History of Engineering

Proceedings of the 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale

Naples, 2024 June 13th - 14th

volume I

Cuzzolin

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale

Naples, 2024 June 13th-14th

Volume I

Editors

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

Cuzzolin

First edition: June 2024
Prima edizione: giugno 2024

© 2024 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 979-12-81558-38-0

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

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

Editorial Office / Redazione:
Maurizio Cuzzolin

Printing / Stampa: Giannini - Napoli

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (President)
Gennaro Annunziata
Michele Brigante
Mario Como
Edoardo Cosenza
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Luciano De Menna
Giulio Fabricatore
Franz Graf
Giovanna Greco
Emanuela Guidoboni
Osama Hamdan
Elena Manzo
Luigi Marino
Vittorio Marchis
Raffaele Mauro
Dieter Mertens
Antonio Moccia
Gioconda Moscariello
Lia Maria Papa
Antoine Picon
Giuseppe Riccio
Angelo Domenico Perrini
Luciano Rosati
Bruno Siciliano
Andrea Silvestri
Raffaele Tarateta
Giuliana Tocco
Carlo Viggiani
Armando Zambrano

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

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
Rete Professioni Tecniche e Scientifiche

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

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e i Consigli degli Ordini degli Ingegneri delle Province di Napoli e Salerno partecipano, fin dalla prima edizione, alla organizzazione di questo importante evento di grande interesse scientifico e culturale, giunto alla decima edizione. Da quest'anno è con AISI anche la Rete Professioni Tecniche e Scientifiche.

Al Comitato Scientifico, al Comitato Organizzatore, ai Relatori, a tutti gli Ospiti 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. Domenico Angelo Perrini

Il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
ing. Gennaro Annunziata

Il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
ing. Raffaele Tarateta

Il Coordinatore della Rete delle Professioni Tecniche e Scientifiche
ing. Armando Zambrano

Summary / Sommario

Volume I

Preface: Twenty years of History
Prefazione: Venti anni di Storia
Salvatore D'Agostino *XIX*

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali
The birth of Engineering for Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 3

Gli strumenti di misura per l'igrometria dal XV al XX secolo
The measuring instruments for hygrometry from 15th to 20th century
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 13

Continuità e innovazione tecnologica nelle strutture e infrastrutture di Caulonia tra la fine dell' VIII e il II sec. a.C.: alcune evidenze
Continuity and technological innovation in the structures and infrastructures of Caulonia between the end of the 8th and the 2nd century BC: some evidence
Maria Teresa Iannelli, Lucia Lepore 25

Verso la ricostruzione del meccanismo della fontana sonora, che attirò l'attenzione di Leonardo a Rimini nel 1502
Toward the reconstruction of the singing fountain mechanism, which captured the attention of Leonardo visiting Rimini in 1502
Pier Gabriele Molari 37

Guglielmo da Parigi e la torre dell'orologio di Castel Nuovo a Napoli
Guglielmo from Paris and the clock tower of Castel Nuovo in Naples
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 49

…e poi fu CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana). Una storia del calcolo numerico elettronico
…and then there was CEP (Pisan Electronic Calculator). A story of the electronic numerical calculation
Lucia Barsanti, Mario Calamia, Monica Gherardelli 61

Le tecniche costruttive antisismiche "spontanee" attraverso i documenti d'archivio: il caso della città di Cosenza
"Spontaneous" anti-seismic building techniques through archival documents: the case of the city of Cosenza
Federica Castiglione, Francesca Bilotta, Brunella Canonaco 73

Le capriate in legno della Reggia di Caserta
The wooden trusses of the Caserta Royal Palace
Giorgio Frunzio, Luigi Massaro, Luciana Di Gennaro 85

Peter Nicholson e il metodo pratico-descrittivo per la costruzione degli archi obliqui nell'Inghilterra dell'Ottocento
Peter Nicholson and the Practical-Descriptive Method for the Construction of Oblique Arches in Nineteenth Century England
Stefano Chiarenza, Barbara Messina 95

Teoria e prassi. Per una storia degli errori nell'ingegneria delle costruzioni
Theory and practice. For a history of errors in construction engineering
Luca Guardigli, Davide Prati 107

Le problematiche strutturali del sottosuolo napoletano nel corso della storia attraverso le memorie di antiche cave greche
The structural problems of the Neapolitan underground throughout history
Clemente Esposito 119

L'avvio della telegrafia elettrica in Italia. Il contributo di Francesco Zantedeschi (1797-1873)
The start of electric telegraphy in Italy. The contribution of Francesco Zantedeschi (1797-1873)
Lucia De Frenza 131

