'oro*. Palermo: Sellerio Editore.
Barucci P. 2007. *Mezzogiorno e intermediazione impropria*. Napoli: La Scuola di Pitagora.
Bortolotti L. 1978. *Storia della politica edilizia in Italia. Proprietà, imprese edili e lavori pubblici dal primo dopoguerra ad oggi (1919-1970).* Roma: Editori Riuniti.
Cafiero S., Busca A. 1970. *Lo sviluppo metropolitano in Italia*. Roma: Giuffrè.
Calvino I. 1963. *La speculazione edilizia.* Torino: Einaudi.
Campos Venuti G., Oliva F. (a cura di). 1993. *Cinquant'anni di urbanistica in Italia 1942-1992*. Bari: Laterza.
Cancilia O. 2009. *Palermo*. Bari: Laterza.
Caramellino G., De Pieri F., Zanfi F. 2013. *Storie Di Case. Abitare l'Italia Del Boom*. Roma: Donzelli.
Caramellino G., De Pieri F., Renzoni C. 2017. *Esplorazioni nella città dei ceti medi.Torino 1945-1980*. Siracusa: LetteraVentidue.
Cronin V. 1954. *The Golden Honeycomb: a Sicilian Quest*. Londra: Hart Davis.
De Seta C. 1977. *Città, territorio e mezzogiorno in Italia*. Torino: Einaudi.
De Seta C. 1980. *Palermo*. Bari: Laterza.
Fernandez F. (a cura di). 2008. *Il restauro dell'edificio AR a Palermo. Dalla diagnostica all'intervento*. Roma: Lulu.
Fernandez G. 1985. *Libro Bianco - L'Italstat a Palermo*. Palermo: Ordine degli Ingegneri.

Fernandez G. 1993. *La memoria costruita*. Palermo: Pubblisicula Editore.
Ferracuti G., Marcelloni M. 1983. *La casa. Mercato e programmazione.* Torino: Einaudi.
Ingrosso C. 2017. *Condomini napoletani. La "città privata" tra ricostruzione e* boom *economico.* Siracusa: LetteraVentidue.
Irace F. 1996. *Milano Moderna*. Milano: Federico Motta.
Manzo E. (a cura di). 2020. *Giorgio Fernandez. Opere e progetti*. Palermo: 40due Edizioni.
OMA (a cura di). 2018. *Palermo Atlas*. Milano: Humboldt.
Scoppo Iacopini L. 2019. *La cassa per il Mezzogiorno e la politica: 1950-1986.* Bari: Laterza.
Scibilia Nu. 2013. *Nicolo Scibilia: una vita per le costruzioni, 1945-1999.* Bagheria: Amici di Plumenia.
Trombino G. 2002. *L'Urbanistica in Sicilia negli anni della ricostruzione*. Roma: Officina Edizioni.
Secchi B. 1984. *Il racconto urbanistico. La politica della casa e del territorio in Italia*. Torino: Einaudi.

Sitografia di riferimento

www.fernandezstudio.it
www.palermohub.opendatasicilia.it

Note

1. Cfr. Trombino (2000) e in particolare il capitolo I, *I provvedimenti legislativi per la ricostruzione post-bellica*, pp. 14-38.
2. In Manzo (2020), l'autrice del presente saggio ha curato l'atlante delle opere, arricchito da un apparato iconografico quasi del tutto inedito, cfr. pp. 89-169.
3. Barucci (2007) raccoglie la riflessione sulla questione meridionale, presentata in occasione della "Giornata del Mezzogiorno", tenutasi l'11 giugno 2007 presso il Palazzo Serra di Cassano, e proposta con cadenza annuale dall'Istituto Italiano per gli Studi Filosofici di Napoli.

Stefano Morosini, Fabrizio Trisoglio

Per una storia ambientale del Parco Nazionale dello Stelvio: il paesaggio idroelettrico

For an environmental history of the Stelvio National Park: the hydroelectric landscape

Sommario
Attraverso una innovativa metodologia di ricerca interdisciplinare e multidisciplinare la relazione analizza le trasformazioni avvenute nel paesaggio di alta montagna che caratterizza il Parco Nazionale dello Stelvio, focalizzandosi in particolare sulla produzione idroelettrica, sviluppatasi nell'area a partire dagli anni Venti del Novecento.

Abstract
Through an innovative interdisciplinary and multidisciplinary methodology, the paper analyzes the transformations that have taken place in the high mountain landscape that characterizes the *Stelvio* National Park, focusing in particular on hydroelectric production, which has developed in the area since the 1920s.

Per una storia ambientale del Parco Nazionale dello Stelvio
Il Parco Nazionale dello Stelvio fu istituito nel 1935 «allo scopo di tutelare e migliorare la flora, di incrementare la fauna e di conservare le speciali formazioni geologiche, nonché le bellezze del paesaggio e di promuovere lo sviluppo del turismo»[1] nel territorio comprendente il Gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale, al confine tra Lombardia, Trentino e Alto Adige/Südtirol. Quarto parco italiano in ordine di istituzione dopo quelli del Gran Paradiso, nel 1922, d'Abruzzo, nel 1923, e del Circeo, nel 1934, il Parco Nazionale dello Stelvio si caratterizza per una serie importante di peculiarità ambientali che sin dalle origini, oltre alle attività di tutela e valorizzazione, hanno permesso lo svolgimento di ricerche scientifiche in ambiti disciplinari differenti, dalla botanica alla biologia, dallo studio della fauna selvatica alla glaciologia, dalla meteorologia alle scienze forestali.

In continuità con questa prospettiva, il Parco in anni più recenti ha molto investito nelle attività di valorizzazione del suo patrimonio storico-culturale, proponendo e

sviluppando ricerche innovative nel campo delle *Environmental Humanities*. L'evoluzione del paesaggio storico nel corso degli anni, con le testimonianze legate ad attività di transito, pascolo, caccia ed estrazione di minerali risalenti alla preistoria, le trasformazioni avvenute nella transizione da un'economia agro-silvo-pastorale a un'economia vocata principalmente al turismo estivo ed invernale; le importanti testimonianze del primo conflitto mondiale, con manufatti, trincee, postazioni di artiglieria e strade militari; l'avvento dell'industria idroelettrica iniziato in Alta Valtellina negli anni Venti del Novecento, e quindi la costruzione di bacini artificiali, dighe, condotte forzate e centrali, sono temi di grande interesse e occasione di sviluppare la prospettiva di un'analisi diacronica delle trasformazioni avvenute nel paesaggio. Adottare una prospettiva storica e ambientale significa quindi svolgere una serie di ricerche che permettano di approfondire le fonti documentarie facendo interagire dati, date, riferimenti e informazioni derivanti da indagini multidisciplinari in campo botanico, chimico, palinologico, paleoecologico, genetico, geomorfologico, faunistico, ingegneristico e architettonico, sostenendo e documentando in maniera integrata le informazioni storiche.

In una prospettiva di questo tipo l'accesso alle fonti documentarie conservate nell'archivio storico del Parco Nazionale dello Stelvio (recentemente riordinato e inventariato), negli Archivi Storici di Fondazione AEM - Gruppo A2A, nell'archivio storico del Politecnico di Milano, negli archivi comunali del territorio (Bormio, Livigno, Valdidentro, Valdisotto, Valfurva) e in quelli di rilievo nazionale (Archivio Centrale dello Stato, Archivio Storico Stato Maggiore Esercito, Archivio storico del Genio militare) rende possibile una lettura incrociata delle trasformazioni intercorse nel paesaggio e un supporto alle ricerche multidisciplinari svolte in ambiente, considerato quindi in questa chiave un vero e proprio archivio naturale.

Gli albori dello sfruttamento idroelettrico in Valtellina

Le procedure di acquisto delle concessioni d'acqua e la progettazione di un impianto idroelettrico a Grosotto, in Alta Valtellina, furono avviate nel 1906 nella prospettiva di realizzare un collegamento alla città di Milano mediante una linea ad alta tensione, 65 kV, dello sviluppo di 150 chilometri che avrebbe superato il Passo del Mortirolo e avrebbe raggiunto il capoluogo lombardo dalla Val Camonica e quindi dalla Val Cavallina. Il Comune di Milano commissionò la progettazione e la realizzazione dell'impianto a tre ingegneri docenti del Politecnico, il futuro rettore del fascismo Gaudenzio Fantoli per lo studio della derivazione, Giacinto Motta per la parte elettromeccanica e Carlo Mina per le opere idrauliche ed edilizie. Le acque, derivate dal corso del fiume Adda in località Le Prese, erano convogliate verso Grosotto tramite un canale in galleria dallo sviluppo complessivo di 12 km posto 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 alle tre vasche di carico, da cui partono

tuttora le tre condotte forzate dirette alla centrale (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: per legge la delibera andava ratificata da un referendum popolare, che si svolse il 10 aprile 1910 ed 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).

Ben presto si pose la questione di un primo massiccio ampliamento dei piani di sviluppo che portò nel 1913 al progetto di sfruttamento integrale delle risorse idrauliche dell'Adda tra la sorgente e Tirano e alla costruzione di un serbatoio della capacità di 10 milioni di metri cubi in Val di Fraele, atto a garantire un funzionamento continuo della centrale di Grosotto a integrazione delle magre invernali del fiume. Una successiva domanda, presentata nel 1915, prevedeva la realizzazione di una centrale in località Isolaccia, nel comune di Valdidentro, che sfruttasse il salto dal serbatoio di Fraele, nonché una seconda derivazione dalla Val Viola. Il progetto rimase però in sospeso per lo scoppio della prima guerra mondiale, trovandosi il cantiere in prossimità del fronte di guerra (Toso, 2015).

Durante il primo conflitto mondiale AEM si trovò impegnata ad assicurare la salvaguardia degli impianti in Valtellina che garantivano un costante approvvigionamento energetico al sistema produttivo della città di Milano, fortemente impegnato a supporto dello sforzo bellico (Trisoglio, 2016); dall'altro lato si imponeva la necessità di aumentare l'apporto energetico, per cui fu *in primis* progettata e realizzata nel 1917 la piccola centrale della Boscaccia Nuova, 2 MW, a monte di Grosio.

L'espansione idroelettrica tra le due guerre

A partire dal marzo del 1918 AEM riprese i progetti di nuove e imponenti 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 idriche, da utilizzarsi per i propri impianti elettrometallurgici, inizialmente considerato dal Genio Civile di Sondrio migliore di quello presentato da AEM (Bolchini, 1999). Il progettista Angelo Omodeo, laureato al Politecnico di Milano e consulente della Terni, prevedeva 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, per alimentare la centrale principale situata a Premadio. AEM approntò quindi una nuova domanda, approvata dal Genio nel giugno 1920, che prevedeva il raddoppio della capacità del serbatoio di Fraele e lo sfruttamento di diversi corsi

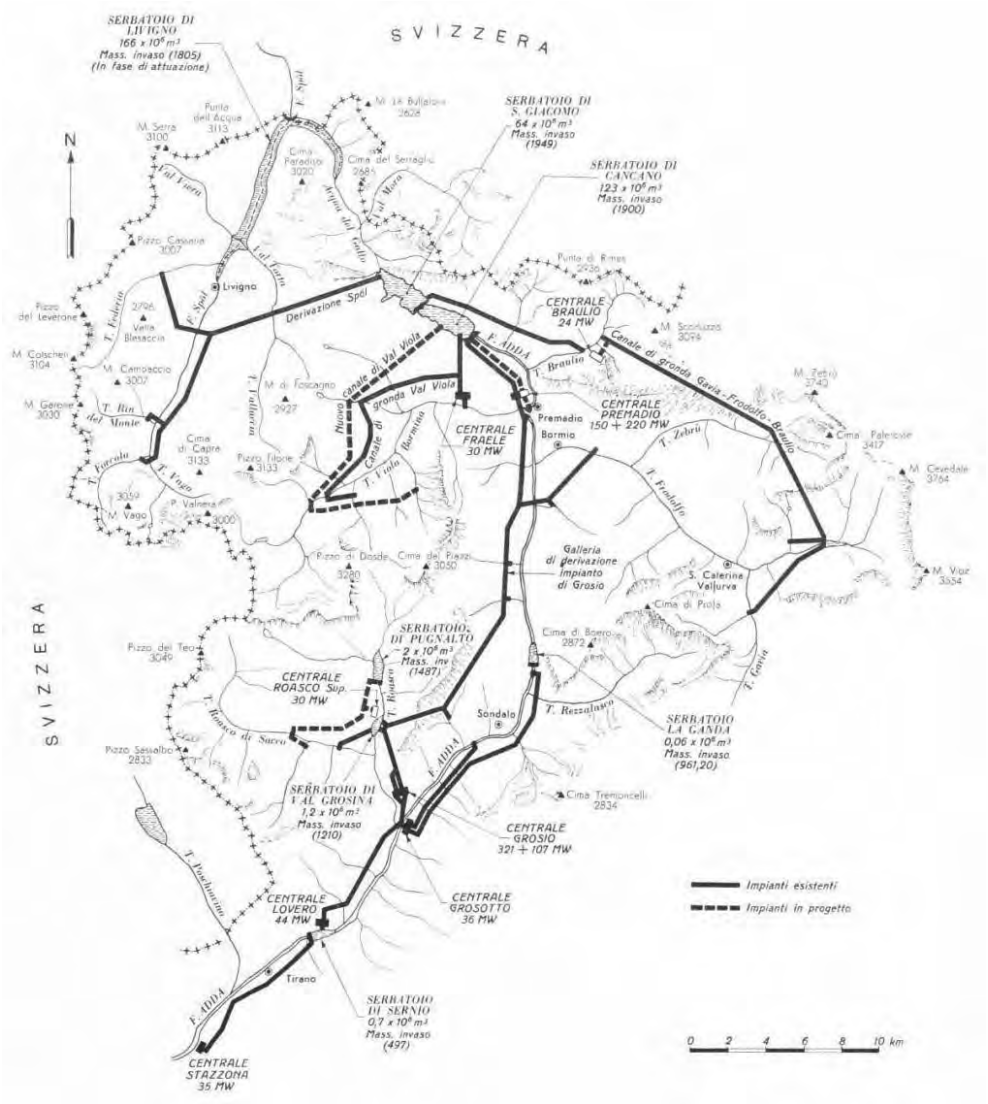


Fig. 1 – Planimetria degli impianti AEM in Alta Valtellina all'inizio degli anni Sessanta (Archivi Storici AEM).

d'acqua provenienti dalle valli laterali, nonché la realizzazione di cinque impianti in serie, per utilizzare il salto complessivo dalla sorgente fino a Tirano, come mostrato in Figura 1.

Per seguire i cantieri, AEM istituì la Direzione Lavori Impianti Idroelettrici, a capo della quale fu nominato Silvio Apostoli, già progettista e direttore dei lavori per

la costruzione della linea elettrica Grosotto-Milano e successivamente incaricato, assieme all'ingegner Carlo Leidi, laureato al Politecnico di Milano e impegnato presso la 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 del torrente Roasco in località Fusino, primo esempio in Italia, e una centrale idroelettrica in grado di sviluppare 20 MW di potenza. Realizzata per la parte architettonica dall'architetto Piero Portaluppi, 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 mila metri cubi su un salto di circa 500 metri.

Nel 1922 cominciò la costruzione del grande impianto di Fraele, con tre distinte 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 sulle montagne bergamasche la tragedia del Gleno[4]: in conseguenze delle gravi carenze costruttive che portarono al crollo della diga, per la diga di Fraele fu adottata una variante di progetto che prevedeva la soluzione ad arco a gravità singolo, invece del precedente impianto costruttivo ad archi multipli; questa variante fu 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 cubi, e avviata la nuova centrale di Fraele a Isolaccia, progettata per la parte architettonica in stile tardo eclettico dall'architetto bergamasco Giulio Paleni.

In questi anni emerge bene una continuità dei lavori tra l'ultimazione dell'impianto del Roasco, 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 (Minesso, 2013), del commissario straordinario Carlo Cicogna Mozzoni, e successivamente di Albino Pasini, docente al Politecnico e presidente di AEM dal 1928 al 1943. In Figura 2 è riportata una mappa con i laghi di Cancano, di San Giacomo di Fraele e di Livigno.

I progetti degli anni Trenta

Completate tra il 1929 e il 1932 le derivazioni con il bacino di Cancano, 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 metri avrebbe assicurato un nuovo incremento di produzione. Le difficoltà dovute al contesto economico e industriale di quegli anni fecero volgere l'attenzione dell'impresa al miglioramento degli impianti esistenti, rallentando di molto la costruzione dell'impianto, inaugurato

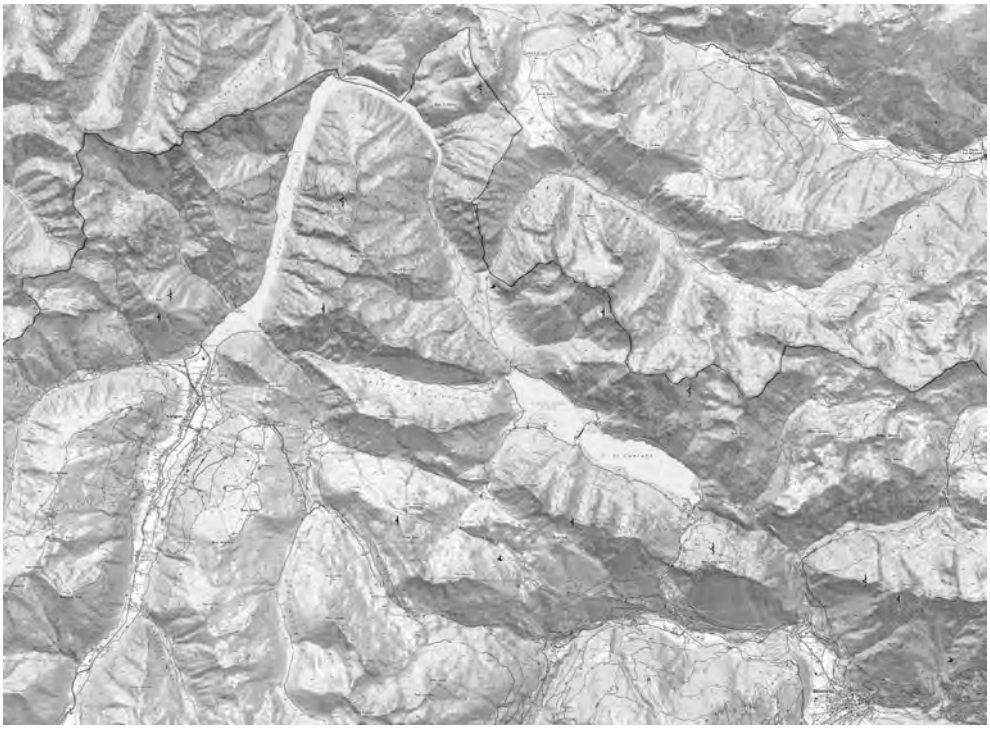


Fig. 2 – I laghi di Cancano, di San Giacomo di Fraele e di Livigno (Parco Nazionale dello Stelvio).

solo nel 1938. 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 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 distribuirla uniformemente su tutto il territorio comunale (Morosini et al., 2010).

Nel 1940, con l'affidamento della direzione dei lavori all'ingegnere laureato al Politecnico di Milano Andrea Roverselli, si diede avvio alla costruzione di un altro grande bacino in Val di Fraele, a monte dell'invaso di Cancano, dove con la diga di San Giacomo, alta 83 m e della lunghezza di ben 960 m, si mise in opera la realizzazione di un serbatoio di 64 milioni di metri cubi. 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, subirono continui rallentamenti e furono conclusi solo nel dopoguerra, fornendo durante la Resistenza appoggio logistico alla lotta partigiana. La diga di Fraele fu collaudata nel 1953 e l'atto di collaudo è in Figura 3.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI

QUARTA SEZIONE

DIGA DI SAN GIACOMO DI FRAELE

SUL FIUME ADDA (SONDRIO)

(Azienda Elettrica Municipale di Milano)

ATTI DI COLLAUDO

Relazione, Verbale di visita e Certificato

Roma, 16 febbraio 1953.

Fig. 3 – Atto di collaudo della Diga di San Giacomo di Fraele, 1953 (Archivio storico fotografico AEM).

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, nel dopoguerra si inaugurò un nuovo progetto per l'utilizzo integrale delle risorse idriche dell'Alta Valtellina, rendendo in parte obsoleti i precedenti impianti.

Nel 1950 fu avviata in Val Fraele la centrale provvisoria di San Giacomo, destinata a utilizzare il dislivello fra il serbatoio di San Giacomo e quello di Cancano. Nel 1951 per volontà del nuovo presidente Roberto Tremelloni, già ministro dell'Industria e del Commercio (1947-1948) nel Governo De Gasperi e all'epoca docente al Politecnico di Milano (Ciuffetti, 2017), 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. In Figura 4 è mostrata una panoramica del cantiere della centrale di Premadio.

Fig. 4 - Centrale di Premadio: panoramica del cantiere vista da valle, 1952 (Archivio storico fotografico AEM).

La prima fase di sviluppo

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 determinò la dismissione dell'obsoleta centrale a carbone di piazza Trento e obbligò AEM ad aderire assieme a Edison, Falck e Agip al consorzio STEI-Società Termoelettrica Italiana per la costruzione a Tavazzano di una centrale termoelettrica a metano. La nuova diga di Cancano II ad arco a gravità[5], ultimata nel 1956 con progettazione realizzata dagli ingegneri Felice Contessini e Guido Oberti, entrambi docenti al Politecnico di Milano rispettivamente di Costruzioni idrauliche e Scienza delle costruzioni, fu caratterizzata da 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: 87-118). L'importanza di questa ardita realizzazione, alta 136 m, sta anche nella notevole ampiezza del raggio di curvatura e nella vastità del suo bacino che ampliò di molto la capacità del precedente invaso di Cancano I, destinato a 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 laureato al Politecnico di Milano Eugenio Barioli, lo sfruttamento delle acque della vicina Valfurva venne esteso con apposite derivazioni con i torrenti Zebrù, Frodolfo e Gavia, ricchi di apporti glaciali, andando a costituire un bacino di 240 milioni di metri cubi e alimentando, con un salto di 672 m, la nuova centrale in caverna di Premadio, progettata per la parte architettonica da Mario Salvadè, architetto laureato al Politecnico di Milano nel 1939, e capace di una potenza di 150 MW (Trisoglio, 2015). Contemporaneamente la precedente centrale idroelettrica di Fraele venne parzialmente sottesa a quella di Premadio.

La seconda fase di sviluppo

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 metri e, in secondo luogo, il 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 metri, che permise di creare un 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

laureato al Politecnico di Milano Ladislao Kovacs (Menini, 2013). Come nel caso di Premadio, anche la storica centrale del Roasco venne sottesa a quella di Grosio, che diventò la centrale pilota del nuovo intero sistema idroelettrico AEM.

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.

La terza fase di sviluppo

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 nel 1963 con l'incremento idrico concesso dalle derivazioni dello Spöl.

A completare l'ottimizzazione e lo sfruttamento integrale delle risorse idriche dell'Alta Valle, 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. A garanzia di un'equa ripartizione dell'utilizzazione idrica, nel 1957 fu siglato dopo laboriose trattative un pionieristico accordo internazionale tra Italia e Svizzera (Trisoglio, 2015). Con questa convenzione, il Governo svizzero dava il consenso a che il Governo italiano approvasse la concessione di derivare dal suo 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 della relativa concessione svizzera, l'acqua residua dei torrenti mediante la creazione di un bacino di accumulazione nella valle di Livigno. In Figura 5 è mostrato il complesso medievale della chiesa e dello xenodochio di San Giacomo di Fraele prima del suo completo allagamento.

Fig. 5 – Complesso medievale della chiesa e dello xenodochio di San Giacomo di Fraele prima del suo completo allagamento, 1950 (Archivi Storici AEM).

Conclusioni

La legge quadro 394 del 1991, che norma l'attività delle aree protette italiane, indica nel suo primo articolo una serie di principi fondamentali tesi a garantire la conservazione e la valorizzazione del patrimonio naturale italiano, tra i quali la finalità di realizzare "un'integrazione tra uomo e ambiente naturale, anche mediante la salvaguardia dei valori antropologici, archeologici, storici e architettonici e delle attività agro-silvo-pastorali e tradizionali(e di proporre pratiche di "educazione, di formazione e di ricerca scientifica, anche interdisciplinare", che ben rientrano nei temi e nei contenuti proposti da questo contributo. L'estensione dei lavori necessari per la costruzione degli impianti rese inoltre evidente l'impatto notevole che l'idroelettrico ebbe sul paesaggio alpino, impatto a cui 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 della salvaguardia del paesaggio in Italia, quali il Club Alpino Italiano e il Touring Club Italiano, 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 e paesaggistico servirono sia a garantire un approvvigionamento da fonte rinnovabile, sia alla fondamentale regolazione degli imprevedibili regimi torrentizi delle regioni montane. Il Club Alpino Italiano promosse molto presto anche il dibattito su problematiche ambientali dell'area alpina quale il disboscamento. Il Touring Club Italiano appoggiava le iniziative volte da un lato alla tutela delle bellezze paesistiche, dall'altro alla loro accessibilità, incoraggiando lo sviluppo dell'infrastruttura turistica, e si era fatta portavoce della tutela del paesaggio anche in campo istituzionale, considerando l'incoraggiamento dello sviluppo idroelettrico un'azione strategica per lo sviluppo economico e industriale del Paese e per il riassetto idrogeologico del territorio (Toso, 2015).

L'estensione del territorio del Parco Nazionale dello Stelvio alle valli di Cancano, S. Giacomo di Fraele e Livigno avvenne nel 1977 in conseguenza di un decreto di ampliamento[6] che aumentò la superficie dell'area protetta da 95.000 a circa 134.000 ettari e che rese possibile il diretto collegamento con il Parco Nazionale Svizzero, in Engadina (Pedrotti, 2005). Tale estensione ha quindi riguardato un'ampia parte dei bacini artificiali, delle derivazioni e degli impianti idroelettrici che sono stati descritti in questo articolo e rappresenta oggi una sfida intellettuale di grande interesse e attualità in rapporto alla dialettica tra tutela e sviluppo sostenibile.

Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto anche nell'ambito del progetto "Storia di Ateneo" coordinato dal Prof. Andrea Silvestri, che gli Autori ringraziano per la costante attenzione, per la premura e per l'impegno culturale e scientifico condotto per molti anni con esemplare rigore e qualità.

Fonti

Archivio Centrale dello Stato, Roma
Archivi Storici AEM: Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano.
Archivio storico fotografico AEM: Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano.

Bibliografia

Bolchini P. (a cura di). 1999. *Storia delle aziende elettriche municipali*. Roma-Bari: Laterza.
Castellano A. 1984. Le dighe di ritenuta in Valtellina nella prima metà del XX secolo. In: *Costruire in Lombardia 1880-1980. Rete e infrastrutture territoriali*. 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.
Minesso M. 2013. *Giuseppe Belluzzo. Tecnico e politico nella storia d'Italia 1876-1952*. Milano: Franco Angeli.
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.
Pedrotti F. 2005. *Notizie storiche sul Parco Nazionale dello Stelvio*. Trento: Temi.
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. (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.

Note

1. Legge istitutiva del Parco, 24 aprile 1935, n. 740. Archivio Centrale dello Stato (Roma), Raccolta ufficiale delle leggi e dei decreti, scatola 737.
2. Lungo l'intera lunghezza del canale erano predisposti manufatti per piccole derivazioni d'acqua a uso agricolo, in virtù di accordi stabiliti con i proprietari dei terreni attraversati e con i rispettivi comuni.
3. Regio D. L. 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 (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 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 posa fino all'ottobre del 1956.
6. D.P.R. 23 aprile 1977 - Ampliamento del Parco nazionale dello Stelvio (G.U. 16 settembre 1977, n. 253).

Alessandro Campolongo, Valentina Guagliardi

Edilizia del Novecento: le "case popolarissime" a Cosenza

20th-century building heritage: the "case popolarissime" in Cosenza

Abstract
Un imponente programma di edilizia residenziale, predisposto nel 1936, dà avvio nel nostro paese alla costruzione delle "case popolarissime". Importante espressione della volontà pubblica di affrontare l'emergenza delle abitazioni popolari, l'iniziativa trova sviluppo nel difficile periodo segnato dal conflitto mondiale, fino ai primi anni della ricostruzione del paese. Differentemente dalla precedente produzione edilizia pubblica, le "case popolarissime" trovano il loro riferimento progettuale e tecnico-costruttivo in un articolato repertorio di norme, prodotto dal consorzio nazionale degli istituti delle case popolari, opportunamente istituito. Il Testo Unico del 1938, recante le "Disposizioni sull'edilizia popolare ed economica", completa l'assetto organizzativo-gestionale del settore, aggiornando la normativa procedurale e occupandosi del riordino della precedente produzione legislativa. Cosenza, scelta come campo d'indagine, bene si presta nel suo impianto urbano moderno a rappresentare una condizione propria della provincia italiana, che vive negli anni '30 una fase evolutiva importante della cultura progettuale-architettonica e produttiva in campo edilizio. Un periodo nel quale l'edilizia pubblica residenziale si appresta ad affrontare, per un verso, i nuovi argomenti tipologici dell'abitazione posti dall'affermazione della dottrina razionalista, e per altro verso i problemi di tipo insediativo e di ricerca di nuovi rapporti tra costruzione dell'edilizia, impianto urbano e crescita della città.

Abstract
A massive public housing program, launched in 1936, initiated the construction of a new type of public-housing in Italy ("case popolarissime"). This public initiative, aimed at facing public housing emergency, developed during the very hard world war period, up to the early post-war reconstruction. Differently from the earlier public housing production, planning, technical and construction principles of "case popolarissime" were included in a wide range of regulations issued by the ad-hoc National

consortium of Public Housing Institutes. The 1938 Consolidated law containing "Regulation on public and low-cost housing" completed the organization and management guidelines in the field, updating the procedural regulations and re-organizing the existing rules. Cosenza was selected as a field of investigation because its modern urban structure well represents the typical condition of the Italian provincial areas that, in 1930s, were involved in an important development of the planning, architectural and productive culture in the building field. In that period, public housing had to face, on the one hand, new typological housing criteria due to the establishment of Rationalism and, on the other hand, settlement problems and the research of new connections linking building construction, urban structure and town growth.

Introduzione

È il Testo Unico del 1919, contenuto nel Regio Decreto Legge 30 novembre 1919 n. 2.318, lo strumento normativo con il quale viene affrontato nel nostro paese, nel primo dopoguerra del Novecento, il problema della casa popolare, compensando una limitata produzione legislativo-normativa, singolare nel contesto europeo, che si protrae dai primi anni del secolo; risale infatti al 1903 il primo disegno di legge in materia, dovuto a Luigi Luzzatti.

La legge 31 maggio 1903 n. 254, nota come legge Luzzatti, è il provvedimento che guida alla fondazione degli Istituti delle Case Popolari, intesi quali "corpi morali legalmente riconosciuti", aventi come fine esclusivo "di compiere operazioni per le case popolari" (Di Sivo, 1982); è l'intervento che programma le agevolazioni economico-finanziarie a favore dell'edilizia privata e popolare, perseguendo una logica per la quale l'edilizia pubblica residenziale è considerata come espressione di attività di beneficienza e di pubblica assistenza, cui sono preposti gli enti morali, le cooperative e gli istituti di beneficienza, oltre ai Comuni che, a quel tempo, cedono gratuitamente le aree di edificazione.

Una logica legislativo-organizzativa che rimane immutata nel successivo Testo Unico del 1908 annesso al Regio Decreto 27 febbraio 1908, n. 89, e che precisa le tre categorie di provvedimenti su cui è incentrata l'azione dello Stato: facilitazione del credito; agevolazioni fiscali; norme a carattere squisitamente procedurale per la costruzione, la vendita, la successione, l'espropriazione e l'igiene della casa; mentre vengono indicati precisamente gli enti ritenuti idonei a intraprendere questo tipo di iniziative edilizie, che nella loro attività devono sottostare a specifiche condizioni.

Dunque né il Regolamento esecutivo della legge Luzzatti (RD 24 aprile 1904, n. 164), né il successivo Testo Unico nel suo Regolamento in esecuzione (contenuto nel RD 12/80 1908, n. 258) si occupano dei caratteri tipologico-costruttivi delle case; l'attenzione del legislatore è rivolta piuttosto al loro valore immobiliare, locativo in particolare, misurato in relazione all'ampiezza demografica del comune di apparte-

nenza. Così com’è del tutto assente una distinzione terminologica tra case popolari, abitazioni collettive di tipo popolare, case economiche, per i cui caratteri si rimanda sempre ai “Regolamenti comunali d’igiene e di edilizia”, o in mancanza alla cosiddetta legge sanitaria (in particolare all’art. 69 della Legge 1 agosto 1907, n. 636).

Le cose non cambiano con la promulgazione del Testo Unico del 1919, preceduta nello stesso anno da un provvedimento legislativo – il Decreto Luogotenenziale 15 giugno 1919, n. 1.857 – che arricchisce le precedenti norme anzitutto precisando la distinzione tra le case definite “popolari”, quelle che rimangono di proprietà indivisa e inalienabile degli enti autorizzati dalla legge a contrarre mutui per la loro costruzione; e le case “economiche”, costruite dalle cooperative per essere assegnate in locazione o in proprietà ai loro soci (Di Sivo, 1982). La scelta tipologica degli edifici, in mancanza di precisazioni specifiche nelle norme di attuazione, viene di fatto ancora demandata, come nelle consolidate tradizioni progettuali del passato, alla copiosa produzione dei manuali di costruzione, che alimenta la cultura tecnico-costruttiva del tempo.

Eppure le riflessioni, le valutazioni, le speculazioni sulla “funzione abitativa” che animano la società d’inizio secolo trovano sviluppi così ampi, nei loro contenuti, da travalicare i tradizionali “confini costruttivi” della casa, alimentandosi attraverso argomenti come la “questione igienica” e la “questione morale”, in un ampio quadro di posizioni ideologico-politiche, sociali, culturali, nel quale “la casa e il suo spazio abitativo” è fatta oggetto di spiccato interesse per l’affermazione di nuovi valori etici nella vita della comunità. Principi che trovano la loro esplicitazione proprio nella connotazione tipologica degli edifici, ovvero nei loro caratteri architettonici e costruttivi, che diventano, vieppiù nel tempo, gli elementi costitutivi di un’edilizia del tutto nuova, espressione di quella complessità che si configura come il carattere emergente nella vita produttiva, e non solo produttiva, del nuovo secolo.

Le nuove case popolari

«La casa popolare – scrive Giuseppe Samonà in un saggio del 1935 – è organismo moderno, perché è di oggi il bisogno di organizzare il popolo in edifici appropriati, che lo traggano dalle oscure e malsane abitazioni, dove da secoli lontanissimi ha vissuto, per dargli un minimo di benessere corrispondente alle esigenze etiche del nostro tempo» (Manieri Elia, 1977). Un bisogno sociale imprescindibile, alimentato dai primi decenni del secolo nuovo dalla crescente densità della popolazione urbana, conseguente all’inarrestabile fenomeno dell’urbanesimo, e, dopo la guerra, alla crescita delle nascite e delle famiglie, alla scarsezza del lavoro agricolo, alla nuova domanda di manodopera determinata dalla ripresa industriale e commerciale nelle città, che mette in crisi, o soppianta del tutto, l’attività artigianale-industriale della provincia. Una condizione che maggiormente si aggrava con la demolizione delle abitazioni malsane e lo sventramento dei vecchi quartieri voluto dalle leggi per il risanamento urbano (Manieri Elia, 1977).

Il fermento politico-culturale determinato dalla consapevolezza della gravità del problema investe nel dopoguerra i paesi di tutta l'Europa, che affrontano la situazione non soltanto con incessanti interventi a carattere finanziario, ma anche con approfonditi studi a carattere sociologico, urbanistico, giuridico, economico per arrivare a redigere strumenti legislativo-normativi portatori di idee radicalmente nuove e capaci di avviare e guidare incisivi provvedimenti per operare concretamente alle varie scale d'intervento. E il Movimento Moderno, nel corso degli anni '20-'30, trova proprio nell'edilizia residenziale popolare il campo di maggiore sviluppo, sul piano ideologico-progettuale, come sul piano organizzativo del processo edilizio e dell'innovazione tecnologica. Non altrettanto si può dire per il nostro paese, dove la casa popolare costituisce argomento di secondario interesse, prima ma anche dopo la diffusione dei valori innovativi dell'architettura moderna, che coinvolgerà solo una parte del mondo del progetto. Di fatto in Italia il tema della casa popolare, anche quando cresce la consapevolezza del ruolo che esso ricopre fuori dei confini nazionali, rimane schiacciato nella contrapposizione tra ricerca della modernità e passatismo novecentista di stampo neoclassico, ancora in auge, tra razionalismo e architettura monumentale di regime.

D'altra parte, al di là di ogni disputa ideologica sull'architettura ritenuta più giusta per l'Italia del tempo, non del tutto adeguati si rivelano i provvedimenti intrapresi se, a distanza di oltre dieci anni dalla promulgazione del Testo Unico del 1919, l'Istituto Centrale di Statistica rende note, nel 1931, le condizioni di sovraffollamento, per esempio, in cui vive l'80% della popolazione che abita gli alloggi di un solo vano, lì dove più di due persone dividono una sola stanza. Un sovraffollamento che più generalmente riguarda il 31,4% della popolazione nei comuni di oltre 100.000 abitanti, il 27,5% della popolazione nei comuni di 50-100.000 abitanti, il 42,4% della popolazione nei comuni di 20-50.000 abitanti. E non migliori risultano le condizioni igieniche delle case: di tutte le abitazioni censite il 21,6% sono senza cucina, il 43,3% sono senz'acqua potabile, il 29,5% senza latrina, il 42% senza luce elettrica. E su cento abitazioni soltanto nove hanno il bagno, soltanto cinque l'impianto di riscaldamento a termosifoni (Pagano, 1939; De Seta 1976).

Non sono ancora determinanti dunque, ai fini operativi, gli esiti dei "Provvedimenti per le nuove costruzioni" – indicati nel RDl 30 agosto 1925, n. 1.548 – e della pubblicazione, nel 1926, dell'opuscolo-guida dal titolo "Per la costruzione di case rapide ed economiche" – a cura dell'apposita Commissione nominata dal Ministero dell'Economia nazionale – recanti istruzioni su alcune qualità irrinunciabili dell'alloggio popolare: avere l'accesso direttamente dal pianerottolo delle scale; essere formato da non più di tre vani, oltre a cucina, ingresso e ripostiglio; essere fornito di latrina propria; essere provvisto di presa d'acqua nel suo interno (Di Sivo, 1982). Ed evidentemente scarse sono nel tempo le azioni svolte dagli enti preposti, Comuni compresi; fanno piuttosto eccezione gli Istituti delle case popolari (Manieri Elia, 1977) che, sorti numerosi nelle grandi città come nei piccoli capoluoghi, si

distinguono per le iniziative edilizie intraprese, in particolare per l’impegno profuso nel trasferire in esse quei nuovi principi di razionalità attraverso i quali ottenere il soddisfacimento dei bisogni più radicali e più diversi, nel rispetto della più stretta economia. Un’attività progettuale e organizzativa complessa nella quale, disponendo delle limitate risorse economiche e tecniche proprie di questa categoria di costruzioni, si opera mantenendo sempre vivo il confronto tra la componente sociale del progetto e la componente finanziaria nei suoi tanti risvolti. Un rapporto in evoluzione, quello tra le due componenti essenziali, sul piano socio-politico, tecnico-organizzativo e tecnologico-produttivo, da cui la casa popolare trae il suo carattere identitario, oggi come a quel tempo. Un tempo nel quale pesano, nel nostro paese, la mancanza di una consolidata tradizione nella pianificazione urbana e nella produzione dell’edilizia popolare, che finisce per porsi, quando si concretizza il tentativo di adozione dell’idea razionalista, come una delle espressioni più significative delle ambiguità dell’architettura prodotta in quegli anni, terreno di scontro tra fautori dell’innovazione e fautori della conservazione, ma anche di mediazione nella velleitaria ricerca di una possibile coesistenza-ambivalenza di modernità e tradizione.

Ma, nell’accogliere le nuove idee, gli Istituti delle case popolari devono fare i conti con una realtà politica dominata da una crescente «ideologia anti-urbana e ruralista», che trova sviluppo tra la fine degli anni ’20 e l’inizio degli anni ’30, fomentata dal dibattito sulle scelte di politica demografica (Villani, 2012). In contrapposizione allo spirito informatore che permea l’attività degli Istituti dalla legge Luzzatti al Testo Unico del 1919, mirata all’integrazione fisica e sociale delle fasce più deboli della popolazione all’interno della città, la nuova ideologia ruralista del regime promuove il disurbanamento, nell’intento «di riequilibrare la popolazione mediante la creazione di borgate, villaggi rurali e semi-rurali, quindi della correzione in tal senso delle politiche sulla casa» (Villani, 2012). Una campagna politico-ideologica che si spegne in pochi anni con risultati del tutto insoddisfacenti, che ha però le sue considerevoli ricadute sull’idea stessa di casa popolare, pensata in questa logica secondo modelli tipologici a carattere rurale o semi-rurale. Anzi, la casa rurale propriamente detta, fatta oggetto negli anni ’30 di un’inedita attenzione critica da parte degli stessi sostenitori del Movimento Moderno, come Giuseppe Pagano, viene presentata come il tipo edilizio che, nella semplicità dei suoi caratteri architettonici e costruttivi originali, esprime al meglio i valori dell’architettura moderna, tanto da poter essere assunta quale riferimento (Pagano, 1935; Pagano e Guarniero, 1936) anche per la sua capacità di rappresentare quello sforzo di sintesi tra innovazione e tradizione che connota costantemente l’approccio razionalista nella cultura progettuale architettonica italiana.

È nella logica di questa nuova impostazione progettuale che si ritiene necessario un diretto controllo sugli Istituti preposti alla realizzazione delle nuove case. Si costituisce così, sotto la direzione del Ministero dei lavori pubblici, il Consorzio nazionale fra gli Istituti fascisti autonomi delle case popolari – Legge 6 giugno 1935,

n. 1.129 – cui viene assegnato il compito di coordinamento e di controllo dei diversi Istituti, che diventano peraltro enti provinciali autonomi. È così che si vengono a creare le premesse per la nascita delle cosiddette "case popolarissime": nell'ottobre del 1937 il Consorzio pubblica, a cura dell'ingegnere Domenico De Simone, Presidente di Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici, il volumetto dal titolo: "Le case popolarissime. Norme e tipi per la costruzione delle nuove case popolari" (De Simone, 1937).

L'orientamento urbanistico è quello di realizzare comparti edilizi organicamente costituiti, dotati di quanto più immediatamente necessario alla vita familiare, localizzati in aree distanti dalla periferia urbana e che non confliggano con le linee di espansione della città. Alle case si vuole conferire, al di là dei tipi edilizi definiti, una "spiccata caratteristica di ruralità", dotandole di un piccolo appezzamento di terreno da coltivare. Case modeste nei loro particolari architettonici e costruttivi, si precisa, ma realizzate "secondo i più moderni criteri tecnici e igienici"; mentre si prescrive che l'azione degli Istituti non si esaurisca con la consegna della casa agli assegnatari, ma si protragga nel tempo per la necessaria assistenza, facendo sì che i terreni vengano effettivamente coltivati per trarne il maggior utile alle famiglie (De Simone, 1937).

Nella costruzione delle case, per le quali si prescrive un inedito e interessante repertorio di schemi tipologici, l'esclusione di tutti gli elementi più costosi, siano essi costruttivi o decorativi, costituisce la prima regola da osservare. E per i materiali e i procedimenti costruttivi si pone l'attenzione sull'impiego dei nuovi elementi tecnici e delle nuove lavorazioni, ritenute particolarmente adatte a questo tipo di edifici, come gli elementi costruttivi in cemento armato realizzati fuori opera, per esempio per la costruzione delle scale, che consentono notevole rapidità di esecuzione con conseguente abbassamento dei costi di costruzione. Un aspetto innovativo essenziale questo, manifestazione di una spinta davvero inedita, nel contesto della produzione italiana, verso un processo di revisione della tecnica edilizia in favore di un nuovo rapporto tra l'attività costruttiva e l'industria. Un approccio tecnico incoraggiato apertamente dai sostenitori dell'architettura moderna, intenti alla ricerca del giusto rapporto tra ideazione progettuale e attuazione del costruito attraverso più avanzate soluzioni tecnologiche, principalmente in relazione alla standardizzazione e normalizzazione degli elementi di fabbrica. Un atteggiamento progettuale con il quale una nuova generazione di progettisti si propone di rinunciare alla ricerca dell'eccezionalità della forma per immedesimarsi in scelte di responsabilità sociale, che portano l'architettura verso lo studio per l'ottimizzazione funzionale dello spazio abitativo visto come soluzione dei bisogni collettivi. «Queste disposizioni confortano l'opera degli architetti moderni e danno ragione della nostra azione (…). Il testo di queste disposizioni, la chiarezza logica di queste norme (…) dimostrano una volontà di stare al passo coi tempi e di affrontare in maniera totalitaria il tema 'architettura-urbanistica', iniziando la soluzione dal caso più umile e delicato» (Pagano, 1937).

Cosenza come campo d’indagine

Cosenza vive, alla fine degli anni ’30, gli esiti del suo sviluppo oltre i confini storici naturali tracciati dai fiumi Crati e Busento, governato dal Piano di ampliamento della città, approvato nel 1912, che di Cosenza Nuova definisce la forma e la formazione nell’ampia valle che si estende ai piedi dei colli sui quali s’inerpica l’antico impianto urbano. Ed è ai limiti del tracciato del piano, in continuità con le maglie regolari della lottizzazione delineata, che trova la sua sede, alla metà degli anni ’20, il primo insediamento a opera dell’Istituto per le case popolari; una ridente area, il Rione “Michele Bianchi”, nella quale e intorno alla quale trovano collocazione, negli anni successivi, i più importanti comparti di edilizia popolare ed economica della città: unitamente alle case realizzate dall’Istituto (nato come ente morale e diventato Istituto autonomo provinciale dopo la legge del ’35), le case dei ferrovieri e dei postelegrafici, le Case INCIS, Istituto nazionale per le case degli impiegati dello Stato, e, durante gli anni della guerra, l’ultimo nucleo delle case popolarissime (Campolongo, 2009).

Un’edilizia, quella del Rione “Michele Bianchi”, che si può definire di tipo borghese, propria delle scelte operate fino agli anni ’30 dagli Istituti per le case popolari di tutto il paese, caratterizzata dal suo inserirsi «cautamente e ordinatamente nel tessuto urbano», scrive Enrico Mandolesi, e da «un linguaggio architettonico del tutto analogo a quello dell’edilizia di lusso» (Cocchioni et al., 1984). Un’edilizia che trae il suo vigore da una concezione progettuale che, pur trovando ancora nell’eclettismo storicistico i suoi riferimenti formali, si alimenta e si esalta nell’esplicitazione dei caratteri costruttivi degli edifici e nello sviluppo dell’espressività dei materiali e degli elementi tecnici del costruito. Un’architettura, potremmo dire, di tradizione manualistica, espressione di quella “regola dell’arte” di cui i manuali di costruzione sono depositari dalla metà del Settecento, ponendosi come guida sistematica dei procedimenti costruttivi e, con i loro repertori tipologici, dell’organizzazione funzionale dello spazio abitativo, anche nell’edilizia popolare, dove, in mancanza di specifiche indicazioni tecniche, assumono in sostanza il ruolo di strumento normativo.