Le ricostruzioni e i restauri di Notre Dame dal XIX al XXI secolo, ovvero l'ingegneria in Francia da Rondelet e Violet le Duc fino ai giorni nostri
The reconstructions and restorations of Notre Dame from the 19th to the 21st centuries or engineering in France from Rondelet and Violet le Duc to the present day
Carlo Blasi 143

Breve Storia del Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio monumentale dal rischio sismico del Ministero dei Beni Culturali
A Brief History of the National Committee for the Prevention of Monumental Heritage Risk from Earthquakes of the Ministry of Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 155

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le fortificazioni liminali d'Oltremare in epoca Crociata: esperienze costruttive a confronto
The Overseas border fortifications at the time of the Crusades: constructive experiences compared
Basema Hamarneh, Luigi Marino 171

L'architettura delle tende nere beduine
The architecture of the Bedouin black tents
Luigi Marino 183

Il progetto PROTECT. Primi passi verso un protocollo operativo per la lettura archeosismologica speditiva dei centri storici
The PROTECT project. First steps towards an operational protocol for the light archaeoseismological analysis of historical
Andrea Arrighetti, Marco Repole 195

Breve storia della qualità dell'aria negli ambienti confinati
A short history of Indoor Air Quality
Gian Vincenzo Fracastoro 207

The Trochotron Beam-Switch Counter Arturo
Il contatore numerico Trochotron
Emilio Ciardiello 219

Tecniche antisismiche storiche nelle aree interne abruzzesi
Historical anti-seismic techniques in the internal areas of Abruzzo
Maurizio D'Antonio 231

Criteri costruttivi e tecniche antisismiche premoderne
Construction criteria and pre-modern anti-seismic techniques
Giovanni Cangi 243

La concezione dell'andamento plano-altimetrico delle strade: dal modello ferroviario a quello odierno
The plano-altimetrical road alignments: from the railway model to today's model
Raffaele Mauro, Anna Maragno 257

La costruzione di architetture centriche a inizio Cinquecento: geometria sottesa e dettagli costruttivi nelle cappelle Caracciolo di Vico e di Caterina Pignatelli
The construction of central plan architecture in the early 16th century: underlying geometry and construction details in the Caracciolo di Vico and Caterina Pignatelli chapels
Maria Teresa Como 269

Il pavimento a fiori nella biblioteca del palazzo ducale di Urbino, ripreso nel palazzo ducale di Gubbio: solo un esercizio grafico di Francesco di Giorgio?
The flowered floor in the library of the ducal palace of Urbino, reproduced in the ducal palace of Gubbio: just a graphic exercise by Francesco di Giorgio?
Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari 281

La strategia difensiva di Archimede nella fortezza di Siracusa
The defensive strategy of Archimedes in the Syracuse fortress
Umberto di Marco, Pier Gabriele Molari 293

La Grande Diga sul Fiume Jato in Sicilia. Promozione, progetto e costruzione
The Large Dam on the Jato River in Sicily. Promotion, Design, and Construction
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli, Vincenzo Canzoneri 305

Il progetto del grande ospedale di Napoli di Camillo Guerra e Girolamo Ippolito
The project of the great hospital of Naples by Camillo Guerra and Girolamo Ippolito
Arturo Armone Caruso 317

La produzione della carta in Costiera amalfitana
The production of paper in the Amalfi Coast
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 329

Le cartiere di Vietri sul mare: una breve storia
The paper mills of Vietri sul Mare: a brief history
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 341

La cartiera dell'Auso e l'antica turbina
The paper mill of Auso and the ancient turbine
Fabiana d'Ambrosio, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Giovanni d'Ambrosio, Pietro d'Ambrosio 351

Le indagini preventive e il supporto documentale per la corretta definizione degli interventi di restauro: il caso della Basilica inferiore del Duomo di Salerno
The preventive studies and documentary research for the correct definition of restoration interventions: the lower Basilica of the Salerno Cathedral
Gennaro Miccio 363

Nanocompositi e nanomateriali: una scoperta recente con radici lontane
Nanocomposites and nanomaterials: a recent discovery with distant roots
Andrea Sorrentino, Vittoria Vittoria 375

Una nuova analisi sismica delle strutture in muratura
A new seismic analysis of masonry structures
Simona Coccia, Mario Como 387

Lo sviluppo dell'illuminazione pubblica a Napoli
The development of public lighting in Naples
Roberta Gambardella 399