Del tutto inedito è dunque l’approccio organizzativo e progettuale delineato dal libretto-guida di De Simone per i complessi insediativi delle case popolarissime, che anche a Cosenza trovano collocazione, secondo lo spirito informatore del programma, in aree esterne al perimetro urbano e molto lontane non solo dal nucleo più antico della città, ma anche dai lembi più estremi dell’impianto urbano moderno. Gli interventi sanciscono a Cosenza la nascita di due nuovi rioni, in Figura 1: S. Vito di Panebianco nel 1938 e Torrealta nel 1939-40. Il libretto parla di “un grandioso programma” per la costruzione di nuove case popolari e per la nascita di nuovi quartieri a carattere semirurale, che devono trovare sviluppo in zone ridenti e ben esposte, meglio se collinari per una più efficace sistemazione del costruito lungo le curve di livello, come nel caso del rione S. Vito, con terreni non depressi, idro-geologicamente idonei e facilmente accessibili. Una scelta per la quale non vengono stabilite regole rigide, nell’intento

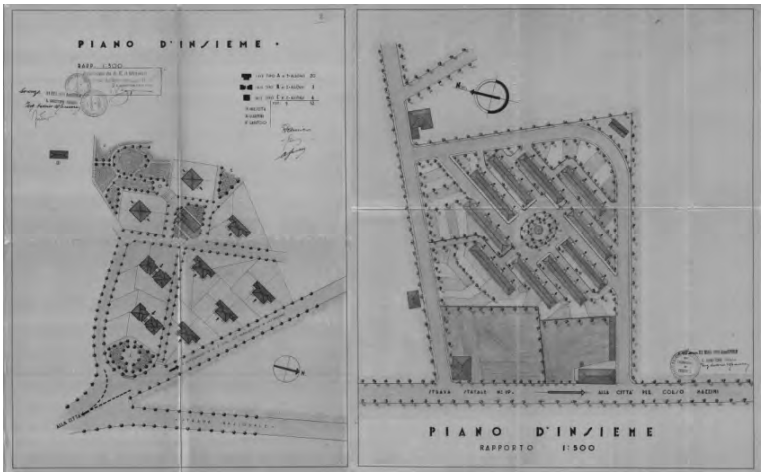


Fig. 1 – Case popolarissime nel Rione San Vito e nel Rione Torrealta: piano d'insieme (Archivio ATERP di Cosenza, 1938, 1939-'40).

di tenere conto di tanti fattori concorrenti, a cominciare dalle condizioni ambientali e dalle tradizioni locali. Si precisa piuttosto la necessità di scegliere zone facilmente dotabili di acqua e luce elettrica, e l'opportunità che il quartiere sia adeguatamente collegato alla città mediante linee sub-urbane di autobus o tramvie, o mediante ferrovia. Requisiti di cui godono i nuovi rioni cosentini, prossimi alla rete stradale secondo le modalità raccomandate, per i quali vengono rispettate le ben precisate norme relative alla scelta delle aree, alla formazione dei lotti da edificare, alla disposizione degli edifici e alla scelta dei loro caratteri tipologici, dunque alla più generale conformazione dei comparti edilizi, nell'intento di promuovere quella nuova impostazione progettuale concepita nella logica della ricercata unità tra costruito e territorio, tra architettura e urbanistica. Piuttosto, pur essendo all'origine chiara espressione della condizione di semi-ruralità prescritta per questi insediamenti, S. Vito e Torrealta verranno pienamente investiti, negli anni del dopoguerra, dall'imponente sviluppo di Cosenza Nuova, e completamente incorporati nel tessuto di espansione della città.

I tipi di residenza prescritti sono la "casa singola" e la "casa abbinata", presentate come la soluzione ideale agli effetti sociali, e le "case affiancate o a schiera" descritte nella loro duplice modalità aggregativa, oggi più efficacemente indicate come "casa in linea", quella plurifamiliare, e "casa a schiera", quella unifamiliare, considerate preferibili sul piano economico. Precise sono le indicazioni relative all'esposizione dei fabbricati: per le case singole camere da letto a levante, soggiorno-pranzo a mezzogiorno, cucina a ponente, scale e gabinetti a nord; per gli altri tipi viene prescritta una disposizione secondo l'asse eliocentrico con fronti principali esposti a est e ovest. Nel libretto vengono riportati alcuni schemi di piante, facilmente adattabili alle specifiche condi-

zioni ambientali e alle circostanze locali: unità abitative di due o tre camere e accessori, su due piani, con scala interna a unica o doppia rampa, utili per il tipo casa a schiera o casa abbinata (con lo schema più semplice, che presenta servizi razionalmente ricavati nell’ambito definito dalla scala nel suo sviluppo a rampe parallele); unità abitative di quattro o cinque camere e accessori su due piani, utile per le case isolate; o anche unità di quattro camere su due piani a profferlo, ovvero col vano scala costituente in parte volume a sé; e ancora alloggi di due camere e accessori distribuiti su due piani, con due alloggi per piano, schema proprio della casa in linea, in verità non molto incoraggiato per evitare le scale a uso condominiale; infine schemi per case isolate formate da due alloggi di tre camere sovrapposti, con un alloggio per piano, e il piano superiore raggiungibile mediante una scala esterna (De Simone, 1937).

La “casa abbinata” viene progettata a Cosenza in due diverse versioni, quella che l’Istituto cosentino indica come tipo A, formata da quattro alloggi monocamera con accessori, su un unico piano, e quella indicata come tipo C, che oggi definiremmo casa binata, formato da due alloggi da tre vani articolati su due livelli, in Figura 2. Quest’ultima presenta soggiorno con ampia cucina e gabinetto al piano rialzato, disimpegnati dall’ingresso che immette alla scala interna, centrale e a rampe parallele, e due camere da letto al piano superiore. Uno schema distributivo semplice e razionale, ben rapportato alla struttura dell’edificio, realizzata in muratura portante, opportunamente articolata con due delle tre pareti interne parallele e ravvicinate a formare il vano scala.

Molto diversa la condizione abitativa proposta nel tipo A, evidente espressione dello stato di emergenza economico-sociale cui l’Istituto tenta di dare risposta, nel quale la pianta dell’unico piano abitato del fabbricato è divisa in quattro parti, con accesso sui due fronti principali, ciascuna delle quali costituisce un alloggio formato da una camera, cucinotto e gabinetto, disimpegnati da un ingresso-corridoio. Orientati per come prescritto, ciascun edificio è dotato di piccoli appezzamenti di terreno coltivabili. Le

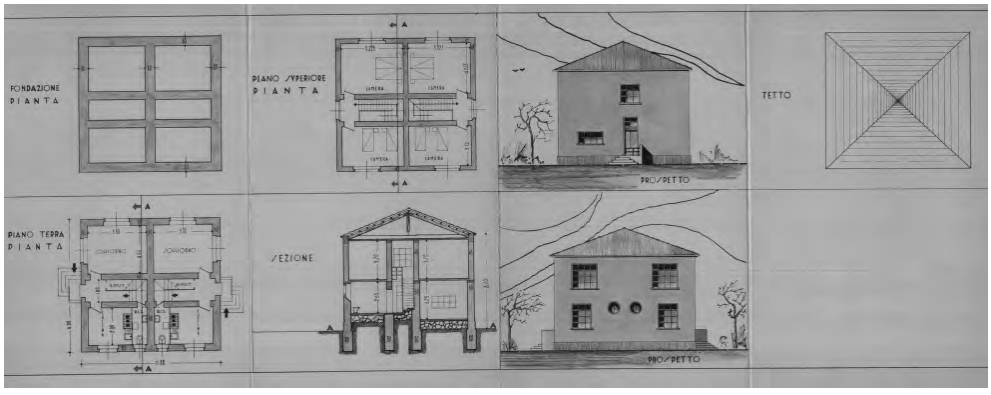


Fig. 2 – Tipo C nel Rione San Vito: prospetti, piante e sezioni (Archivio ATERP di Cosenza, 1938).

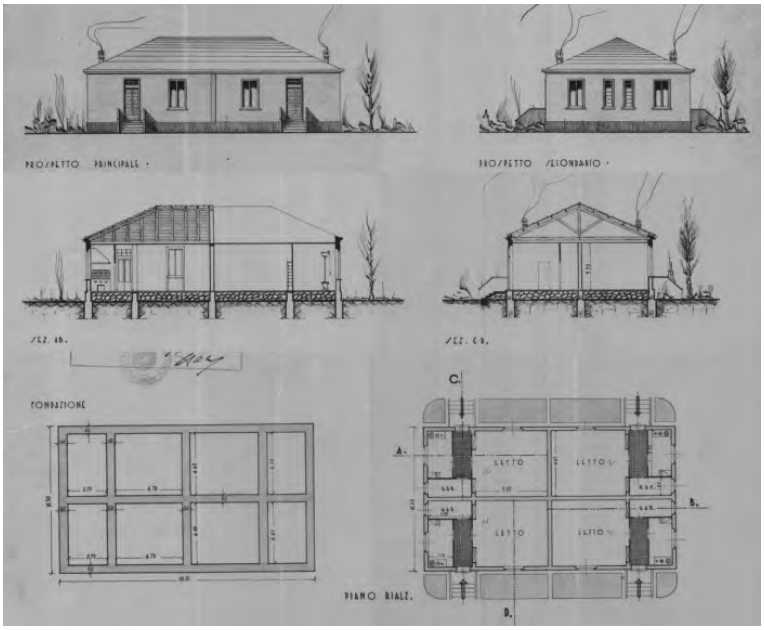


Fig. 3 – Tipo A nel Rione Torrealta: prospetti, piante e sezioni (Archivio ATERP di Cosenza, 1939-'40).

case di tipo A realizzate a S. Vito verranno successivamente demolite, mentre quelle progettate nel 1941 per il rione Torrealta, come mostrato in Figura 3, non realizzate per via della guerra, verranno sostituite nel 1945 con un nuovo progetto di 13 fabbricati a due piani, per un totale di 88 unità abitative, nel quale l'edificio di tipo A (quattro palazzine) si configura con alloggi di tre vani ciascuno, anziché uno, oltre agli accessori. Interessanti le palazzine in Figura 4, realizzate a S. Vito nel 1938, identificate come tipo B, che propongono lo schema tipico della "casa in linea" – quello indicato da De Simone come case affiancate – con due alloggi per ciascuno dei due piani, formati da tre stanze, con soggiorno-pranzo passante da 20 m^2, cucina autonoma, camera da letto matrimoniale ampia e una seconda camera che occupa, con il gabinetto fornito di doccia, la rimanente parte della maglia strutturale definita dalle pareti portanti dell'edificio. Il corpo scala, centrale ed esterno nel suo sviluppo, pur costituendo elemento tecnico di congiunzione formale e continuità strutturale, divide morfologicamente l'edificio in due distinti corpi di fabbrica, caratterizzandone l'architettura, la cui configurazione si completa nel disegno delle aperture, in particolare delle grandi finestre quadrate, che, nella linearità del prospetto principale, alimentano un gradevole gioco di pieni e di vuoti, rispondente con semplicità ed efficacia tecnica alle nuove indicazioni normative.

Nel comparto edilizio di Torrealta il tipo B, in Figura 5, è realizzato invece nella versione tipologica di "casa a schiera", costituita da edifici di quattro alloggi per tre

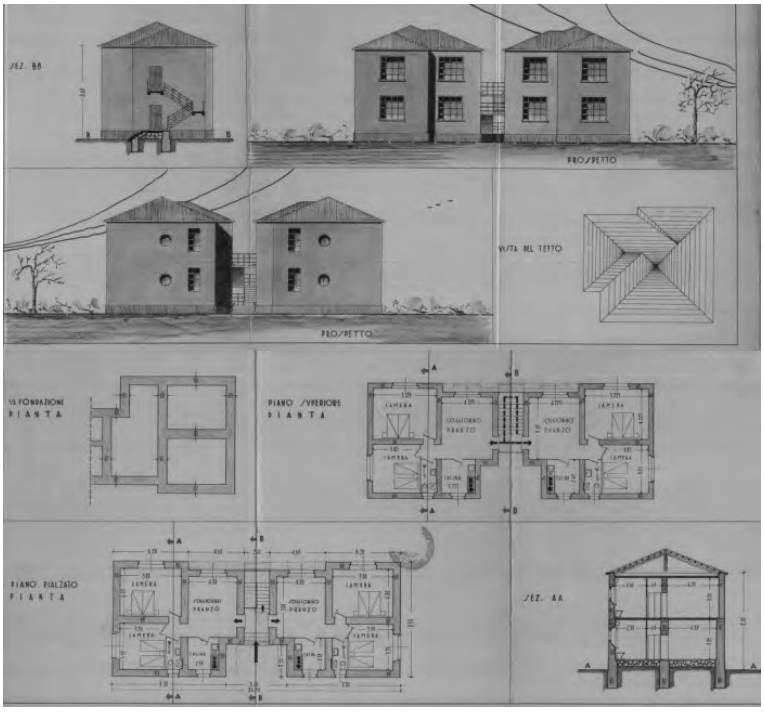


Fig. 4 – Tipo B nel Rione San Vito: prospetti, piante e sezioni (Archivio ATERP di Cosenza, 1938).

persone, aggregati su un unico piano e formati da due stanze di oltre 20 m^2, soggiorno-pranzo con annessa cucina e camera da letto matrimoniale con letto aggiunto, divise da un ambito centrale articolato tra ingresso-corridoio e gabinetto. Edifici molto poveri nell’aspetto, nei quali la ricerca di una più moderna tipizzazione delle case popolari, informata a una nuova razionalità distributivo- funzionale, è pesantemente mortificata nella qualità architettonica e costruttiva dai limiti di spesa posti per questa categoria di costruzioni, cui si aggiunge la scarsa disponibilità di risorse dovuta al sopraggiungere del conflitto bellico. Le case di Torrealta verranno demolite negli anni ’50 per far posto ai nuovi interventi dell’INA Casa.

Gli edifici sono realizzati, indipendentemente dalla scelta tipologico-distributiva, con struttura a parete portante in muratura listata, con doppio ricorso di mattoni pieni a intervalli di 60 centimetri o un metro, che poggia su fondazioni in muratura di pietrame di fiume, con allettamenti di malta comune. I tramezzi sono in mattoni pieni o forati, e tutte le pareti sono rivestite con intonaco di malta comune. I solai sono realizzati con travi e tavolato in legno di castagno, e completati da pavimento in mattonelle pressate di cemento granigliato, materiale con cui vengono realizzati anche i davanzali delle finestre e le soglie delle porte.

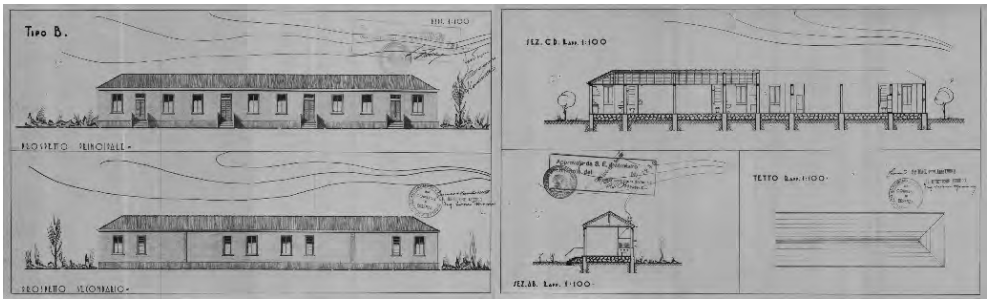


Fig. 5 – Tipo B nel Rione Torrealta: prospetti, piante e sezioni (Archivio ATERP di Cosenza, 1939-'40).

Negli interventi che si protraggono nel dopoguerra, superate le difficoltà per il reperimento dei materiali metallici, del cemento, delle tubazioni e delle dotazioni igienico-sanitarie, le costruzioni possono avvalersi in generale di una migliore qualità tecnologica nei procedimenti costruttivi; è il caso dei solai, per i quali si adottano impalcati a struttura mista in cemento armato e laterizio, con nervature portanti parallele e blocchi di laterizio del tipo UNIC di 14 cm di spessore; una tecnica peraltro già diffusa nell'edilizia cosentina sin dagli anni '20. Così come il cemento granigliato è sostituito da elementi di pietra naturale, anche di marmo, mentre il cemento armato viene impiegato più diffusamente per la realizzazione di cordoli, architravi ed elementi di finitura e di rinforzo in cornici e cornicioni.

La copertura ha struttura portante ordita a capriate, arcarecci e listelli di legno di castagno, con manto di copertura a tegole piane, generalmente alla marsigliese; così come sono in legno di castagno infissi e serramenti interni ed esterni. Le scale sono costruite generalmente in cemento armato, con gradini riportati di calcestruzzo granigliato formati fuori opera. «L'impianto sanitario, quello idrico e d'illuminazione, nonché gli impianti per le cucine sono previsti con materiale di facile acquisto sulla piazza» (Archivio ATERP, 1938, 1939, 1940; ASCs, 1945). A meno di un anno dalla pubblicazione del manuale di De Simone, il RD 28 aprile 1938, n. 1.165, "Approvazione del Testo Unico delle disposizioni sull'edilizia popolare ed economica", ponendosi nella logica dei precedenti provvedimenti ne raccoglie le disposizioni, riordinandole in un complesso articolato di norme che trovano ulteriore completamento, per quanto riguarda la caratterizzazione e le misure degli alloggi, nelle regole promulgate con la Legge 25 marzo 1943, n. 290, ultimo atto del regime in materia. Per altro verso, già al principio degli anni '40, si assiste a una netta inversione di tendenza nella programmazione e progettazione dell'edilizia popolare ed economica con l'abbandono della tanto declamata invenzione ruralista, quindi del decentramento urbano spinto causa di un elevato aumento della spesa per i servizi e i trasporti pubblici, che si manifesta peraltro in piena crisi autarchica. Consumata la battaglia

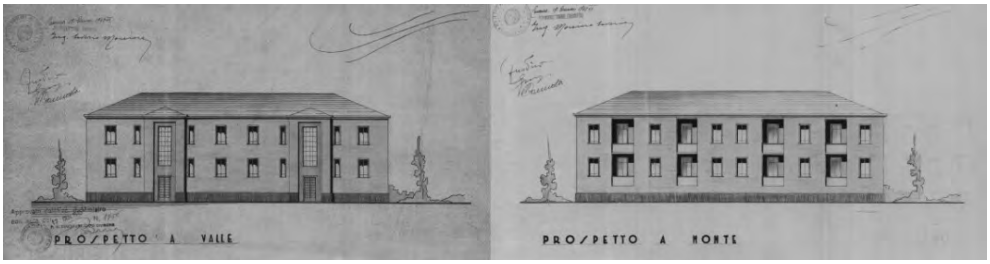


Fig. 6 – Case popolarissime di Via Savoia: prospetti (Archivio ATERP di Cosenza, 1947).

contro l’urbanesimo e per il ritorno alla campagna (Villani, 2012), gli Istituti, che pure hanno ricoperto nella nuova tendenza un ruolo primario, di promotori e di protagonisti, riportano la loro attenzione verso la città. Ne è testimonianza, a Cosenza, il decimo lotto delle case popolarissime progettato nel 1942, in Figura 6, per essere inserito nel consolidato comparto urbano del detto Rione “Michele Bianchi”.

I lavori per la costruzione di sette palazzine del tipo A e di tre del tipo B, per un totale di 54 alloggi, già resi difficili dall’irreperibilità dei materiali durante gli anni della guerra, s’interrompono del tutto, per disposizione ministeriale, con i bombardamenti del 1943, dopo il completamento della prima palazzina e la parziale costruzione di un secondo edificio. Riprendono, nella grande penuria di alloggi aggravata dalle distruzioni belliche, soltanto nel 1951 dopo una radicale revisione del progetto, che riduce il programma edilizio alla costruzione di due soli edifici (ASCs, 1950).

D’altra parte è già in vigore a quel tempo il nuovo importante Piano INA Casa, istituito con la Legge 28 febbraio 1949, n. 43, che apre nuovi orizzonti alla produzione dell’edilizia residenziale italiana, mentre il paese si avvia, nella nuova vita democratica, al superamento delle “macerie materiali e morali” lasciate dal conflitto mondiale. Così l’illusione che il messaggio della cultura razionalista internazionale potesse trovare sviluppo almeno nell’edilizia popolare, s’infrange nella necessità del risparmio più spinto, maggiormente richiesto in quei difficili anni di autarchia e di guerra. Gli «architetti che sognano case aperte nel verde, ben orientate e armoniosamente disposte secondo ritmi funzionali ed estetici» (Pagano, 1937) non saranno dunque gratificati, come nelle ottimistiche previsioni di Giuseppe Pagano, e le case popolarissime rimangono testimonianza ancora oggi, nelle nostre città, di un periodo difficile della storia del paese.

Conclusioni

Lo studio elaborato trova 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 aspetti produttivi, tecniche costruttive, soluzioni di dettaglio assumono un loro ruolo nel determinarne la qualità, l’importanza

storica, l'identità architettonica. Attraverso l'analisi di significativi comparti edilizi come quello delle case popolarissime, ne sono valido esempio quelle realizzate a Cosenza scelta come campo d'indagine, s'intende contribuire a riconoscerne gli aspetti significativi nel più generale quadro produttivo nazionale e nello specifico dell'edilizia popolare, considerato il ruolo da essa ricoperto nell'evoluzione della cultura progettuale architettonica del paese, fornendo così implicitamente linee guida per una corretta attività di recupero e riqualificazione, ove le condizioni qualitative delle costruzioni lo rendano possibile.

In particolare le case popolarissime di Cosenza, espressione, nel bene e nel male, di una condizione generalizzabile della provincia italiana, si pongono all'attenzione per il posto che occupano, pure nella loro semplicità architettonico-costruttiva, nel patrimonio edilizio storico cosentino oggi oggetto d'interesse per le attività di recupero edilizio, in una parte della città, non più periferica, bisognosa di consistenti interventi di riqualificazione, dove questi insediamenti, unitamente al costruito prodotto dai successivi interventi del dopoguerra, costituiscono significativi riferimenti nella definizione dei caratteri identitari della città.

Bibliografia

Archivio ATERP di Cosenza. b. 1938, fasc. 5. Case popolarissime S. Vito.

Archivio ATERP di Cosenza. b. 1939, fasc. 7. Case popolarissime Torrealta.

Archivio ATERP di Cosenza. b. 1940, fasc. 11. Case popolarissime Torrealta.

ASCs. b. 289. fasc. 821. Mosciari S. *Progetto per la costruzione dell'ottavo lotto delle Case Popolarissime modificato e aggiornato nei prezzi* – Relazione.

ASCs. b. 335. fasc. 887. *Mosciari S. Progetto per il completamento della seconda palazzina del primo gruppo del decimo lotto di case popolari in Cosenza, via Savoia – Relazione*.

Campolongo A. 2009. *Architettura e metodiche costruttive a Cosenza Nuova. Un'indagine per il recupero dell'edilizia del Novecento*. Roma: Gangemi Editore.

Cocchioni C., De Grassi M., Vittori A. M. 1984. *La casa popolare a Roma. Trent'anni di attività dell'ICP*. Roma: Kappa.

De Seta C. (a. cura di). 1976. *Architettura e città durante il Fascismo.* Bari-Roma: Laterza.

De Simone D. 1937. *Le case popolarissime. Norme e tipi per la costruzione delle nuove case popolari* (edito a cura del Consorzio nazionale fra gli istituti fascisti autonomi per le case popolari). Roma: Stabilimento tipografico "Aternum".

Di Sivo M. 1982. *Normativa e tipologia di abitazione popolare*. I. Firenze: Alinea Editrice.

Manieri Elia M. (a cura di). 1977. *Giuseppe Samonà. La casa popolare degli anni '30*. Venezia: Marsilio Editore.

Pagano G. 1935. Architettura rurale in Italia. Casabella, 96.

Pagano G., Guarniero D. 1936. *Architettura rurale italiana.* Quaderni della Triennale. Milano: Hoepli.

Pagano G. 1937. Le case popolarissime. Casabella, 112, 2-4.

Pagano G. 1939. *Case per il popolo*. Casabella-Costruzioni, 143. Riportato in (De Seta, 1976).

Villani L. 2012. *Le borgate del Fascismo. Storia urbana, politica e sociale della periferia romana.* Milano: Ledizioni.

Francesco Spada

Alcuni procedimenti costruttivi razionalizzati della Società Generale Immobiliare (SGI) in Italia negli anni Settanta. Il caso del quartiere Amendola di Modena

Some industrialized construction techniques of Società Generale Immobiliare (SGI) in Italy in the 1970s. A case study in Modena: the Amendola housing complex

Sommario
Il contributo si inserisce nell'ambito delle ricerche sull'evoluzione delle tecniche costruttive in Italia nel XX secolo con riferimento al ruolo delle imprese nella storia del costruire e delle relative metodiche. Esso mira ad ampliare la conoscenza della Società Generale Immobiliare-SGI, holding italiana attiva in tutti i campi della costruzione dal 1862 al 1988, e più in generale delle relazioni tra imprese e passaggi evolutivi nel campo dell'industrializzazione edilizia in Italia. Lo studio pone l'attenzione su iniziative di edilizia convenzionata realizzate dalla SGI negli anni Settanta con alcuni procedimenti costruttivi razionalizzati (*banches et tables*, casseforme *tunnel*), con particolare riferimento al caso del quartiere Amendola di Modena. Questa fase della produzione della SGI è conseguente alle sperimentazioni sulle tecniche costruttive industrializzate che la Società aveva condotto nei decenni precedenti: dalla prefabbricazione a piè d'opera per la Torre Velasca di Milano (1956-57) a quella pesante a grandi elementi per il complesso IACP in corso Taranto a Torino (1963-64). Lo studio contribuisce quindi ad una organica ricostruzione dell'attività della SGI. Per la redazione si è fatto riferimento a fonti bibliografiche, periodici editi dalla Società, documenti d'archivio della SGI.

Abstract
This study is part of the research field on the evolution of Italian construction techniques in the twentieth century. This study aims to improve knowledge about the *Società Generale Immobiliare*-SGI, a large Italian company working in all construction fields from 1862 to 1988. More generally this study investigates relations between construction companies and evolutionary steps in the field of building industrialization in Italy. This study highlights enterprises of subsidized housing built by some rationalized construction methods (*banches et tables*, *tunnel* formworks) used by SGI in the 1970s. The Amendola housing complex in Modena is a case study. These

initiatives are subsequent to experimentations on building mechanization for Velasca Tower in Milan (1956-57) and heavy prefabrication of a cheap residential building neighborhood in Turin (1963-64). Bibliography, technical magazines edited by SGI and original archive sources are taken as references.

Introduzione

Questo contributo presenta alcuni esiti degli studi in corso dell'autore nell'ambito dell'attività di Dottorato di Ricerca. La ricerca sta ricostruendo parte dell'attività della Società Generale Immobiliare-SGI, concentrandosi sul suo terzo periodo di operatività (Martini, 2003), quando l'attività costruttiva viene separata da quella promozionale e progettuale, avviando un disegno imprenditoriale di holding immobiliare. Nel 1945 viene infatti istituita l'impresa di costruzioni Sogene, che sarà attiva fino al 1977, controllata dalla SGI ma in grado di assumere lavori anche in autonomia, al fine di perseguire la logica del ciclo produttivo completo, dall'ideazione del prodotto fino alla collocazione finale, all'interno di un progetto imprenditoriale volto a trasferire la logica della produzione industriale, tipica delle imprese manifatturiere, al settore edilizio (Martini, 2003).

La ricerca approfondisce l'utilizzo, la messa a punto e la sperimentazione delle tecniche industrializzate nella produzione edilizia del tandem SGI-Sogene nel periodo 1955-75, dalle prime tecniche di meccanizzazione del cantiere utilizzate per la Torre Velasca di Milano, alla rinnovata meccanizzazione degli interventi di edilizia convenzionata. L'analisi è condotta attraverso una ricostruzione dell'attività della Società, che incrocia anche le tecniche di prefabbricazione pesante e a ciclo aperto a cavallo tra i decenni Sessanta e Settanta. Si presume infatti che lo studio trasversale della produzione edilizia riferita alla vicenda SGI-Sogene possa fornire un contributo allo studio dell'industrializzazione edilizia in Italia, con particolare riferimento alle sperimentazioni connesse al dibattito sulla prefabbricazione innescatosi a Milano, intorno alla Triennale e al Politecnico, fin dall'immediato dopoguerra (Iori, 2012).

La memoria si concentra sull'ultima fase dell'evoluzione nell'utilizzo di tecniche edilizie industrializzate, ovvero sulla produzione di SGI-Sogene della prima metà degli anni Settanta per edilizia residenziale convenzionata. Il focus sull'intervento della SGI nel quartiere Amendola di Modena è un utile caso studio per documentare l'evoluzione della costruzione a struttura portante continua, realizzata facendo uso di casseforme riutilizzabili, derivanti dall'esperienza francese, in grado di meccanizzare il processo di getto del calcestruzzo armato.

La Sogene, l'adozione del "ciclo completo" e l'innovazione di processo

L'inizio del terzo e più florido periodo di attività della SGI coincide con il secondo dopoguerra, quando la Società può contare su una già robusta struttura aziendale. Nel

suo primo periodo di attività, dalla fondazione nel 1862 all'ultima decade del XIX secolo, la SGI era stata una società puramente finanziaria impegnata a supportare varie Amministrazioni locali nella realizzazione delle infrastrutture necessarie a seguito dell'Unità d'Italia; successivamente, fino alla fine della seconda Guerra mondiale, si trasforma da finanziaria a holding immobiliare occupandosi della riscossione di crediti sottoforma di immobili (Martini, 2003). La gestione per mano del dott. Aldo Samaritani (Martini, 2003) si dimostra subito illuminata nel cogliere le opportunità offerte dalla ricostruzione e successivamente da quelle derivanti dal cosiddetto *boom* economico che caratterizzerà l'Italia a cavallo tra gli anni Cinquanta e Sessanta. L'attività di impresa di costruzioni, fino a quel momento esercitata dalla SGI, è scorporata da quest'ultima che mantiene la funzione di holding e promotore edilizio. Nel 1945 viene quindi fondata la Sogene, impresa di costruzioni da essa controllata, operativa fino al 1977, anno in cui tornerà ad essere incorporata nella Società madre a causa di difficoltà finanziarie. Già nei primi anni Settanta, infatti, la crisi del settore edilizio in Italia è tanto marcata da indurre la SGI ad operare prevalentemente all'estero.

L'impresa Sogene si distingue nel panorama edilizio-imprenditoriale italiano per l'adozione del "ciclo completo" (Cuccia, 2003a), ovvero per la strategia aziendale mirata a trasferire la logica della produzione industriale al settore edilizio, fino a quel momento artigianale. Questa strategia consiste infatti nel fornire un prodotto "completo", ideato e realizzato *in house* grazie a un'organizzazione di mezzi e di uomini tale da poter gestire l'iniziativa edilizia dalla sua ideazione e concezione fino alla progettazione e infine alla realizzazione, esattamente come avviene nella produzione di un oggetto industriale.

Per adottare un tale criterio nel settore edilizio, ancora strettamente legato ad approcci e metodiche tradizionali in tutta la penisola, è necessaria una innovazione di processo volta all'ottimizzazione e resa possibile dall'ampia disponibilità di mezzi, per quell'epoca all'avanguardia, messa in campo dalla Sogene. Questa si dota infatti di un Centro Elaborazione Dati-CED attrezzato di calcolatore noleggiato dalla IBM, aggiornato e sostituito con regolarità[1], anch'esso quindi interessato dai «continui miglioramenti tecnici, amministrativi, contabili»[2] perseguiti dall'impresa. Il CED consente, già a partire dai primissimi anni Sessanta, di meccanizzare la contabilità generale, di supportare il calcolo analitico delle strutture[3] e di provvedere alla programmazione dei cantieri[4]. Un'altra importante innovazione di processo che caratterizza l'organizzazione aziendale di Sogene, infatti, è l'adozione del sistema PERT-*Project Evaluation Review Technique*, per la programmazione delle attività di progetto e la relativa gestione temporale, il cui uso, nel 1963, è definito «ormai generalizzato in tutti i nostri cantieri»[5] e il cui utilizzo in grado di fornire un «anticipo di anni sui nostri concorrenti»[6].

L'adozione del ciclo completo e della metodologia industriale perseguite dalla SGI-Sogene, indice di una robusta e strutturata realtà imprenditoriale, rappresenta

una eccezione nel panorama edile italiano negli anni del cosiddetto *boom* economico, caratterizzato da una miriade di piccole imprese di costruzioni che, come accennato, con pochi mezzi e tanta manodopera a basso costo, realizzano le grandi opere a cavallo tra gli anni Cinquanta e Sessanta (Iori, 2021).

Esperienze di impresa: dalla Torre Velasca alla prefabbricazione pesante

L'evoluzione nell'esperienza sull'industrializzazione riferita alla vicenda SGI-Sogene riflette una condizione nota nel panorama nazionale: nell'arco di circa 15 anni, l'incidenza percentuale della manodopera sul costo delle costruzioni edilizie passa dal 27,5% del 1946 al 52,23% del 1962, con un aumento pressoché costante nel corso degli anni[7].

Questa condizione conduce a un interesse verso le tecniche costruttive di prefabbricazione pesante, già utilizzate in Francia, che spostano il fulcro della produzione dal cantiere all'officina. Le tecniche razionalizzate degli anni Cinquanta, spesso caratterizzate da prefabbricazione di elementi costruttivi in cantiere, diventano infatti sempre più onerose a causa della eccessiva quantità di manodopera occorrente. Nell'attività della SGI si ha traccia di ambedue le esperienze di impresa.

La vicenda della Torre Velasca a Milano (1956-57) è significativa di un grande sforzo organizzativo-gestionale finalizzato a una accelerazione della produzione, con conseguente innovazione costruttivo-realizzativa consistente, tra l'altro, nella prefabbricazione in laboratorio di carpenterie a doppio cassero per la particolare forma dei pilastri che richiedono prove sperimentali dirette su modelli in scala 1:2 presso l'ISMES, Istituto Sperimentale Modelli e Strutture di Bergamo, nonché nella soluzione d'involucro, in cui «le campate di facciata tra pilastro e pilastro» sono realizzate «con elementi prefabbricati in calcestruzzo, opportunamente armati e solidamente ancorati all'ingabbiatura di cemento armato» al fine di rendere possibile «in un unico tempo una operazione che normalmente richiede tre fasi di lavoro e cioè: costruzione della muratura di supporto, intonaco di sottofondo, ed applicazione del rivestimento esterno, col vantaggio di unire monoliticità, compattezza e leggerezza come difficilmente sarebbe stato conseguibile con l'esecuzione in opera» (Pifferi, 1959). La torre Velasca, simbolo della ricerca sull'edificio alto che caratterizza il polo milanese (Greco, 2012), oltre ad aprire la stagione della razionalizzazione delle tecniche costruttive perseguita dal tandem SGI-Sogene, contribuirà alla maturazione di quello *know-how* nella produzione di altri edifici a torre a opera della Società a Milano, quali ad esempio le torri Galfa (1956-59), Filzi e Fara (1959-60), Monti-Pagano (1958-61), Centro Romana (1959-67), ma anche a Genova con le torri Park Riviera (1961-70) e Cantore (1964-70) e a Palermo con la torre Sperlinga (1962-70) (Spada, 2021).

L'approccio all'industrializzazione evolve nella prima metà degli anni Sessanta quando, nel 1963 e per cinque anni, la Sogene diventa concessionaria italiana del brevetto francese *Acier-Beton-Estiot* per la prefabbricazione pesante, anche al fine di

soddisfare la nuova richiesta di mercato, per conto di Enti pubblici, di grandi complessi di edilizia residenziale economica da costruire in tempi brevi per fronteggiare l'emigrazione proveniente dal sud (Poretti, 2004). Il mancato riconoscimento da parte del Ministero dei Lavori Pubblici italiano dei sistemi costruttivi di importazione (Talanti, 1978) spinge la Sogene ad approntare un proprio centro di prove sperimentali che le consente di ottenere il Certificato di Idoneità[8], prima fra le imprese italiane. Nel centro si eseguono infatti prove volte all'utilizzo generalizzato di un sistema da utilizzare per più interventi, come prospettato dalle previsioni aziendali[9], diverse da quelle eseguite per realizzare la specifica struttura della Torre Velasca. In effetti il sistema *Estiot* si dimostra valido per la rapidità con la quale è realizzato a Torino il grande insediamento di edilizia residenziale economica a corso Taranto: 10 edifici di 10 piani e 6 edifici di 7 piani per un totale di 652 appartamenti e 3.561 vani, realizzati in appena 10 mesi tra il 1965 e il 1966[10] Meno apprezzabili, già a distanza di pochi anni, si rivelano i risultati ottenuti in termini di comfort e qualità costruttiva, (Red., 1974).

Già nella seconda metà degli anni Sessanta si va incontro a un superamento di questa breve fase della costruzione nazionale, a favore di un'edilizia "per componenti" ovvero di una prefabbricazione a ciclo aperto anziché chiuso, anche in funzione dei costi di produzione dell'edilizia prefabbricata, che ammontano a 13.000 lire per m^3), «attraente» nel periodo di «boom in fase di costi crescenti» ma che «in conseguenza della crisi del mercato della manodopera e dei materiali trova una fortissima concorrenza nella edilizia tradizionale (11/12.000 lire/m^3)»[11]. La reticenza sul futuro della prefabbricazione pesante in Italia è inoltre acuita dagli ambienti ministeriali e dagli enti preposti all'edilizia economica, che prospettano un ritorno a «l'antica esperienza italiana della costruzione tradizionale inserendovi, per quanto riguarda impianti, servizi, ecc. il più alto criterio di unificazione e di industrializzazione»[12].

Evoluzione di impresa: la rinnovata meccanizzazione degli anni Settanta

Alla luce dei nuovi orientamenti nazionali sull'edilizia industrializzata, a partire dalla fine degli anni Sessanta, la SGI muta nuovamente i propri programmi, archiviando la sua stagione sulla prefabbricazione pesante, coerentemente alla storia costruttiva nazionale. Si ha quindi traccia di nuovi orientamenti per l'edilizia industrializzata, nel senso che l'impresa si propone di mettere in atto «procedimenti costruttivi più efficaci di quelli che l'edilizia prefabbricata stessa può offrire, ed è conseguenziale alla vasta esperienza che la Società ha fatto in questo campo»[13]. E ancora: «al fine di mantenere un soddisfacente livello di produttività dei cantieri, che sono esposti ad una flessione a causa della progressiva riduzione degli orari, è necessario aumentare la meccanizzazione del lavoro. Abbiamo infatti in previsione un maggior volume di acquisti di macchine e impianti […]. Gli acquisti saranno diretti verso macchinari di impiego generico per ridurre il più possibile l'accumulo di tempi morti, mentre per lavorazioni speciali ci avvarremo di ditte specializzate» [14].

I primi anni Settanta segnano quindi per la SGI un importante cambio di rotta. La Sogene mette a punto «un nuovo procedimento di costruzione con il proposito di ottenere, in un minor tempo di quello impiegato nell'edilizia tradizionale ed anche prefabbricata e con l'impiego di una manodopera qualitativamente meno specializzata e quantitativamente meno numerosa: un prodotto che traduca sul piano concreto le moderne tendenze dell'edilizia intesa come superamento degli schemi fino ad ora impiegati»[15]. Il riferimento è al sistema S70, che «consiste nella costruzione in opera, mediante casserature meccanizzate, di telai travi-pilastri, che sostengono i solai realizzati in pannelli prefabbricati. La struttura così realizzata costituisce l'elemento base per il successivo inserimento degli altri componenti edilizi. Il grado di finitura e le tolleranze che si ottengono consentono il corretto inserimento di elementi prefabbricati completamente finiti sia per la chiusura esterna, sia per i divisori interni. Le casserature progettate realizzano gabbie strutturali con una flessibilità modulare di 30 cm; l'inserimento degli altri componenti avviene nella griglia modulare di 30 x 30 cm, ottenendo insieme la possibilità di successive modifiche, anch'esse coordinate nella griglia modulare»[16].

In generale, nei programmi della SGI oltre che l'attenzione per il costo di costruzione, vi è la volontà di superare le rigidità imposte dai sistemi di prefabbricazione pesante usati nel decennio precedente, motivo per cui la Sogene mette a punto il suo "sistema aperto" che prevede l'impiego di componenti prefabbricati prodotti dalla filiera industriale connessa all'edilizia, da assemblare in cantiere mediante semplici operazioni. Si tratta di tramezzi prefabbricati e rifiniti in gesso per evitare l'esecuzione degli intonaci, gruppi idraulici prefabbricati in officina per l'installazione degli impianti dei servizi igienici, nonché componenti prefabbricati per "porzioni di prospetto", comprendenti finestra e persiana avvolgibile. In generale è la fase della "edilizia per componenti", mediante la quale perseguire economie di tempi e di spesa e migliorare la qualità nelle costruzioni (Cuccia, 2003). Il superamento delle pregresse rigidità si ha quindi con la cosiddetta "casa convertibile", ovvero adattabile all'esigenza del cliente, di cui l'Isola 44 di Casalpalocco a Roma, con 128 appartamenti (1972) rappresenta una prima testimonianza. Adottando lo stesso sistema "per componenti", la Sogene realizza, nella prima metà degli anni Settanta e ancora nel Lazio, l'intervento per la Cooperativa Le Muse al Casilino, 670 alloggi, e per Isveur ad Acilia, 82 alloggi (Cuccia, 2003).

Parallelamente alla prefabbricazione aperta, la SGI è attiva anche nel campo della rinnovata meccanizzazione del cantiere, intesa come industrializzazione dei getti delle strutture portanti continue per garantire una maggiore rapidità nella fase attuativa dell'edificio e quindi una sensibile riduzione dei costi di costruzione (Campolongo, 2003). Ancora una volta, si tratta di tecniche mutuate dall'esperienza francese: protagoniste di questa rinnovata ottimizzazione sono le casseforme riutilizzabili *banches* per le pareti, *tables* per i solai, *tunnel* e *demi-tunnel* per il getto contempo-

raneo degli elementi verticali e orizzontale, nonché i solai a lastre *predalles* o con soletta in calcestruzzo armato.

La struttura a *banches* è costituita da casseri metallici di grandi dimensioni per la creazione di pareti in calcestruzzo armato, realizzate con getto separato rispetto agli impalcati che possono essere ottenuti mediante strutture a *tables* o con soletta semiprefabbricata o lastre *predalles*. La struttura a *tunnel* è basata sull'impiego di casseforme con sezione a U rovescia che, assemblate tra loro in senso longitudinale, formano la "canna" del tunnel; quella a *demi-tunnel* si basa invece sull'utilizzo di casseforme a L rovescia che, accoppiandosi a due a due, formano la "canna" di cui sopra (Campolongo, 2003).

Teatro di sperimentazione è ancora l'edilizia convenzionata: la compressione di alcune voci di costo determina l'interesse verso l'adozione di tecniche di industrializzazione, ma le uniche compatibili con il prezzo massimo per metro quadrato di superficie utile, fissato dalla legge, sono quelle che prevedono l'impiego di sistemi a pareti portanti, già note per la rigidità ovvero per l'impossibilità di variazioni nel tempo, evidenziando l'attenzione del legislatore alle voci di costo prima che alla qualità del prodotto costruito (Red., 1977a).

In generale per gli interventi di edilizia convenzionata realizzati dalla SGI nella prima metà degli anni Settanta si assiste a una valutazione caso per caso della tecnologia da adoperare (Red., 1977a). Alcuni interventi nel torinese, data la limitata consistenza, non suggeriscono l'impiego di tecniche speciali per la costruzione, come nel caso di Chieri e Moncalieri, mentre a Nichelino si limitano ad una razionalizzazione delle tecniche tradizionali. Negli interventi nel milanese dei primi anni Settanta, a Nova Milanese e a Pieve Emanuele, sono invece adottate tecniche industrializzate consistenti nell'utilizzo di casserature metalliche a *banches et tables* per l'esecuzione in opera di pareti portanti e solai, nonché per parte delle pareti di chiusura esterna, con elementi accessori consistenti in pannelli di gesso per i divisori e blocchi prefabbricati idrosanitati per limitare al minimo l'intervento murario. Le casseforme *a tunnel* sono invece utilizzate nel complesso edilizio del quartiere Amendola di Modena. Più variegata la situazione nel laziale, dove alcuni interventi a Rieti e a Viterbo, caratterizzati da limitata cubatura, sono realizzati senza tecniche particolari, mentre per quello di Pomezia, essendo più consistente, si ricorre a tecniche industrializzate (Red., 1977b). In tutti i casi si tratta di interventi realizzati nel corso degli anni Settanta.

L'intervento della SGI nel quartiere Amendola Sud di Modena

Il complesso residenziale nel quartiere Amendola Sud di Modena è un intervento realizzato a metà degli anni Settanta, consistente in 9 edifici per un totale di 125.000 metri cubi, adiacente al previsto Parco Amendola, all'interno di un comparto edilizio di complessivi 250.000 metri cubi destinato a edilizia convenzionata e rientrante nel

piano di attuazione del programma decennale predisposto dal Comune di Modena per la realizzazione di alloggi di edilizia economica per circa 43.000 abitanti e di circa 600.000 metri quadrati di superfici commerciali in vari comparti situati nelle zone di espansione e nelle frazioni (Red., 1977b).

L'intervento modenese si inquadra nel più ampio panorama delle iniziative promosse dalle cooperative emiliane (Vitale, 1975), esperienza peculiare rispetto al resto del Paese, in una regione dove la presenza di un forte movimento cooperativo nel campo dell'edilizia è stato uno dei principali strumenti di realizzazione dei Piani per l'Edilizia Economica e Popolare-PEEP. L'esperienza delle cooperative emiliane è stata anche occasione di sperimentazione di tecnologie semplici mediante attrezzature relativamente poco costose e flessibili nell'uso, ossia si è cercata una via originale all'industrializzazione edilizia, ancora fondamentalmente legata all'impossibilità di una programmazione degli investimenti sul lungo periodo, tipica della situazione italiana (Vitale, 1975).

L'intervento della SGI a Modena è interessante in quanto per la costruzione sono impiegate quelle tecniche di industrializzazione dei getti proprie di una parte della produzione di edilizia convenzionata a opera della SGI. Il sub-comprensorio Amendola Sud è situato tra i due principali assi viari di sviluppo della nuova Modena, via Amendola e via Giardini, a sud della città, che ricade in una delle zone residenziali già all'epoca più qualificate per la consistenza dei servizi e le caratteristiche degli insediamenti edilizi (Red., 1977b).

La realizzazione del complesso è seguita dalla filiale di Bologna della SGI, che cura la "sovrintendenza lavori". L'impresa appaltatrice è il Consorzio fra le cooperative di produzione e lavoro della provincia di Modena e le imprese esecutrici sono la Cooperativa muratori e cementisti-CMC di Carpi e la Cooperativa edili e affini-CEA di Spilamberto[16].

È interessante notare che la SGI non affida la realizzazione di questo intervento all'impresa di costruzioni Sogene: la costruzione del complesso, la cui licenza edilizia è del 1975, si protrae per circa due anni, ovvero nella fase di declino della Sogene che porterà, nel 1977, a incorporare l'impresa nella casa madre SGI. Di conseguenza, è plausibile che quest'ultima riponga fiducia nei confronti di imprese che già governano i menzionati brevetti francesi *banches et tables*, *tunnel*, *demi-tunnel* mediante i quali l'intervento è realizzato, non essendo più tempo per la Sogene di acquisire le licenze d'uso di brevetti esteri, come invece aveva fatto nel precedente decennio con il sistema *Estiot*.

Il complesso della SGI nel quartiere Amendola di Modena consta di 301 alloggi dotati di cantina e autorimesse interrate, con vari tagli planimetrici (60, 70, 80, 97, 106 e 114 metri quadrati) distribuiti in 9 corpi edilizi di 3, 4 e 5 piani variamente articolati planivolumetricamente, che al piano terra presentano porticati in parte liberi e in parte occupati da blocchi negozi per un totale di 1.500 metri quadrati di spazi

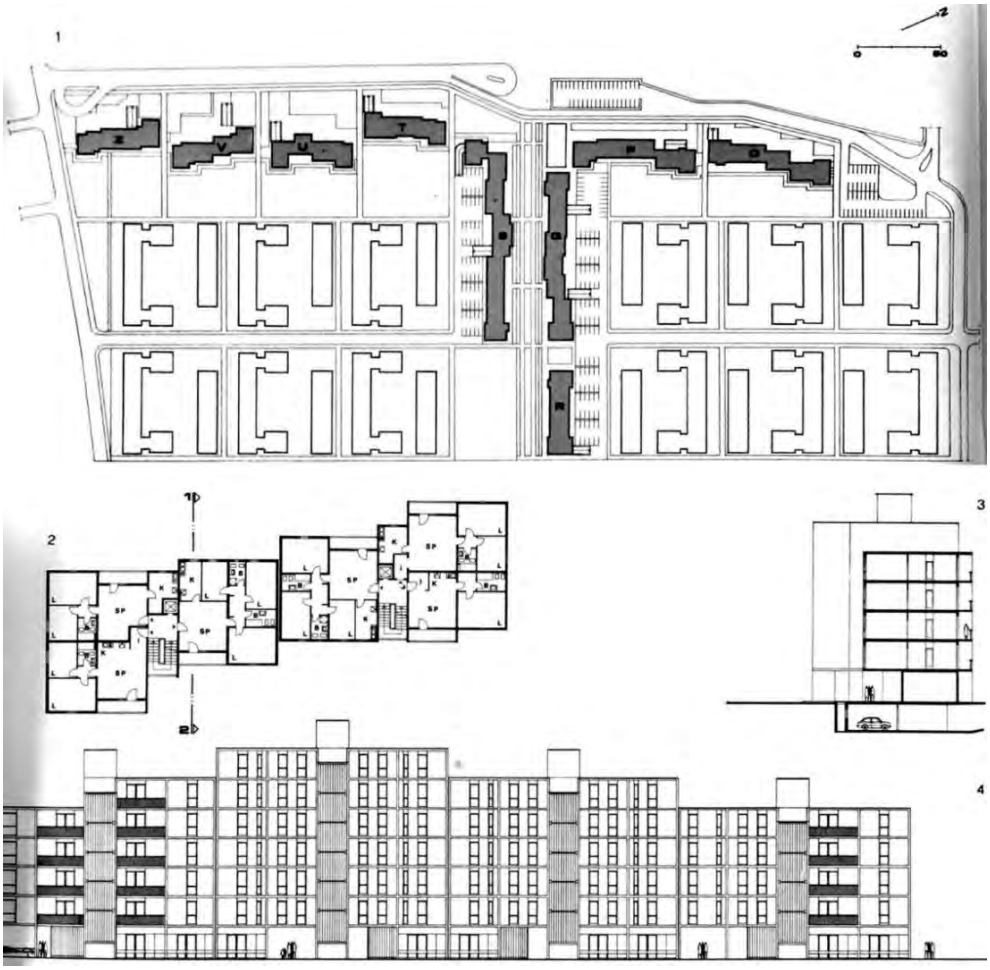


Fig. 1 – Modena: quartiere Amendola, masterplan dell'intervento (in alto); pianta e sezione di un edificio (al centro); stralcio di un prospetto (in basso) (Quaderni della SGI, n. 35-1977).

commerciali e con ogni corpo scala che, in elevazione, serve 3 alloggi per piano (Red., 1977b). Per la costruzione si fa riferimento a procedimenti razionalizzati che si concretizzano nell'utilizzo di casseforme atte all'industrializzazione dei getti di calcestruzzo armato. I nove edifici facenti parte del complesso sono individuati, sul masterplan dell'area, in Figura 1, con le lettere: O, P, Q, R, S, T, U, V, Z.

Il complesso ricorre a strutture tridimensionali di tipo cellulare, costituite da setti di pareti portanti e strutture per impalcati orizzontali gettati in opera mediante casseri

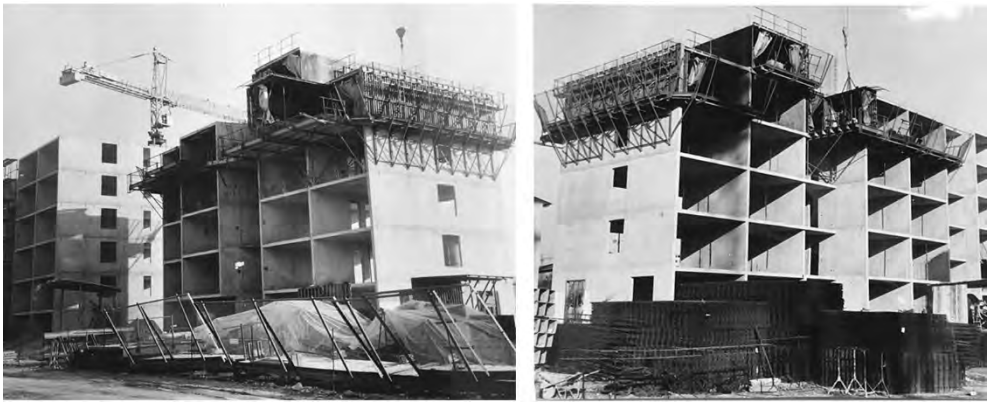


Fig. 2 – Modena: cantiere dell'intervento di SGI nel quartiere Amendola, struttura portante realizzata mediante casseri reimpiegabili (ACS-Sogene, F. 4091 B. 148).

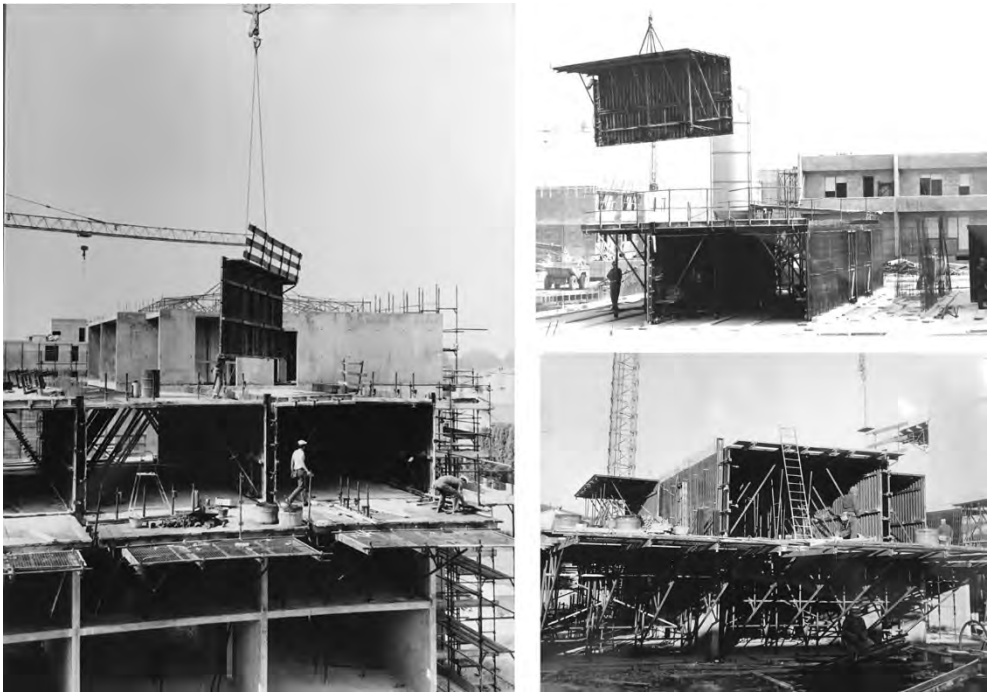


Fig. 3 – Modena: cantiere dell'intervento di SGI nel quartiere Amendola, casseforme demi-tunnel: movimentazione e relative strutture per lo scorrimento e lo sfilaggio (ACS-Sogene, F. 4091 B. 148).

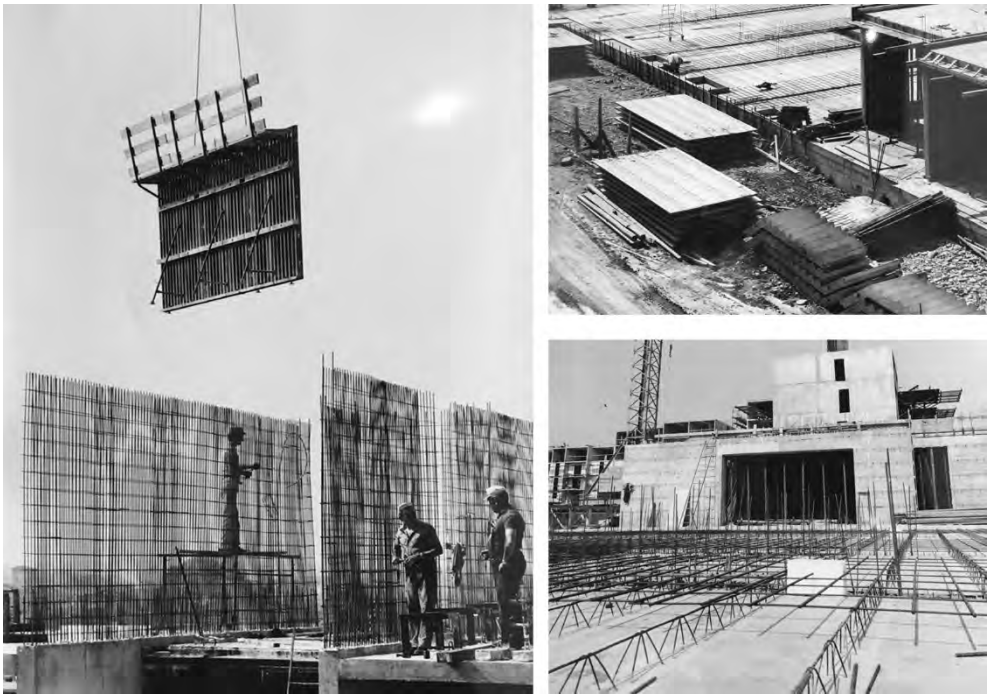


Fig. 4 – Modena: cantiere dell'intervento di SGI nel quartiere Amendola, movimentazione casseforme banches e utilizzo di solette prefabbricate (ACS-Sogene, F. 4091 B. 148).

reimpiegabili; si fa uso prevalente, ma non esclusivo, delle casseforme *demi-tunnel*, in Figura 2 e 3, che consentono la continuità del materiale.

Concorrono alla realizzazione delle strutture del complesso Amendola anche le casseforme tipo *banches* e gli impalcati con soletta semiprefabbricata in calcestruzzo già dotata dei travetti di armatura da inglobare nel getto in opera di completamento, come mostrato in Figura 4.

L'immagine formale degli edifici in costruzione è data dalla struttura a pareti portanti trasversali, ovvero parallele al lato minore dell'edificio; trattandosi del tipo in linea, i prospetti principali, ovvero quelli longitudinali, non risultano quindi condizionati dalla struttura continua e sono trattati con pannelli di tamponatura "incorniciati" dallo spessore strutturale di pareti e solai. Le facciate sono quindi scandite dall'alternanza di pannelli opachi e parzialmente trasparenti, dotati di finestra, davanzale e soprafinestra contenente il sistema schermante costituito dall'avvolgibile. Come mostrato in Figura 5, è comunque evidente la necessità del ponteggio per la realizzazione della chiusura verticale.

Fig. 5 – Modena, cantiere dell'intervento di SGI nel quartiere Amendola a struttura ultimata (ACS-Sogene, F. 4091 B. 148).

Conclusioni

La costruzione di edifici con struttura cellulare realizzata facendo ricorso a casseforme meccanizzate, ovvero all'industrializzazione dei getti di calcestruzzo, rappresenta l'ultima fase dell'evoluzione italiana in tema di industrializzazione edilizia. Nell'arco di un ventennio si assiste infatti a una rapida evoluzione, che copre un'ampia gamma di tecniche industrializzate: dalla meccanizzazione e prefabbricazione a piè d'opera degli anni Cinquanta, a quella in officina degli anni Sessanta e a quella aperta dei primi anni Settanta. Di questo percorso si ritrova traccia nelle vicende della Sogene, che si distingue come soggetto promotore delle varie forme di industrializzazione in virtù della sua struttura organizzativa e della sua radicata presenza nel settore edilizio italiano, pubblico e privato (Spada, 2020).

Il quartiere Amendola di Modena testimonia parte delle sperimentazioni degli anni Settanta, ovvero quelle relative al rinnovato utilizzo di sistemi a pareti portanti, rigidi quanto quelli utilizzati nel decennio precedente ma meno costosi, ovvero compatibili con i limiti di spesa imposti per l'edilizia convenzionata grazie alla prefabbricazione in cantiere anziché in officina.

Questa stagione della storia della costruzione nazionale per quanto sia stata supportata, già a partire dal dopoguerra, da un robusto dibattito teorico principalmente riferito al polo milanese, si è dimostrata un'esperienza che ha evidenziato limiti e insuccessi. La prefabbricazione pesante dei primi anni Sessanta nasce in risposta al crescente costo della manodopera, ma la crisi edilizia della seconda metà del decennio annulla la convenienza nello spostare la produzione dal cantiere all'officina.

D'altra parte, l'edilizia per componenti dei primi anni Settanta, di cui il sistema S70 messo a punto da Sogene è prova, non registra un adeguato supporto da parte

dell'industria legata alla filiera edilizia in termini di investimenti nel settore, forse per la mancanza di una reale volontà, da parte delle imprese, di adoperare un cambio di rotta nella strategia aziendale.

Il ricorso, o meglio il ritorno alla struttura a pareti portanti negli anni Settanta testimonia una sorta di resa dei conti rispetto a quella ultima e speranzosa prova sull'edilizia per componenti che si era cercato di avviare; una disfatta tanto più accentuata dalla politica statale, la quale fissa un prezzo massimo per metro quadrato di superficie utile che incentiva l'utilizzo della struttura portante continua.

L'esperienza delle cooperative bolognesi per quanto possa essere una positiva eccezione, se non altro per la qualità degli spazi riferita agli interventi nel loro complesso ovvero all'inclusione, anche sociale, tra i quartieri realizzati e il tessuto urbano consolidato, rappresenta la fase calante dell'evoluzione italiana in tema di industrializzazione edilizia, che non troverà un seguito nei successivi anni Ottanta.

Fonti

ACS: Archivio Centrale dello Stato di Roma.

Bibliografia

Campolongo A. 2003. *Argomenti di Architettura-tecnica*. Rende: Centro Editoriale Librario.

Cuccia G. 2003a. Il ciclo produttivo. In: *La Società generale immobiliare Sogene. Storia, archivio, testimonianze* (a cura di P. Puzzuoli). 46-50. Roma: Palombi

Cuccia G. 2003b. La concezione ed applicazione di nuove tecniche. In: *La Società generale immobiliare Sogene. Storia, archivio, testimonianze* (a cura di P. Puzzuoli). 134-158. Roma: Palombi

Greco L. 2009. La ricerca sull'edificio alto. In: *La Torre Galfa di Melchiorre Bega. Architettura e costruzione* (a cura di L Greco, S. Mornati). 20-36. Roma: Gangemi.

Iori T. 2012. Préfabrication et industrialisation made in Italy. In: *Architecture industrialisée et préfabriquée: connaissance et sauvegarde* (a cura di F. Graf, Y. Delemontey). 73-85. Lausanne: EPFL Press.

Iori T. 2021. Le imprese di costruzioni italiane: una storia tutta da scrivere. L'industria delle costruzioni, 477, 4-9.

Martini A. 2003. La Società generale immobiliare nella memoria dei dirigenti. In: *La Società generale immobiliare Sogene. Storia, archivio, testimonianze* (a cura di P. Puzzuoli). 26-36. Roma: Palombi

Pifferi E. 1959. La Torre Velasca a Milano. Quaderni della Società Generale Immobiliare, 11, 1-40.

Poretti S. 2004. La costruzione. In: *Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento* (a cura di F. Dal Co). 268-293. Milano: Electa.

Red. 1974. Le case prefabbricate sentono il peso degli anni. La Gazzetta del Popolo – Cronaca di Torino, 10.11.1974.

Red. 1977a. I procedimenti costruttivi. Quaderni della Società Generale Immobiliare, 35, 39-41.

Red. 1977b. Gli interventi. Quaderni della Società Generale Immobiliare, 35, 12-37.

Spada F. 2020. Aspects of constructive innovation in the activity of the Società Generale Immobiliare (SGI) in Italy (1950s-1970s). In: *Proceedings of the 7th Conference of the Construction History Society* (J. Campbell et al. Eds.). 185-196. Cambridge: Construction History Society.

Spada F. 2021. Italian tower building of Società Generale Immobiliare (SGI) in the 1950s-1960s. Some Milanese case studies. In: *Proceedings of the 7th International Congress on Construction History (7ICCH)* (J. Mascarenhas-Mateus and A.P. Pires Eds.). 1, 586-593. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis.

Talanti A. 1978. *L'industrializzazione edilizia in Italia 1955-1974*. Milano: AIP.

Vitale D. 1975. Le cooperative emiliane. Lotus, 10, 56.

Note

1. Cfr. "Verbale del Consiglio di Amministrazione del 29/3/1967". In: Ministero della Cultura, ACS, Serie H/34 Società Generale per i Lavori e Pubbliche utilità – Sogene, Fondo 4846, busta 10.2, 1967.
2. "Relazione del Consiglio di Amministrazione all'assemblea del 2/4/1962 relativa all'esercizio 1961". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 8.1, 1962.
3. Cfr. "Nota di aggiornamento tecnico: il settore elaborazione automatica dei dati". In: ACS-Sogene, Fonfo 4846, busta 10.2, 1967.
4. Cfr. "Relazione sull'attività nei primi due quadrimestri dell'esercizio 1964 e prospettive finali". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 9.1, 1964.
5. "Relazione al Consiglio d'Amministrazione all'assemblea dei 18/4/1964 relativa all'esercizio 1963". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 9.1, 1964.
6. "Verbale del Consiglio di Amministrazione del 15/9/1965". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 9.2, 1965.
7. Cfr. "Diagramma sull'incidenza percentuale della manodopera sul costo delle costruzioni edilizie". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 8.1. 1962.
8. Cfr. "Iniziative di studi attualmente in corso presso l'ufficio tecnico della Sogene". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 9.2 (1965).
9. Cfr. "Iniziative di studi attualmente in corso presso l'ufficio tecnico della Sogene". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 8.2 (1963).
10. Cfr. "Rassegna dei cantieri al 27/10/66". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 10.1 (1966).
11. "Relazione al Consiglio di Amministrazione per la presentazione del bilancio al 31/12/1965". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 9.2 (1965).
12. Ibidem.
13. "Promemoria del 13/11/1969". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 11.2 (1969).
14. "Verbale del Consiglio di Amministrazione del 28/4/1969". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 11.2 (1969).
15. "Nota del 25/10/1971 sugli studi relativi alla nuova tecnica di costruzione per l'edilizia". In: ACS-Sogene, Fondo 4846, busta 12.1 (1971).
16. "Modena. PEEP. Via Amendola. Cantiere". In: ACS-Sogene, Fondo 4091, busta 148 (1977).

Renato Morganti, Alessandra Tosone,
Danilo Di Donato, Matteo Abita

Tubi e sistemi resistenti in acciaio. Studi e brevetti della Dalmine per l'impiego strutturale in edilizia

Tubes and steel structures. Studies and patents of Dalmine Company for the structural use in the building sector

Sommario
La Dalmine - oggi Tenaris - è già nel primo Novecento una delle aziende del settore siderurgico di maggiore rilievo nel Paese grazie alla produzione di tubi in acciaio utili in diversi campi dell'ingegneria. Nella metà degli anni '50 la strategia di continuo ampliamento del mercato comporta lo sviluppo di ricerche sul possibile impiego di tubi in settori fino al tempo poco sperimentati e potenzialmente remunerativi. Seguendo l'esempio di alcuni competitor internazionali, l'azienda avvia nuovi studi per "la costruzione di grandi palazzi" cogliendo un momento di progressivo incremento dell'attività edilizia. Il contributo, attraverso le fonti della Fondazione Dalmine, intende ricostruire lo sviluppo di studi, sperimentazioni e brevetti orientati all'inserimento dei tubi nei sistemi resistenti degli edifici.

Abstract
Dalmine Company - nowadays Tenaris - was already in the first part of 20th century one of the most relevant companies of the Italian steel industry thanks to the production of steel tubes that were used in many engineering fields. In the mid-1950s, the strategy of continuous expansion of the market involved the development of researches on the possible use of tubes in less experimented and potentially profitable sectors. Following the example of some international competitors, the company began new studies for "the construction of big buildings", seizing a period of progressive increase of the building activity. This paper aims to retrace the development of studies, experimentations and patents linked to the use of tubes in the building structures with bibliographical and archival references provided by the Dalmine Foundation.

Nascita della Dalmine e impiego dei tubi in edilizia fino al secondo Dopoguerra

I fratelli Reinhard e Max Mannesmann, produttori di lime in ferro vicino Düsseldorf, mettono a punto alla fine dell'Ottocento un innovativo processo di laminazione di

tubi in acciaio, con l'obiettivo di evitare gli incidenti causati dalla fuoriuscita di gas ad alta pressione dalle saldature dei componenti impiegati nei motori a vapore (Koch, 1965). Dopo la registrazione del primo brevetto nel 1886 e lo sviluppo, quattro anni più tardi, del laminatoio "a passo di pellegrino" che ottimizza il processo di produzione industriale, i Mannesmann fondano nuove fabbriche in Austria e in Germania e istituiscono la società *Deutsch-Österreichische Mannesmannröhren-Werke AG*. La crescente richiesta sul mercato internazionale nel periodo prebellico convince i vertici aziendali a espandere la produzione anche in Italia dove dal 1906 realizzano a Dalmine un nuovo stabilimento, grazie al partenariato con la Società Metallurgica Italiana-SMI e all'interessamento di alcuni politici locali (Scagnetti, 1923).

L'entrata in guerra nel 1915 determina lo scioglimento del legame con la casa madre tedesca e il riassetto societario e organizzativo nell'immediato dopoguerra (Della Valentina, 2006). Grazie all'implementazione di due acciaierie e alla diversificazione dei prodotti, gli stabilimenti della Dalmine conoscono un periodo di progressiva crescita, cui contribuiscono le opportune scelte imprenditoriali del nuovo gruppo dirigente, di cui fa parte Agostino Rocca (Lussana, 1999). L'ingegnere milanese è una figura emergente del nuovo *management* pubblico e membro del direttivo dell'IRI, l'Istituto di Ricostruzione Industriale che nel 1933 rileva la Dalmine insieme ad altre società della siderurgia italiana, con l'obiettivo di sostenere le attività di riconversione industriale. Fino al 1944 i campi di applicazione per i tubi Dalmine sono gli impianti di distribuzione di fluidi, l'industria bellica e le costruzioni meccaniche, in particolare quelle automobilistiche, aeronautiche, navali e ferroviarie. Il settore delle strutture metalliche, meno rappresentativo rispetto ai precedenti, comprende due indirizzi: da un lato la costruzione di "torri tubolari" temporanee e permanenti, dall'altro l'inserimento di colonne nelle strutture degli edifici (Stabilimenti di Dalmine, 1928).

Il primo indirizzo è rivolto alla messa a punto di torri a traliccio per gli impianti di distribuzione dell'energia elettrica e torri tubolari smontabili per costruzioni edilizie, che assumeranno successivamente le caratteristiche dei tradizionali ponteggi. Nel caso delle torri a carattere permanente, la società sviluppa un sistema costruttivo nel quale i collegamenti tra i tubi, schiacciati alle estremità, sono risolti in tre modi: bullonati o saldati a un fazzoletto fissato sulle aste, oppure tagliati in corrispondenza della parte piatta e saldati.

Il secondo indirizzo per il settore delle costruzioni edili è l'impiego di "colonne tubolari Mannesmann", proposte come ideali sostitute dei componenti in ghisa per una serie di vantaggi: il migliore comportamento isotropo dell'acciaio, la maggiore resistenza a compressione e flessione che permette luci più ampie tra gli elementi costruttivi, gli spessori più sottili delle sezioni con conseguente risparmio nel trasporto e nel montaggio, la migliore resistenza al fuoco dovuta alla duttilità del materiale. Per dimostrarne l'efficacia, la Dalmine esegue alla fine degli anni Venti delle prove a Schaffhausen in Svizzera (Stabilimenti di Dalmine, 1927).

Fig. 1 – Colonne tubolari Mannesmann: la copertina del listino e il loro impiego in alcuni edifici degli anni Trenta a Dalmine (Stabilimenti di Dalmine, 1927; Dalmine S.p.a., 1942).

Negli anni Trenta la società estende la produzione, immettendo sul mercato colonne a sezione quadrata e rettangolare, e fornisce servizi di consulenza ai progettisti, tra i quali la scelta degli elementi resistenti in funzione dei carichi, l'adeguamento geometrico della base di ancoraggio e del capitello, nonché la predisposizione dei collegamenti (Dalmine S.p.a., 1942). Nonostante la cura per questo comparto produttivo, le colonne tubolari sono impiegate poco al di fuori del settore dei magazzini industriali e della *company town* di Dalmine, come mostrato in Figura 1, e negli edifici sono utilizzate talvolta come elementi d'arredo a discapito della loro funzione strutturale. Il mancato sviluppo di un sistema costruttivo in grado di risolvere le criticità nei collegamenti e l'esigenza da parte del cliente di ricorrere ad appalti con scorporo per le diverse parti dell'ossatura portante, sono state probabilmente le ragioni che ne hanno limitato l'utilizzo.

La ricerca sull'impiego dei tubi in edilizia è ripresa nel secondo Dopoguerra, quando, in una fase di espansione della società, è dato nuovo impulso al settore grazie al confronto con l'operato delle aziende europee concorrenti.

Dagli esempi internazionali agli studi e alle realizzazioni del Centro Carpenteria Dalmine dal secondo Dopoguerra

Dopo i bombardamenti del 1944, la Dalmine riprende la piena produttività solo due anni più tardi e una serie di opportune congiunture sul piano politico ed economico le consentono non solo di partecipare attivamente al processo di ricostruzione del Pa-

ese, ma anche di competere sul mercato internazionale. Il piano di riorganizzazione dell'industria siderurgica italiana sviluppato dal direttore della FINSIDER, Oscar Sinigaglia, colloca la Dalmine in una posizione strategica quale fornitore di tubi per le principali industrie nazionali, come FIAT ed ENI, e gli accordi della CECA e dell'E-CA accolgono con favore una politica di espansione transnazionale (Ranieri, 2004).

Questo orientamento è attestato anche nel settore delle costruzioni metalliche: tra il 1947 e il 1951 sono pubblicati alcuni articoli a firma di ingegneri della Dalmine sulla rivista francese *L'ossature métallique* che mostrano le «ampie possibilità di applicazione del tubo di acciaio nelle carpenterie» (Indaco, 1947), utilizzando soprattutto esempi di grandi coperture, fabbriche e torri per elettrodotti realizzate in Italia (Biffignandi, 1948 - 1951). Le tipologie scelte dalla società rappresentano i casi più diffusi di strutture tubolari, ma all'inizio degli anni Cinquanta alcune società europee si affacciano alla costruzione di edifici di grandi dimensioni e sanciscono l'apertura del mercato al settore edilizio.

Ad esempio la Mannesmann impiega nel 1954 i tubi in acciaio per costruire il nuovo quartier generale a Düsseldorf, in Figura 2, un edificio per uffici a torre di 24 piani collocato a fianco della storica sede progettata da Peter Behrens. Gli architetti Paul Schneider-Esleben ed Egon Eiermann elaborano con l'ingegnere Herbert Knothe un sistema resistente caratterizzato da un nucleo interno in calcestruzzo armato, da colonne continue in tubi in acciaio collocate sul perimetro e travi principali e secondarie con profili a sezione aperta (Schneider-Esleben, 1956). In particolare, viene messo a punto un collegamento a tre vie che prevede il preassemblaggio in officina mediante la saldatura di: tre piatti sulla testa della colonna per la connessione con le travi mediante unioni bullonate; un collare utile all'alloggiamento dei piatti fissati alle estremità delle travi principali; mensole per accogliere i montanti della struttura del *curtain wall* (Hauke, 2019). Nel basamento della torre, tubi in acciaio esposto di maggiore diametro e di altezza pari al doppio dell'interpiano sostengono una trave composta a parete piena su cui sono fissate le colonne perimetrali. Questo sistema viene utilizzato anche più volte nel corso degli anni Cinquanta e la società tedesca non è l'unica a proporre soluzioni per l'impiego dei tubi nelle strutture di grandi edifici.

Il gruppo siderurgico Lorraine-Escaut, fondato nel 1953 a seguito della fusione di diverse società tra le quali la Escaut et Meuse, capofila in Francia per la fabbricazione di tubi in acciaio, realizza negli stessi anni la propria sede direzionale a Parigi, un edificio di 10 piani collocato in un lotto triangolare sulla Rue Spontini, a breve distanza dall'Arco di Trionfo, ancora in Figura 2. A differenza del grattacielo tedesco, gli architetti Jean Demaret e Jean Zimmermann utilizzano profili a sezione aperta lungo il perimetro e tubi in acciaio per gli elementi verticali all'interno dei telai (Pascaud, 1957).

La forma e l'ingombro delle colonne consente infatti ampia flessibilità nell'organizzazione dello spazio interno, inoltre, le colonne sono preassemblate in officina

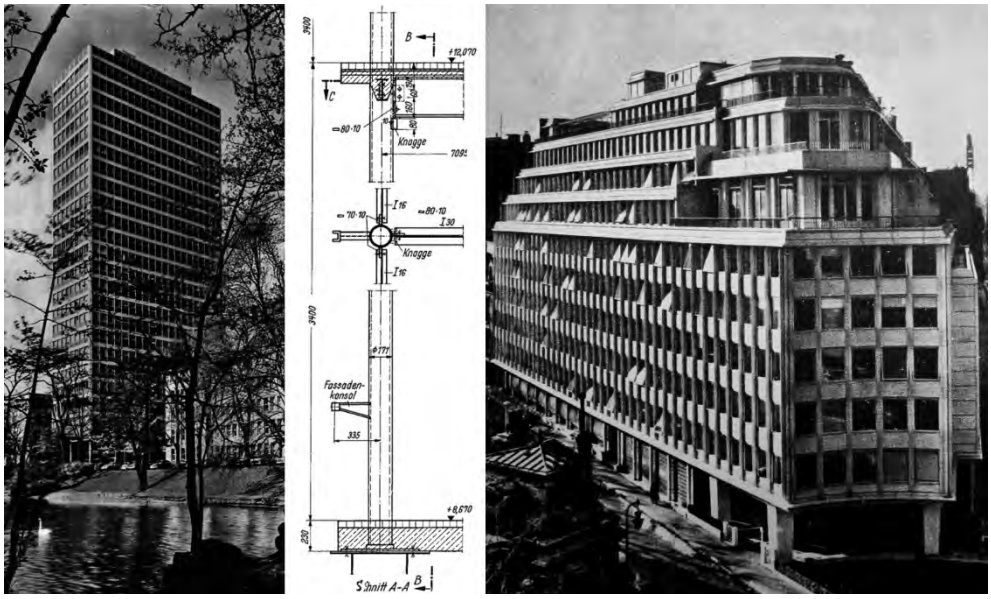


Fig. 2 – Il grattacielo della Mannesmann a Düsseldorf con il dettaglio del nodo colonna-trave (a sinistra) (TUM); la sede della Lorraine-Escaut a Parigi (a destra) (Finsider).

con base di ancoraggio e capitello utili al collegamento alle travi principali continue mediante unioni bullonate. Nell'attacco a terra, la struttura è ripresa da una serie di portali in composizione saldata e privi di sostegni verticali intermedi.

Queste due realizzazioni non passano inosservate alla direzione della società della bergamasca che nel luglio del 1957 afferma di aver già intrapreso uno studio «per l'impiego dei tubi nella costruzione dei grandi palazzi, analogamente a quanto fatto dalla Mannesmann e dalla Escaut et Meuse per le loro nuove sedi» (Dalmine S.p.a., 1957). Infatti, nelle pubblicazioni tecniche aziendali, se fino al 1956 è quasi del tutto assente il riferimento all'impiego dei tubi nelle strutture degli edifici, dall'anno successivo è delineata una duplice strategia aziendale: la conduzione di studi per ottimizzare l'uso dei tubi nell'edilizia e l'applicazione in una serie di costruzioni che ne possano validare gli esiti. La divisione responsabile di queste attività è il Centro Carpenteria Dalmine, specializzato nella progettazione e nella consulenza per il settore delle costruzioni metalliche, il cui ufficio tecnico è diretto dal 1952 dall'ingegnere Umberto Venanzi (Dalmine S.p.a., 1954; Dalmine, 1956).

Gli studi condotti dal Centro Carpenteria sembrano voler superare le limitazioni incontrate nel primo Novecento, adottando una logica che si avvicina alla concezione del sistema costruttivo.

Oltre alla consueta messa in evidenza dei vantaggi geometrico-inerziali dei tubi, nel 1957 è proposto un campionario di collegamenti con strutture orizzontali utili ad agevolare il lavoro di progettisti e costruttori. Nel caso della collaborazione con profili in acciaio a sezione aperta, le colonne possono essere munite in testa «di capitelli e mensole» per il collegamento alle travi principali o «di flange per l'unione di più tronchi sovrapposti», rendendo possibile all'occorrenza di optare per unioni saldate o bullonate (Vannacci, 1957). La predisposizione di un set di collegamenti è studiata anche nel caso della collaborazione con strutture in calcestruzzo armato, con il quale sono messe a confronto per evidenziare la snellezza dei tubi rispetto alle dimensioni dei pilastri a parità di carico assiale. Gli studi del Centro Carpenteria tendono a evidenziare anche pregi di carattere architettonico, quali l'assenza di spigoli utili per spazi di transito, la possibilità d'uso anche senza rivestimento e la maggiore adattabilità nella riconfigurazione delle soluzioni d'arredo. Nel 1958 l'azienda sviluppa anche un bollettino sulle "Intelaiature in acciaio per edifici civili" per pubblicizzare i vantaggi e le peculiarità nell'impiego dei propri prodotti (Dalmine S.p.a., 1958a). A differenza delle precedenti pubblicazioni, non è dato risalto solo alle colonne, ma anche alle altre parti della struttura e alla loro effettiva combinazione. Sono aggiunte anche nuove informazioni circa le modalità di montaggio dei telai e l'esecuzione dei solai per i quali è possibile scegliere tra l'uso di travetti prefabbricati in laterizi armati, coperti da una soletta di cemento e lamiera grecata in acciaio con getto di completamento in calcestruzzo. Nel bollettino sono poste a corredo del testo le immagini della costruzione di una struttura progettata dal Centro Carpenteria.

In parallelo alle attività di studio, l'ufficio tecnico porta avanti la fornitura di elementi strutturali ad imprese associate e la progettazione di alcuni edifici collocati perlopiù nel Nord Italia, in Figura 3. Nel primo caso l'intervento è indiretto e limitato alla fornitura di singoli elementi strutturali. Negli edifici residenziali a lama del quartiere Ina Casa a Genova Prà, affidati all'impresa ITALSIDER, sono utilizzati tubi della Dalmine solo per due categorie di elementi strutturali, diverse per la funzionalità resistente messa in gioco da ciascuna: le colonne centrali dei telai trasversali e le diagonali dei controventi di parete (Italsider, 1971). Nell'edificio residenziale a Como, l'impiego delle coppie di tubi in sostituzione dei pilastri in calcestruzzo armato sui lati lunghi dell'edificio è funzionale esclusivamente a rafforzare la snellezza della struttura in facciata (Vannacci, 1957).

Nel secondo caso, la cura del progetto strutturale da parte del Centro Carpenteria permette un impiego diffuso dei tubi e la verifica delle soluzioni sviluppate con l'attività di studio. La tecnica costruttiva proposta dalla Dalmine è utilizzata nella struttura dell'edificio residenziale a lama denominato "El Faro", in Figura 4, ultimato nel 1959 in una delle strade principali del lungomare di Riccione (Centro Carpenteria Dalmine, 1959). Progettato inizialmente per raggiungere l'altezza di 50 metri con 14 piani, viene poi realizzato solo fino all'ottavo piano per ragioni economiche. La

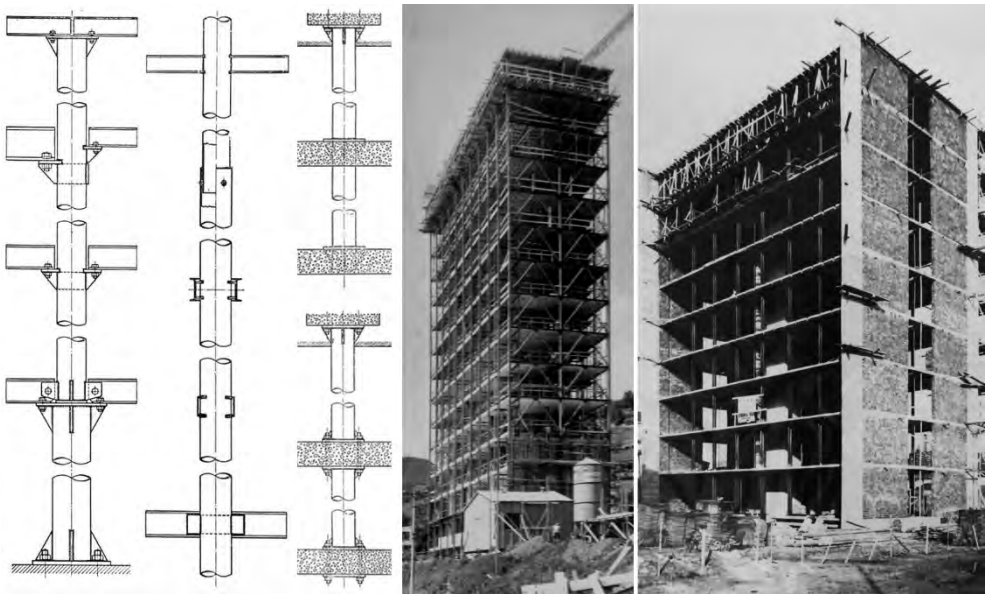


Fig. 3 – Campionario di collegamenti e impiego dei prodotti Dalmine in edifici residenziali a Genova e a Como con strutture in acciaio e c.a. (Vannacci, 1957; Italsider, 1971).

Fig. 4 – Riccione: Edificio "El Faro", inizialmente previsto con un'altezza di 50 m, struttura progettata dal Centro Carpenteria (Centro Carpenteria Dalmine, 1959).

scelta di impiegare unioni bullonate tra colonne in carpenteria tubolare e travi principali preassemblate in officina, mediante la saldatura di profili a sezione aperta e capitelli tubolari con piastre di ancoraggio, consente di completare il montaggio in poche settimane. Per rendere solidali alle travi i travetti in latero-cemento dei solai, nei punti di inversione del momento flettente i ferri di armatura dei travetti sono saldati sull'ala superiore delle travi. La carpenteria metallica della struttura, celata da un involucro in "laterizio e lamierino smaltato", è esposta nel basamento su *pilotis*.

Nello stesso periodo, il Centro Carpenteria, con la collaborazione dell'Ing. Aldo Molteni, cura anche il progetto strutturale della nuova sede della Sidercomit, dell'ILVA e delle Acciaierie di Terni a Milano, in Figura 5. Per sua magniloquenza formale, rafforzata dalle caratteristiche tipologiche e dimensionali, l'opera è a tutti gli effetti la risposta della Dalmine alle sue principali concorrenti europee come ben sottolineato dal contributo che la società mette in campo nella pubblicazione di una monografia che illustra in modo approfondito tutte le fasi del progetto e della costruzione (Ufficio Sviluppo della Siderurgica Commerciale Italiana, 1961). Come riportato nella monografia, l'edificio per uffici, di otto piani è collocato in un lotto dalla forma trapezoidale su Corso di Porta Nuova e la struttura in acciaio, utilizzata nelle due ali della pianta a C, è adattata alla «maglia modulare quadrata - avente lati 31,5 cm» scelta in base alle caratteristiche dello spazio interno e del sistema di facciata. Le colonne in carpenteria tubolare, le travi a doppio T e i capitelli con le piastre di ancoraggio sono saldati tra loro a piè d'opera su un'apposita «intelaiatura di riscontro» utile a garantire il corretto posizionamento degli elementi e, infine, i «portali a due campate» così assemblati sono poi sovrapposti e collegati mediante unioni saldate in opera. In questo modo sono montati i dieci telai disposti in senso trasversale alle ali dell'edificio, collegati tra loro mediante travi a doppio T anch'esse saldate. Nei punti maggiormente sollecitati per gli elementi orizzontali sono impiegate travi accoppiate o sono aggiunte piattabande di rinforzo. Il Centro Carpenteria utilizza colonne con uguale diametro, ma spessore variabile a seconda dei carichi e convoglia all'interno dei tubi pluviali e cavi, inoltre, la resistenza al fuoco è garantita dall'applicazione di coppelle di feltro, gesso e juta, armate con tondini di acciaio. I solai in latero-cemento sono realizzati usando le stesse soluzioni tecniche adottate nell'edificio a Riccione, mentre per le parti in curtain wall dell'involucro si ricorre all'impiego di una sottostruttura in lamiera zincata sagomata a freddo fornita dall'ILVA di Genova che provvede anche alla costruzione dei pannelli copri-trave e delle finestre.

Oltre alla progettazione di questi edifici, la società investe in studi riguardanti la prefabbricazione, operando a fianco di altri soggetti impegnati nello sviluppo dello stesso comparto edilizio. I risultati di questo impegno sono esposti alla Fiera della Casa del 1958, dove le "strutture portanti Dalmine" sono presentate nel progetto coordinato dall'Ufficio Italiano Sviluppo Applicazioni Acciaio-UISAA in combinazione con componenti di solaio e di parete prefabbricati (Dalmine S.p.a., 1958b).

Fig. 5 – Struttura per la sede della Sidercomit a Milano e fase di saldatura a pié d'opera (Ufficio Sviluppo della Siderurgica Commerciale Italiana, 1961).

L'anno successivo la rivista Casabella sancisce il connubio Dalmine-Feal pubblicando un prototipo di un sistema per "ossature prefabbricate di edifici multipiani" (Dalmine S.p.a., 1959).

Nel febbraio del 1959 il Centro Carpenteria contribuisce anche all'istituzione del "Centro studi sulle costruzioni metalliche" presso l'Università di Pisa, luogo di formazione di Umberto Venanzi. Gli obiettivi sono la ricerca nel settore e la formazione di specialisti mediante corsi da svolgere sia in aula a Pisa che all'interno degli stabilimenti di produzione (Donato, 1959).

Il lavoro del Centro Carpenteria e l'impegno dell'azienda bergamasca per l'impiego dei tubi in edilizia diventano meno riconoscibili a partire dal febbraio del 1960, quando il gruppo FINSIDER rileva gli uffici tecnici della Dalmine e dell'ILVA per integrarli nella società CMF – Costruzioni Metalliche Finsider - della quale Umberto Venanzi assume il ruolo di vicedirettore.

Ricostituzione del Centro Carpenteria Dalmine e pubblicazione dei brevetti

L'esperienza nella CMF dura sette anni, durante i quali i tecnici che prima facevano parte del Centro Carpenteria collaborano alla realizzazione di importanti opere, tra le quali alcuni edifici per uffici e per il commercio nelle maggiori città italiane. Alcune realizzazioni significative nelle quali è possibile evidenziare l'impiego di prodotti

Fig. 6 – Torino: sede RAI, prove di carico e montaggio della carpenteria realizzata nel periodo di collaborazione con la CMF (Dalmine S.p.a., 1962).

della Dalmine sono i grandi magazzini La Rinascente di Genova e le sedi direzionali della RAI di Roma e di Torino. In particolare, per il palazzo piemontese, in Figura 6, sono eseguite nel 1962 dal Laboratorio Centrale una serie di prove utili a verificare le proprietà meccaniche delle colonne a sezione quadrata scelte per la struttura estroflessa dell'edificio (Dalmine S.p.a., 1962).

Alcune note su questi progetti e su "l'impiego del tubo d'acciaio in edilizia" nel periodo di collaborazione all'interno della CMF sono fornite da un contributo sulla rivista Costruzioni Metalliche a firma di Giovanni Quattordio, ingegnere del Servizio Progettazione Centrale della Dalmine (Quattordio, 1968). Non a caso, l'articolo è pubblicato nel gennaio del 1968, quando la società decide di ricostituire il Centro Carpenteria che è nuovamente affidato alla direzione di Venanzi (Dalmine S.p.a., 1968). Oltre a riprendere l'organizzazione delle attività condotte fino al 1960, l'ufficio tecnico porta avanti anche la brevettazione dei sistemi costruttivi messi a punto alla fine degli anni Cinquanta, con l'aggiunta di alcuni più recenti sviluppi. Gli obiettivi di questa iniziativa sembrano essere non solo quelli di sottolineare la paternità della Dalmine di alcune soluzioni tecnologiche, evitando che altre aziende esterne o affiliate se ne possano indebitamente appropriare, ma anche il rilancio della propria capacità ideativa nel mercato dell'edilizia.

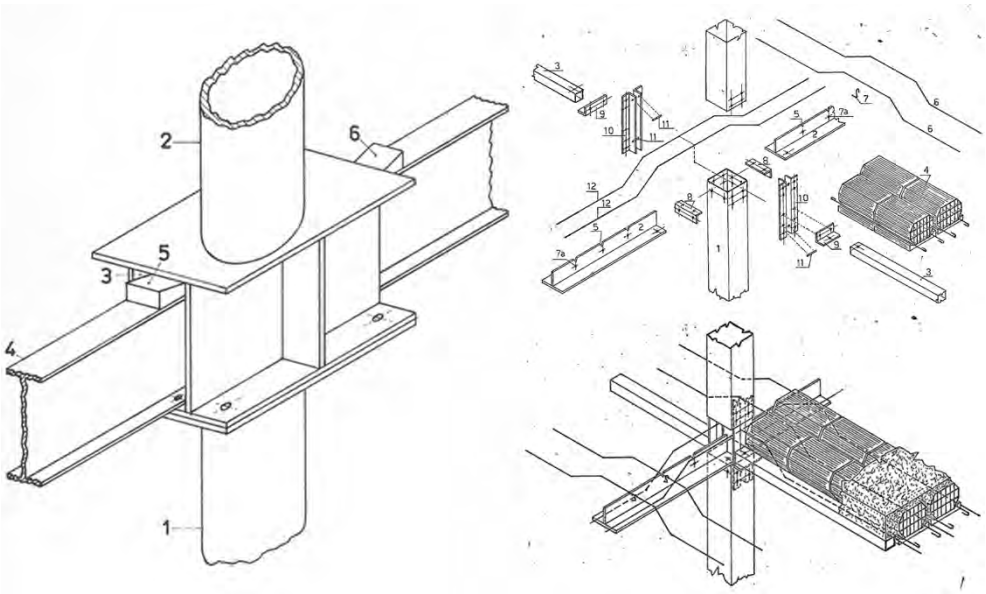


Fig. 7 – Brevetti Dalmine incentrati sullo sviluppo di nuovi tipi di collegamenti e strutture miste acciaio-calcestruzzo: "Metodo per la giunzione di elementi di ossature in edilizia", 1968 (a sinistra); sistema costruttivo per "l'impiego di tubi sia per elementi verticali che orizzontali", 1971 (a destra) (Dalmine S.p.a., 1968; Dalmine S.p.a., 1971).

Tra il 1968 e il 1975 sono registrati quattro brevetti, dei quali tre a firma del direttore Venanzi. Nel primo, "Metodo per la giunzione di elementi di ossature in edilizia", in Figura 7, è riproposta nel 1968 una struttura in acciaio con elementi verticali in carpenteria tubolare e travi con profili a sezione aperta, con una novità riguardante i nodi di collegamento a una o più vie (Dalmine S.p.a., 1968). Le colonne sono infatti sovrapposte mediante un capitello in composizione saldata definito "canale di attraversamento", poiché consente il passaggio della trave al suo interno. Gli elementi strutturali sono collegati tra loro mediante unioni bullonate e, per migliorare il rendimento statico delle giunzioni possono essere inseriti dei cunei in acciaio per indurre delle coazioni tra travi e pilastro.

Il secondo brevetto, registrato nel 1971, sempre in Figura 7, propone invece un sistema costruttivo misto acciaio-calcestruzzo per «l'impiego di tubi sia per elementi verticali che orizzontali» (Dalmine S.p.a., 1971). É infatti prevista una struttura con pilastri in acciaio a sezione chiusa utili a essere riempiti e distanziati tra loro mediante coppie di angolari che consentono il collegamento agli elementi orizzontali. Questi sono costituiti da una geometria che permette la collaborazione con solai in latero-cemento e con i suoi dispositivi di armatura.

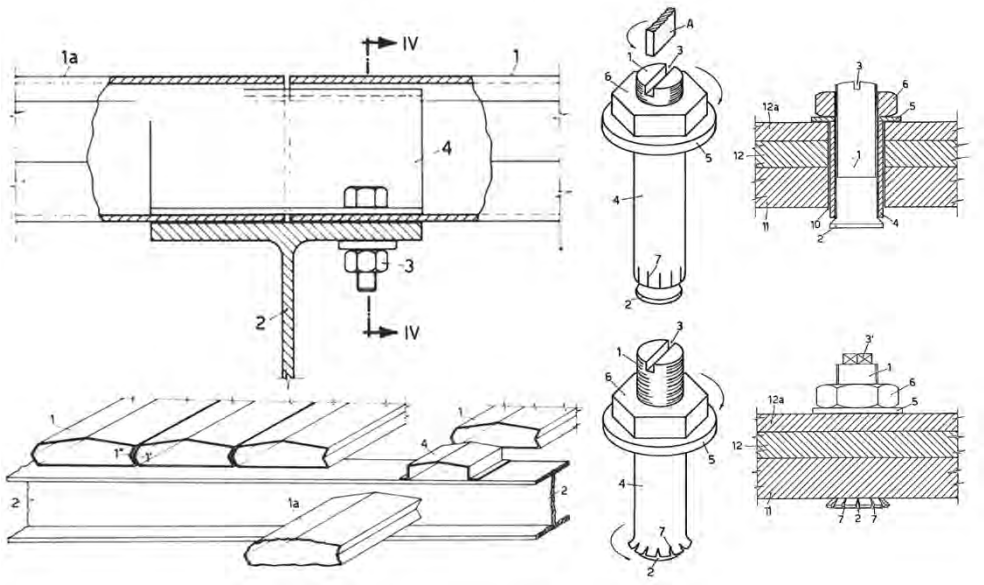


Fig. 8 – Brevetti Dalmine: "elementi tubolari" in acciaio per la realizzazione di impalcati, 1973 (a sinistra); "bullone a espansione per unire elementi strutturali a corpi cavi", 1975 (a destra) (Dalmine S.p.a., 1973; Dalmine S.p.a, 1975a).

Sui componenti del solaio è incentrato il brevetto del 1973, in Figura 8, che presenta "elementi tubolari" in acciaio per la realizzazione di impalcati (Dalmine S.p.a., 1973). Questi sono assemblati in officina con lamiera piegata a freddo oppure laminati a caldo, sono di forma rettangolare con profili concavi e convessi complementari sui lati corti e possono essere riempiti con materiale isolante. Il fissaggio mediante unioni bullonate è previsto solo per una delle due estremità.

Nell'ultimo brevetto del 1975, ancora in Figura 8, Venanzi propone un "bullone ad espansione per unire elementi strutturali a corpi cavi" utile a superare le limitazioni dei collegamenti tra profili tubolari (Dalmine S.p.a, 1975a). Questo può essere costruito con un gambo munito di una ghiera che si deforma e si espande con la rotazione e l'attrito definiti dall'operazione di serraggio. Con questo brevetto, la Dalmine sviluppa nell'anno successivo anche una "Proposta per l'edilizia civile", un sistema costruttivo basato sull'impiego di colonne prive di elementi saldati solitamente predisposti per le operazioni di collegamento (Dalmine S.p.a., 1975b). Oltre all'attività di brevettazione, il Centro Carpenteria Dalmine mette a disposizione di progettisti e costruttori delle dispense con esempi di calcolo strutturale e partecipa alla progettazione e alla realizzazione di alcuni edifici (Dalmine S.p.a., 1969).

Lo scenario cambia nella seconda metà degli anni Settanta: la progressiva crisi del settore dell'edilizia comporta un minore interessamento a questo settore da parte dell'azienda e il tramonto dell'impiego dei tubi nelle strutture degli edifici è confermato dalle decisioni prese dal riassetto industriale e dal trasferimento nel 1976 di Umberto Venanzi al Servizio Tecnico Commerciale.

Conclusioni

Da «borgata agricola nei dintorni di Bergamo», Dalmine diventa in pochi decenni un «formidabile strumento di produzione» (Ravanelli, 1976) e un distretto industriale capace nel corso del Novecento di assumere una posizione di rilievo anche nello scenario internazionale. Tra gli ambiti applicativi del tubo in acciaio senza saldatura, l'impiego strutturale in edilizia è centrale nelle strategie aziendali, pur non rappresentando una quota di mercato significativa. A conferma che «il tubo non è soltanto un conduttore di fluidi: è pure un elemento strutturale» (Venanzi, 1970), gli studi condotti già a inizio secolo per le "colonne Mannesmann" e ampliati dal Centro Carpenteria nel secondo Novecento, mostrano la continua ricerca di soluzioni costruttive utili a superare l'intrinseca criticità connessa all'impiego di carpenteria tubolare in diverse tipologie di sistemi resistenti.

Ringraziamenti

La nostra gratitudine alla Fondazione Dalmine con cui il gruppo di ricerca afferente al Dipartimento DICEAA dell'Università degli Studi dell'Aquila ha avviato da tempo un proficuo rapporto di collaborazione scientifica.

Documentazione d'archivio

Dalmine S.p.a. 1942. *Catalogo generale*.

Dalmine S.p.a. 1954. *Bollettino n. 46. Tubi di acciaio senza saldatura per costruzioni metalliche.*

Dalmine S.p.a. 1956. *Catalogo tecnico generale*.

Dalmine S.p.a., 1957. Verbale 8 luglio 1957, 106-107.

Dalmine S.p.a. 1958a. *Bollettino E 6. Intelaiature in acciaio per edifici civili*.

Dalmine S.p.a. 1958b. La presentazione delle strutture portanti "Dalmine" per edifici alla "Fiera della Casa". Rassegna Tecnica Dalmine, 11, 6-7.

Dalmine S.p.a. 1959. *Bollettino n. 45. Carpenterie tubolari*.

Dalmine S.p.a. 1962. *Determinazione, a mezzo di estensimetri elettrici a resistenza, del campo delle deformazioni e sollecitazioni unitarie in alcune parti di una colonna semplice dell'edificio Rai - Torino*. Rel. 62/59, 22.10.1962.

Dalmine S.p.a. 1968. *Metodo per la giunzione di elementi di ossature in edilizia*. Brevetto n. 839687 del 31.07.1968.

Dalmine S.p.a. 1971. *Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo: ossatura in acciaio per edifici.*

Dalmine S.p.a. 1973. *Elementi tubolari per la costruzione di impalcati solai e simili e strutture costruite con tali elementi*. Brevetto n. 940745 del 20.02.1973.
Dalmine S.p.a. 1975a. *Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo: bullone ad espansione per unire elementi strutturali a corpi cavi.*
Dalmine S.p.a. 1975b. *Proposta Dalmine per l'edilizia civile.*
Stabilimenti di Dalmine. 1927. *Listino speciale per Colonne Tubolari Mannesmann*.
Stabilimenti di Dalmine. 1928. *Catalogo generale degli Stabilimenti di Dalmine.*

Bibliografia

Biffignandi U. 1948. Applications de charpente tubulaire en Italie. L'ossature métallique, 9, 384-392.
Biffignandi U. 1951. Les constructions tubulaires. L'ossature métallique, 12, 575-579.
Centro Carpenteria Dalmine. 1959. Struttura metallica per edifici civili. Condominio "El Faro". Rassegna Tecnica Dalmine, 16, 1-2.
Dalmine S.p.a. 1968. Ricostituito il Centro Carpenteria Dalmine. Conversazioni, 1, 20.
Dalmine S.p.a. 1969. Il tubo d'acciaio negli edifici in zona sismica. Conversazioni, 2, 14-15.
Della Valentina G. 2006. Dalmine: un profilo storico. In: *Dalmine 1906-2006. Un secolo di industria* (a cura di Amatori F., Licini S.). Dalmine: Fondazione Dalmine.
Donato L. 1959. Il centro studi sulle costruzioni metalliche dell'Università di Pisa. In: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni*, 2 febbraio 1959, 1-15.
Hauke B. 2019. Das Mannesmann-Hochhaus Düsseldorf. Stahlbau, 88, 1192-1199.
Indaco F. 1947. Le tube d'acier dans la construction de charpente. L'ossature métallique, 4, 155-160.
Italsider (a cura di). 1971. *L'acciaio nell'edilizia moderna*. Genova: Gruppo Finsider.
Koch H. 1965. 75 *Jahre Mannesmann: Geschichte einer Erfindung und eines Unternehmens, 1890-1965*. Düsseldorf: Mannesmann.
Lussana C. 1999. *1946: la prima frontiera. Dalla corrispondenza argentina di Agostino Rocca*. Dalmine: Fondazione Dalmine.
Pascaud S. 1957. Immeuble de la Societè Lorraine-Escaut à Paris. Acier, 1, 1-12.
Ranieri R. 2004. Il Piano Sinigaglia e la Ristrutturazione della Siderurgia italiana (1945-1958). Annali di Storia dell'Impresa, 15-16, 17-45.
Ravanelli R. 1976. Da borgata agricola a centro industriale. Conversazioni, 5, 4.
Quattordio G. 1968. L'impiego del tubo di acciaio nell'edilizia, Acciaio, 1,
Scagnetti G. 1923. *La siderurgia in Italia*. Roma: Industria tipografica romana.
Schneider-Esleben P. 1956. Projekt für das Mannesmann-Hochhaus in Düsseldorf. Bauen + Wohnen, 10, 313-314.
Ufficio Sviluppo della Siderurgica Commerciale Italiana (a cura di). 1961. Un edificio di acciaio: la nuova sede della Sidercomit, dell'Ilva e della Terni a Milano in corso di Porta Nuova. Milano: Siderurgica Commerciale Italiana.
Vannacci G. 1957. Le colonne in tubo di acciaio negli edifici moderni. Rassegna Tecnica Dalmine, 3, 4-5.
Venanzi U. 1970. Il tubo di acciaio nelle costruzioni metalliche. Costruzioni metalliche, 3, 3-7.

Carlo Rottenbacher, Edoardo Rovida

Some proposals on the digital catalogue card of historical drawings

Alcune proposte per le schede di catalogazione digitale dei disegni storici

Abstract

Among the many design tools, available from the Design Science, the critical examination of the historical heritage can be a significant source of ideas for the designer. Therefore, a digital catalogue card of archives and drawings, with specific areas oriented to the requirements of the designer, would be very useful also for the technicians. A proposal of catalogue card of archives should include general information such as the argument of the drawings and their availability in digital format for consultation. Moreover, the catalogue card of drawings should include specific areas oriented to two main aspects:

a) formal aspects, i.e. features and characteristics of drawings. In this way, after a critical examination, some historical ways of drawing (e.g. scales, dimensions, projections method, dimensioning and tolerances) could be source of inspiration for further ISO drawing standards;
b) content aspects. In this way, the represented objects can be useful for the various professionals concerned:
   - designers, that can get inspired by historical constructive solutions and then introduce an updated or further improved version through new materials and/or technologies;
   - industrial company historians, that can deduce and study the strategies of the Company and the market sector in a specific time through the historical production of the Companies;
   - economic historians, that can deduce economic considerations and organizational aspects starting from the historical evolution of the production and the manufacturing technologies.

In this paper the authors propose some new contents for the catalogue card of archives and drawings to give a contribution to the field. In addition, the authors propose a new idea for a “dynamic catalogue card” of drawings. This new solution is

marked by some free areas, where the designer (or the historian) can put their own personal observations. In this way, designers and/or historians could build up and take advantage of an evolving and dynamic archive as a basis for new technical design solutions or historical considerations.

Sommario

Fra i molti strumenti forniti dalla *Design Science* al servizio del progettista, l'esame critico dell'eredità storica può costituire una fonte interessante di idee innovative. Per questa ragione, sarebbe utile, anche per i tecnici, un sistema di catalogazione digitale degli archivi e dei disegni, con aree specifiche orientate alle esigenze dei progettisti. Una proposta di catalogazione degli archivi deve includere informazioni generali, quali l'argomento dei disegni conservati nell'archivio e la possibilità di consultazione digitale dei disegni stessi. Inoltre, la scheda di catalogazione dei disegni dovrebbe includere alcune aree specifiche, orientate a due aspetti:

a) quello formale, cioè riferito alla configurazione e alle caratteristiche del disegno. In tal modo, un esame critico di alcuni criteri storici di disegnare, quali scale, quotatura, metodi di proiezione e apposizione delle tolleranze, potrebbero essere fonte di ispirazione di nuove norme UNI, CEN o ISO riguardanti la rappresentazione;
b) aspetti relativi all'oggetto rappresentato, che possono essere utili per:
   - i progettisti, che possono trarre ispirazione dai disegni storici, per proporre soluzioni storiche, ad esempio con materiali e/o tecnologie moderne;
   - gli storici dell'industria, che possono dedurre e studiare le strategie dell'impresa e il settore di mercato in uno specifico momento, attraverso la produzione storica dell'impresa stessa.
   - gli storici dell'economia, che possono dedurre considerazioni economiche e aspetti organizzativi, partendo dall'evoluzione storica della produzione e delle tecnologie.

Gli autori propongono alcuni nuovi contenuti per le esistenti schede di catalogazione di archivi e di disegni, con l'obiettivo di dare un contributo in questo ambito, e propongono la "scheda di catalogazione dinamica" dei disegni. Questa nuova soluzione è caratterizzata dalla presenza di alcune aree libere, nella quali il progettista (o, rispettivamente, lo storico), con il consenso del responsabile dell'archivio, possono inserire le loro osservazioni personali. In tal modo, il progettista, o rispettivamente, lo storico, possono trarre vantaggio dalla scheda di catalogazione dinamica, come base per nuove soluzioni progettuali o considerazioni storiche.

Introduction

In the present paper, the authors, actively involved in the research on the Design Science and the Historical Heritage of Mechanics, are proposing a study about the digital catalogue card of historical drawings.

Such argument acts as a link between the two above-mentioned fields of interest. In fact, the digital catalogue card of historical drawings consists of the information about the drawing; therefore, the main idea of the paper lays on the fact that, if we expand the catalogue card and complete it with information beneficial to designers, then the historical heritage could become a database corresponding to a repository for technical achievements.

In this way, current designers might look to the vast amount of historical drawings as a source of "new ideas". Therefore, a digital catalogue card of archives and drawings, with specific areas oriented to the requirements of the designer, would be very useful also for the technicians.

A proposal of catalogue card of archives should include general information such as the argument of the drawings and their availability in digital format for consultation. Moreover, the catalogue card of drawings should include specific areas oriented to two main aspects:

a) Formal aspects, i.e. features and characteristics of drawings. In this way, after a critical examination, some historical ways of drawing (e.g. scales, dimensions, projections method, dimensioning and tolerances) could be source of inspiration for further ISO and/or CEN Standards.
b) Content aspects. In this way, the represented objects can be useful for the various professionals concerned:
   - designers, that can get inspired by historical constructive solutions and then introduce an updated version of them through new materials and/or technologies;
   - industrial company historians, that can deduce and study the strategies of the Company and the market sector in a specific time through the historical production of the Companies;
   - economic historians, that can deduce economic considerations and organizational aspects starting from the historical evolution of the production and the manufacturing technologies.

The authors propose some new contents for the existing catalogue card of archives and drawings to give a contribution to the field. In addition, the authors propose a new idea for a "dynamic catalogue card" of drawings. This new solution is marked by some free areas, where the designer (or the historian) can put their own personal observations. In this way, designers and/or historians could build up and take advantage of an evolving and dynamic archive as a basis for new technical design solutions or historical considerations.

Designer's task

Design of technical products, starting from an idea of innovative item (with modification of an existing product, or from an idea about a non-existing product) can be

defined as the identification of all the constructive features of the solution that can perform the required function.

The design activity can be divided into three main steps (Rosa et al., 2014):

a) Function definition, through verb, name and complement, e.g. “move persons on earth”.
b) Principle identification, i.e. identify the concept suitable to perform the given function, e.g. system with wheels, operated by muscular power.
c) Solutions identification, i.e. develop the embodiment of the principle, e.g. bicycle, kick scooter, skateboard.

Of course, these steps are usually connected by several recursive loops, for example, a choice in step b) may not be suitable for step c), and performed in parallel on the sub-assemblies of a product.

Principles and solutions (intended as relating to technical products and to the ways of drawing) are typically grouped in two large families: the known principles (solutions), namely the ideas that have already been applied, and new principles (solutions), that are innovative solutions. The known principles can derive from:

– Historical heritage: corresponding to historical solutions, conceived in the past and no more applied, which may be applied again today, for example, by using new materials and new technologies.
– State of the art: corresponding to the general technical knowledge of today, e.g. present in technical catalogues.

On the other hand, several methods to determine the new principles exist, such as:

– Traditional heuristic methods: e.g. by considering new physical phenomena (principle of analogy), new geometrical configurations (new forms), new kinematics (new movements), new dynamics (new phenomena to generate forces);
– Biomimetic: i.e. the proposal of new principles/solutions by observing natural phenomena (Benyus, 2002; Fournier, 2018).
– TRIZ: very well know method based on specific tools (Altshuller, 1996; Michelewicz and Fogel, 2000; Orloff, 2002).
– Critical elaboration of historical solutions: innovative principles/solutions derived by an exploration of historical databases.

Moreover, the historical heritage, in the above-mentioned description, can play a double role:

1. The historical ideas, in some cases, could be used directly without modifications (see for example Fig. 1).
2. The historical ideas can be considered as a heuristic method: e.g., it can be a source of innovative ideas, by means of critical observation (see Fig. 2).

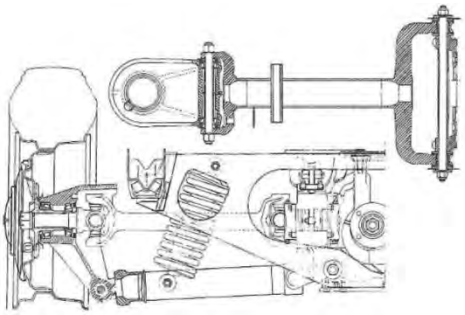


Fig. 1 – Rear suspension of the Jaguar MKX car (1961), characterized by shaft performing also the function of kinematic linkage wheel-frame.

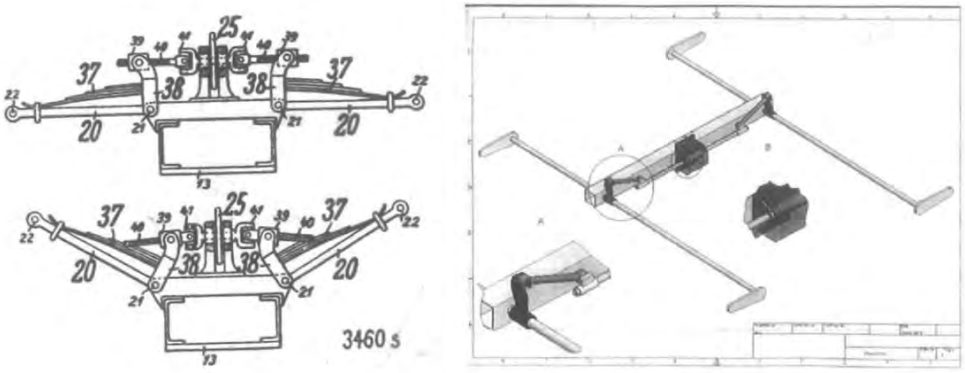


Fig. 2 – German patent (1940) relative to a suspension with possibility of level adjustment only through mechanical devices (left) and modern idea of suspension with torsion bars, inspired by the historical idea (right).

In addition, it is useful to observe that two aspects characterize all drawings (including the historical ones, here considered): the represented object and the formal representation. Therefore, the historical drawings could be a source of ideas not only for the designer, but also for the elaboration of the ISO and/or CEN ad hoc Standards.

Requirements

From the above-mentioned considerations, it is clear that the large amount of historical drawings represents a vast database useful for designers and technicians of Standardization Organizations. To take full advantage of the possibility to study and analyse the historical drawings, an unavoidable condition exists: the realization of digital archives of drawings, in which each drawing is linked with a catalogue card. The authors address the problem of the configuration of such cards that should be

structured with two levels: 1) card for archives (with general information) and 2) card for the single drawing (with specific information). Each information should be expressed by keywords, with the aim to allow the research. Fig. 3 represents such configuration with a logical scheme.

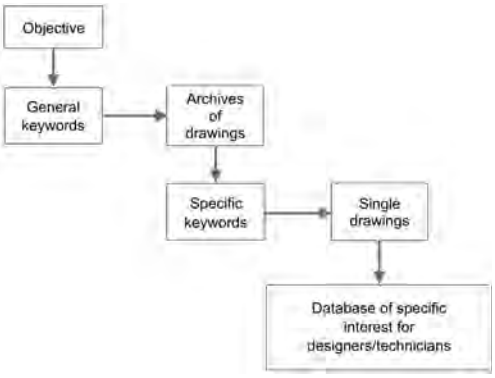


Fig. 3 – Logical scheme of the two-level configuration

Catalogue of Archives

The identification of the archive in which a drawing of interest may exist is the first step of the investigation process on the historical heritage for designing purposes. Thus, the implementation of a catalogue card of archives is the consequent operative requirement. The Table 1 presents a proposal of catalogue card of archive (Rovida, 2000-2003), applied to the Turrinelli collection[1], preserved in the *Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere in Milan* [1]. The Table shows the main information about the Institution and details about the existence of historical drawings, their numerical consistency, digitisation and relevant keywords.

Tab. 1 – Proposal of catalogue card for archives of drawings, applied to the Turrinelli Collection preserved in the Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere.

Company/Institution:	Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere
Address:	via Borgonuovo, 25 20121 Milan Italy
Telephone:	0039 2 864087
Web site:	http://www.istitutolombardo.it
Year of foundation:	1797
Is there an archive of historical drawings? YES/NO	YES
If YES, name of the specific archive:	Turrinelli Collection
If YES, date of the drawings in the archive:	Years ’20 – ‘50
If YES, approximate number of the drawings:	Ca 200
Is the archive digitized? YES/NO	NO
Is it possible to access the drawings in the archive? YES/NO	YES
If YES, keywords (the general classification of represented objects is considered, e.g. cars, trucks, machine tools, agricultural machinery, lifting machines, ..)	Electrical trucks and relative parts

Catalogue Card of Drawings

After the identification of the archive of interest, the second step in the process involves the identification of possible drawing/drawings of interest for the research. Fundamental point to achieve this goal is the implementation of the catalogue card of the single drawings. After the general information, linked to the general part of the card, defined by *Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione*-ICCD, the specific part of the card, here proposed, is relative to:

a) information about the drawing useful for the technicians of Standardization Organizations who can be interested in new drawing standards;
b) information about the represented object useful for designers, industry historians and technology historians.

The following Table 2 and Table 3 are relative to a drawing of a leaf spring from the Turrinelli archive (Fig. 4) and provide an example on how to implement the second step in the process about the catalogue card of the drawings. They show the information about the drawing and the information about the represented object, respectively.

The Tables 4 and 5 represent another example of the process: they describe the information relative to the drawing of a 1920s water tanker truck showed in Fig. 5. Table 4 contains the main information about the general features of the drawing (period, dimensions, scale, details on the type of projection used, dimensioning, tolerances etc.), while Table 5 shows details about the object represented in the drawing (function, innovation and significance for the Industrial History and History of Technology).

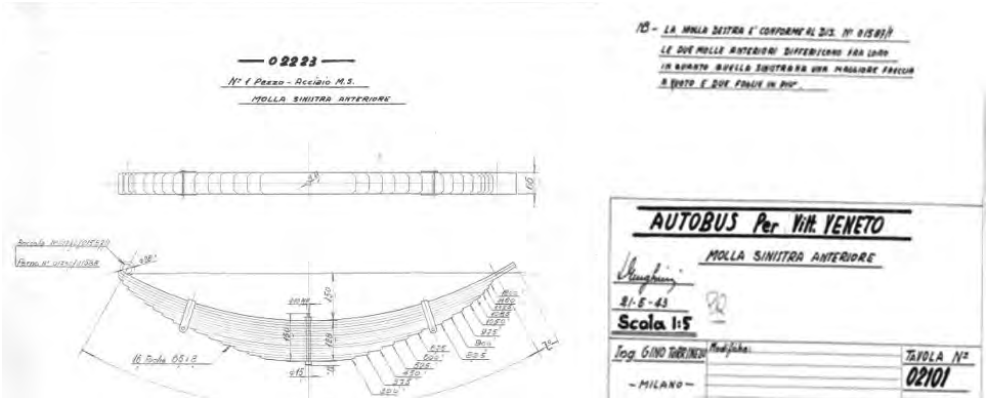


Fig. 4 – Drawing of a leaf spring from the Turrinelli archive.

Tab. 2 – Information about the drawing.

Subject matter of the drawing	*Information*
1.1 Factory	Turrinelli
1.2 Year	1943
1.3 Dimensions	A3
1.4 Scale/s	YES
1.5 Peculiarities about scales	1:5
1.6 Assembly drawing/Particular drawing	Particular drawing
1.7 White/black – Colours	White/black
1.8 Projections: orthographic/axonometric/perspective	Orthographic
1.9 Orthographic projections method: A/E/arrows	E method
1.10 Peculiarities about projections	----
1.11 Complete/simplified/schematic drawing	Complete drawing
1.12 Cuts/Sections	NO
1.13 Peculiarities about cuts/sections	-----
1.14 Dimensioning	YES
1.15 Peculiarities about dimensioning	Constructive dimensioning of a leaf spring
1.16 Dimensional tolerances	NO
1.17 Peculiarities about dimensional tolerances	-----
1.18 Geometric tolerances	NO
1.19 Peculiarities about geometric tolerances	-----
1.20 Roughness indication	NO
1.21 Peculiarities about roughness indication	-----
1.22 Execution: free hand sketch/drawing with traditional instruments/computer drawing	Drawing with traditional instruments
1.23 Texts of particular interest	YES
1.24 Specific information on the texts	Some constructive information are expressed by a textual description

Tab. 3 – Information about the represented object.

Subject matter of the represented object	*Information*
2.1 General	2.1.1 Represented object (expressed by keywords) *Leaf Spring*
	2.1.2 Function performed by the represented object (expressed by keywords) *Connection between frame and axle of the vehicle Elastic element*
2.2 Data related to the Industrial History	2.2.1 Innovations in relation to industrial development *The two springs right and left are different presumably for a different distribution of loads*
	2.2.2 Innovations in relation to the development of the Company -------
	2.2.3 Company events related to the object----------
	2.2.4 Significant people connected to the object *The name of the founder, Gino Turrinelli*
	2.2.5 Notes ----------

follows Tab. 3 – Information about the represented object.

Subject matter of the represented object	*Information*
2.3 Data related to the History of Technology	2.3.1 Innovation of the object *Different configuration of the two leaf springs*
	2.3.2 Significance of innovations in relation to the History of Technology *The address of the factory is "Via Berchet, 2 Milan" in the center of town near to the Duomo of Milan: it is a characteristic of the time (1943)*
	2.3.3 Significant events related to the represented object -------
	2.3.4 Notes -------

Tab. 4 – Information about the drawing.

Subject matter of the drawing	*Information*
1.1 Factory	Turrinelli
1.2 Year	1920
1.3 Dimensions	A3
1.4 Scale/s	YES/NO *YES*
1.5 Peculiarities about scales	-------
1.6 Assembly drawing/Particular drawing	Assembly, with some constructive information, e.g. dimensions
1.7 White/black – Colours	White/black
1.8 Projections: orthographic/axonometric/perspective	Orthographic projections
1.9 Orthographic projections method: A/E/arrows	E method
1.10 Peculiarities about projections	------
1.11 Complete/simplified/schematic drawing	Complete
1.12 Cuts/Sections	YES/NO *NO*
1.13 Peculiarities about cuts/sections	------
1.14 Dimensioning	YES/NO *YES*
1.15 Peculiarities about dimensioning	Only some general dimensions (e.g. overall)
1.16 Dimensional tolerances	YES/NO *NO*
1.17 Peculiarities about dimensional tolerances	-------
1.18 Geometric tolerances	YES/NO *NO*
1.19 Peculiarities about geometric tolerances	-------
1.20 Roughness indication	YES/NO *NO*
1.21 Peculiarities about roughness indication	-----
1.22 Execution: free hand sketch/drawing with traditional instruments/computer drawing	Drawing with traditional instruments
1.23 Texts of particular interest	YES/NO *YES*
1.24 Specific information on the texts	Some functional information

Tab. 5 – Information about the represented object.

Subject matter of the represented object	*Information*
2.1 General	2.1.1 Represented object (expressed by keywords) *Water tanker truck*
	2.1.2 Function performed by the represented object (expressed by keywords) *Transport of water and sprinkle water on the road*
2.2 Data related to the Industrial History	2.2.1 Innovations in relation to industrial development *State of the art of construction of water tanker*
	2.2.2 Innovations in relation to the development of the Company *Example of production of Turrinelli Company*
	2.2.3 Company events related to the object
	2.2.4 Significant people connected to the object *ing. Giovanni Gay*
	2.2.5 Notes
2.3 Data related to the History of Technology	2.3.1 Innovation of the object *State of the art of construction of water tanker*
	2.3.2 Significance of innovations in relation to the History of Technology
	2.3.3 Significant events related to the represented object
	2.3.4 Notes

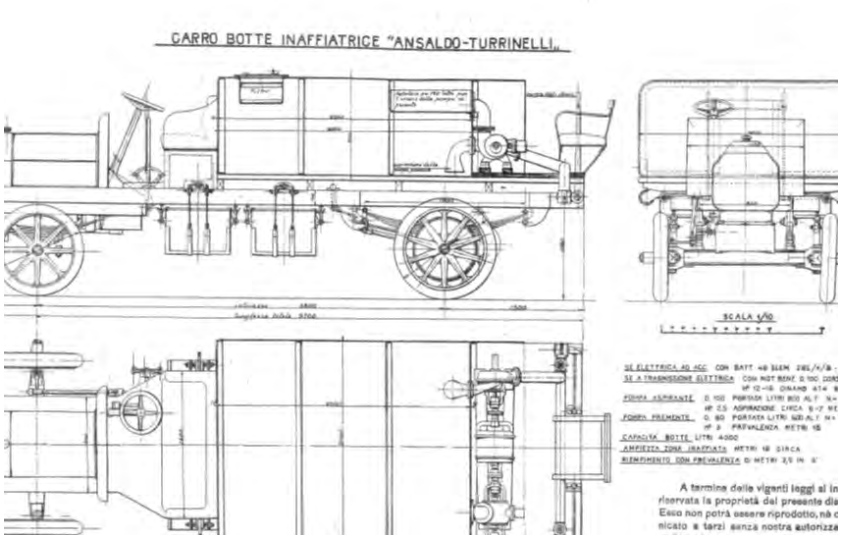


Fig. 5 – Drawing of a water tanker truck from the Turrinelli archive.

A third example of the topic is presented in Tables 6 and 7. They are relative to the drawing of a wheel of an industrial vehicle represented in Fig. 6. The drawing is interesting because it is an example of instruction for maintenance applied to the assembly of a driving wheel. The drawing is dedicated to the maintenance instructions for the lubrication of the assembly.

Similarly to previous examples, the Table 6 contains the main information about the general features of the drawing, while Table 7 shows details about the represented object.

Tab. 6 – Information relative the drawing.

Subject matter of the drawing	*Information*
1.1 Factory	Turrinelli
1.2 Year	Not indicated
1.3 Dimensions	A3
1.4 Scale/s	YES/NO *NO*
1.5 Peculiarities about scales	-----
1.6 Assembly drawing/Particular drawing	Assembly drawing
1.7 White/black – Colours	White/black
1.8 Projections: orthographic/axonometric/perspective	Orthographic projections
1.9 Orthographic projections method: A/E/arrows	E method
1.10 Peculiarities about projections	------
1.11 Complete/simplified/schematic drawing	Complete
1.12 Cuts/Sections	YES/NO *YES*
1.13 Peculiarities about cuts/sections	The two views of the assembly are cuts
1.14 Dimensioning	YES/NO *NO*
1.15 Peculiarities about dimensioning	------
1.16 Dimensional tolerances	YES/NO *NO*
1.17 Peculiarities about dimensional tolerances	-------
1.18 Geometric tolerances	YES/NO *NO*
1.19 Peculiarities about geometric tolerances	-----
1.20 Roughness indication	YES/NO *NO*
1.21 Peculiarities about roughness indication	------
1.22 Execution: free hand sketch/drawing with traditional instruments/computer drawing	Drawing with traditional instruments
1.23 Texts of particular interest	YES/NO *YES*
1.24 Specific information on the texts	Instructions for maintenance

Tab. 7 – Information about the represented object.

Subject matter of the represented object	*Information*
2.1 General	2.1.1 Represented object (expressed by keywords) *Wheel for industrial vehicle*
	2.1.2 Function performed by the represented object (expressed by keywords) *Locomotion*
2.2 Data related to the Industrial History	2.2.1 Innovations in relation to industrial development *Example of construction drawing of a wheel* *Example of instruction for maintenance*
	2.2.2 Innovations in relation to the development of the Company -----
	2.2.3 Company events related to the object *Example of instruction for maintenance*
	2.2.4 Significant people connected to the object -----
	2.2.5 Notes -----
2.3 Data related to the History of Technology	2.3.1 Innovation of the object *Example of the instructions for maintenance*
	2.3.2 Significance of innovations in relation to the History of Technology -----
	2.3.3 Significant events related to the represented object -----
	2.3.4 Notes -----

Conclusions

In this paper, a catalogue card as a technological complement to the catalogue card normally realized in the field of humanities and in the archival field is proposed and illustrated by means of practical examples. With such complement, potentially improving with further contributions, the catalogue card is intended as a contribution to realize a general digital database consisting of the technical drawings preserved in the archives of industries and cultural institutions. In this way, it is also possible to think at the above-mentioned proposal as a small step in the direction of the original idea of Descartes, which was at the basis of the institution of the Conservatoire in Paris. To enhance the potential of the current proposal about the "technological" part of the catalogue card of the drawings, a dedicated training of the archivists, who generally have a background in the Humanities, is strongly recommended for assistance and instruction (for example, by means of a specific user manual).

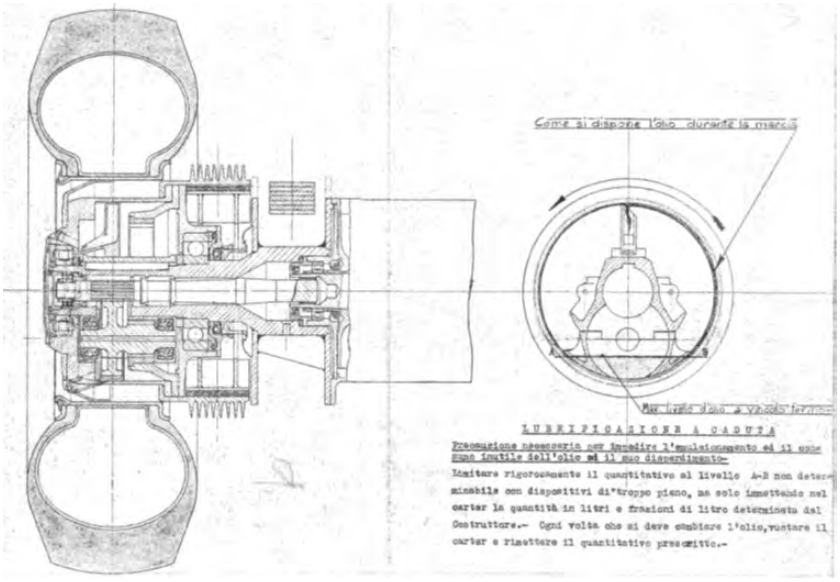


Fig. 6 – Drawing of a wheel for an industrial vehicle from the Turrinelli archive

The authors believe that the proposal presented in the paper could be a useful basis of discussion on the subject and they are happy to share ideas and information with all the professionals concerned.

Bibliography

Rosa F., Rovida E., Viganò R. 2014. Historical intangible technical culture. A method and tool to develop future technology. In: *Proceedings of V Convegno di Storia dell'Ingegneria - International Conference on History of Engineering* (S. D'Agostino, G. Fabricatore Eds.). 243-254. Napoli: Cuzzolin Editore.

Benyus J. 2002. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: William Morrow & Co.

Fournier M. 2018. *Biomimesi. Quando la Natura ispira la Scienza*. Milano: Edizioni LSWR.

Altshuller G. 1996. *And suddenly the inventor appeared.* Technical Innovation Center Worchester.

Michelewicz Z., Fogel D.B. 2000. *How to solve it: modern heuristics*. Berlin: Springer.

Orloff A. 2002. *Grundlagen der klassischen TRIZ.* Berlin: Springer.

Rovida E. 2000-2003 *Archivi di disegni storici. Il caso delle macchine agricole.* Acta Museorum Italicorum agricolturae N° 19-20.

Webgraphy

[1] www.istitutolombardo.it

Note

1. The Turrinelli factory was founded in 1899 and was specialized in the production of electrical vehicles. The Turrinelli Archive is a collection of ca. 200 drawing of parts and assemblies relative to the Turrinelli production since 1920 up to 1950.

Author Index / Indice degli Autori

ABITA Matteo	Università degli Studi de L'Aquila	215, 917, 993, 1199
AMODIO Maria	Archeologa	99
AUSIELLO Gigliola	Università degli Studi di Napoli Federico II	747
BELLICOSO Alessandra	Università degli Studi de L'Aquila	229
BELLUCCI Giovanni	Università Politecnica delle Marche	243
BENENTE Michela	Politecnico di Torino	357
BERGER Barbara	ETH di Zurigo	903
BIZZARRI Ermanno	Università degli Studi di Napoli Federico II	1131
BOERI Elisa	Politecnico di Milano	1033
BOIDO Cristina	Politecnico di Torino	357
BOVOLIN Vittorio	Università degli Studi di Salerno	599
BUSATO Filippo	Università Telematica Mercatorum	257
CALAMIA Mario	Università degli Studi di Firenze	371
CALIENDO Angela	Ministero della Cultura, Segretariato Regionale per la Campania	587
CAMPOLONGO Alessandro	Università della Calabria	1171
CANALE Laura	Università Telematica Mercatorum	495
CAPECCHI Danilo	SISFA Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia	691, 831
CAPRIUOLI Federico	Università degli Studi di Pisa	111
CARANNANTE Arianna	Politecnico di Torino	153
CAROTI Gabriella	Università degli Studi di Pisa	111
CARPENTIERO Maria Gabriella	Archeologa	111
CARUSO Rosa Maria Marta	Sapienza Università di Roma	557
CATTANEO Nelly	Politecnico di Milano	1047
CECCARELLI Marco	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	427, 979
CESARANO Pasquale	Università degli Studi di Napoli Federico II	285
CIARDIELLO Emilio	Associazione Storia dell'Elettronica	529, 543
COLELLA Carmine	Università degli Studi di Napoli Federico II	651
COLOMBO Maria Diletta	Soprintendenza Archeologia, Belle arti e Paesaggio del Molise	111
COMO Alessandra	Università degli Studi di Salerno	453
COMO Mario	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	329
CONFORTO Maria Letizia	Architetta	439
CORRADI Massimo	Università degli Studi di Genova	775
CUCCO Pasquale	Università degli Studi di Salerno	1061
CULATTI Michele	Università eCampus	865

D'AGOSTINO Pierpaolo	Università degli Studi di Napoli Federico II	85
D'AGOSTINO Salvatore	Università degli Studi di Napoli Federico II	397, 405
D'AMBRA Claudio	Università degli Studi di Napoli Federico II	467
d'AMBROSIO ALFANO Francesca R.	Università degli Studi di Salerno	45
D'ANNA Eugenio	Alma Mater Studiorum - Università di Bologna	719
D'ANTONIO Luigi	Ingegnere	951
D'APRILE Marina	Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"	851
D'AURIA Saverio	Università degli Studi di Napoli Federico II	703
DE VINCENZI Matteo	CNR-Istituto per la BioEconomia (IBE)	271
DI BATTISTA Rosanna	Alma Mater Studiorum - Università di Bologna	139
DI DONATO Danilo	Università degli Studi de L'Aquila	215, 917, 993, 1199
DI FLORIO Vincenzo	Ingegnere	951
DI FRAIA Gennaro	Archeologo	45
DRAGO Antonino	Università degli Studi di Napoli Federico II	965
ESPOSITO Salvatore	SISFA Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia	679
FAGNANI Alba	Università degli Studi de L'Aquila	931
FALCO Luigi	Politecnico di Torino	641
FASANO Gianni	CNR-Istituto per la BioEconomia (IBE)	271
FICCO Giorgio	Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale	495
FILIPPI Marco	Professore Emerito del Politecnico di Torino	299
FOSCARI Giuseppe	Università degli Studi di Salerno	201
FRANCESCHETTI Giorgio	Università degli Studi di Napoli Federico II	371
FREGONESE Lucio	Università degli Studi di Pavia	343
GALBIATI Giuseppe	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	1103
GAMBARDELLA Roberta	Università degli Studi di Napoli Federico II	191
GENÇ Uğur	Culture and Tourism Ministry of Turkey	573
GHERARDELLI Monica	Università degli Studi di Firenze	371
GIANASSO Elena	Politecnico di Torino	627
GIANNETTI Ilaria	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	803
GIL-MARTÍN Luisa María	Universidad de Granada	125
GIULIANI Cairoli Fulvio	Accademia Nazionale dei Lincei	59
GRAF Franz	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	1103
GRECO Giovanna	Università degli Studi di Napoli Federico II	31
GRECO Laura	Università della Calabria	1019
GUAGLIARDI Valentina	Università della Calabria	1171
GUIDOBONI Emanuela	INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	3
GUZZARDI Luca	Università degli Studi di Milano La Statale	691

HERNÁNDEZ-MONTES Enrique	Universidad de Granada	125
ISGRÒ Sara	Ingegnere	877, 889
JAPPELLI Ruggiero	Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”	665, 1075
LEGGIERI Carlo	Associazione culturale Celanapoli	99
LIGNOLA Gian Piero	Università degli Studi di Napoli Federico II	467
LIZZA Andrea	Ordine degli Ingegneri di Napoli	845, 943
MAGLIO Andrea	Università degli Studi di Napoli Federico II	1089
MARAGNO Anna	Università degli Studi di Trento	313, 613
MARCHETTI Mario	Sapienza Università di Roma	1007
MARCHIS Vittorio	Politecnico di Torino	17
MARINO Giulia	Université catholique de Louvain	1103
MARINO Luigi	Università degli Studi di Firenze	71
MARTÍNEZ CHAO Tomás Enrique	Università degli Studi di Napoli Federico II	385
MARTONE Maria	Sapienza Università di Roma	733
MAURO Raffaele	Università degli Studi di Trento	313
MERONE Raffaele	Ingegnere	85
MICCIO Gennaro	Ingegnere	789
MICCOLI Stefano	Università della Svizzera italiana	125
MOLARI Pier Gabriele	Alma Mater Studiorum - Università di Bologna	139, 573, 719
MOLLO Giuseppe	Architetto	99
MORGANTI Renato	Università degli Studi de L’Aquila	215, 917, 931, 993, 1199
MORNATI Stefania	Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”	803
MOROSINI Stefano	Politecnico di Milano	1159
MUCCILLI Isabella	Archeologa	111
NARDACCHIONE Giuliana	Università degli Studi di Foggia	521
NARDI Ettore	Università degli Studi di Napoli Federico II	167
NATALE Anna	Università degli Studi di Napoli Federico II	167
NORO Marco	Università degli Studi di Padova	257
OCONE Matteo	Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”	509
PAPA Lia M.	Università degli Studi di Napoli Federico II	703
PELLECCHIA Davide	Università degli Studi di Napoli Federico II	285
PIEMONTE Andrea	Università degli Studi di Pisa	111
PROTA Andrea	Università degli Studi di Napoli Federico II	467
PUGLIESE Francesco	Università degli Studi di Napoli Federico II	85
RIBERA Federica	Università degli Studi di Salerno	1061

RIVIEZZO Aurora	Politecnico di Torino	1145
ROSATI Luciano	Università degli Studi di Napoli Federico II	285
ROTTENBACHER Carlo	Università degli Studi di Pavia	1213
ROVIDA Edoardo	Politecnico di Milano	1213
SANTILLO Damiano	Ingegnere	111
SCHIAVONE Angela	Scrittrice	45
SCIBILIA Federica	Università degli Studi di Catania	177
SERANGELI Raffaele	Architetto	71
SIVIERO Enzo	Università eCampus	865
SMERAGLIUOLO PERROTTA Luisa	Università degli Studi di Salerno	453
SOMMESE Francesco	Università degli Studi di Napoli Federico II	747
SPADA Francesco	Università della Calabria	1185
TACCHELLA Claudia	Università degli Studi di Genova	761
TALENTI Simona	Università degli Studi di Salerno	481
TEODOSIO Annarita	Università degli Studi di Salerno	481
TOSONE Alessandra	Università degli Studi de L'Aquila	215, 229, 917, 931, 993, 1199
TRAETTA Luigi	Università degli Studi di Foggia	427
TRAVAGLINI Laura	Architetta	1075
TRISOGLIO Fabrizio	Fondazione AEM	1159
TUNZI Pasquale	Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara	1117
VAIANA Nicolò	Università degli Studi di Napoli Federico II	285
VALENTINO Gabriella	Università degli Studi di Napoli Federico II	167
VIGGIANI Carlo	Università degli Studi di Napoli Federico II	665
VIGO Paolo	Pa.L.Mer. - Parco Scientifico e Tecnologico del Lazio Meridionale	413, 495
VOLPI Cristiana	Università degli Studi di Trento	613
ZANCHETTIN Alberto	Università eCampus	865
ZORDAN Marcello	Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale	817