L'illuminazione pubblica a Napoli, concessioni e progetti dall'Unità d'Italia al Piano di risanamento e ampliamento della città di Napoli del 1885
Public lighting in Naples, concessions and projects from the Unification of Italy to the 1885 Plan of risanamento e ampliamento della città di Napoli
Federica Fiorillo 411

Le Supercinghie di Paolo Magaldi
Leather driving belts by Paolo Magaldi
Francesco Caputo, Paolo Magaldi Jr 421

Dalle miscele cementizie alle superfici architettoniche in pietra. Applicazioni con biossido di titanio tra storia recente ed evoluzione
From cement mixtures to architectural stone surfaces. Titanium-dioxide applications between recent history and evolution
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 431

La statica delle volte, alla prova delle bombe
The statics of bomb-proof vaulted structures
Cesare Tocci, Edoardo Piccoli 445

On Greek sphere-making
Sulla sferopea greca
Alessandro Amabile 457

Factories, bridges and steam engines: G.S. Poli, C. Lippi and the technological renovation in the Kingdom of Naples between the end of the 18th and the beginning of the 19th century
Fabbriche, ponti e macchine a vapore: G.S. Poli, C. Lippi e il rinnovamento tecnologico nel Regno di Napoli tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo
Salvatore Esposito 469

Trasporti urbani tra storia e prospettive per la transizione ecologica e sostenibile
History and prospects of urban transport for the ecological and sustainable transition
Antonio Coppola 481

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Il distretto industriale della Media Valle del Liri
The industrial district of the Liri Media Valley
Arturo Gallozzi, Michela Cigola, Marcello Zordan, Chiara Caira 495

Ingegneria ed Economia
Engineering and Economics
Riccardo Gallo 507

Historical industrial roots of management engineering: from the organization of work in the factory to the management of complex systems
Storiche radici industriali dell'ingegneria gestionale: dall'organizzazione del lavoro in fabbrica alla gestione dei sistemi complessi
Marcello Lando, Massimiliano M. Schiraldi 519

La formazione degli ingegneri a Modena dal Settecento a oggi. L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri e l'Università
The engineers education in Modena from XVIII century until today. The Institute of Pioneer Mathematical Cadets and University
Elena Corradini, Angelo Marcello Tarantino, Stefano Orlandini, Marco Zucchi 531

Agli albori dell'Ingegneria Chimica nell'Università di Napoli
At the dawn of Chemical Engineering at the Naples University
Carmine Colella 543

From Invisibility to Recognition: First Women Engineers at Politecnico di Torino
Da invisibili a protagoniste: le prime donne ingegnere del Politecnico di Torino
Margherita Bongiovanni, Mariya Shcherbyna (Maria Shcherbina), Francesca Gervasio 557

L'Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino
Nuclear Engineering at Politecnico di Torino
Vittorio Marchis, Bruno Panella 569

La fisica e l'ingegneria nucleare tra il CNRN e il CNEN
Nuclear Physics and Engineering between CNRN and CNEN
Andrea Battocchio 581

Volume II

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

Pier Luigi Nervi e la Nervi e Bartoli in Calabria. Progetti e realizzazioni (1957-1975)
Pier Luigi Nervi and Nervi and Bartoli in Calabria. Projects and realizations (1957-1975)
Laura Greco, Andrea De Luca, Valentina Guagliardi, Francesco Spada 595

Il progetto e la costruzione dei grandi collettori bassi delle fogne di Roma (1882-1925)
Design and construction of the modern collector sewers in Rome (1882-1925)
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 607

La Funivia del Gran Sasso d'Italia: un caso significativo di impianto a fune in Italia e in Europa
The Gran Sasso d'Italia cable car: a significant case of ropeway in Italy and Europe
Marco Paolucci, Ceren Ekinci, Simonetta Ciranna, Francesco D'Annibale 621

Necropoli Ellenistica di Neapolis. Ipogeo delle Colonne. Nuove osservazioni sulla tecnica costruttiva del prospetto monumentale
Hellenistic Necropolis of Neapolis. Hypogeum of the columns. New observations on the construction technique of the monumental façade
Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo, Giuseppe Piccolo 635

Decodificare per riscrivere la storia del patrimonio tecnico. Il caso Anic di Pisticci
Decode to rewrite the history of technical heritage. The Anic case of Pisticci
Mariangela Bellomo, Antonella Falotico 645

Migrazione di saperi dall'Italia all'Argentina. Gli ingegneri Luigi Luiggi (1856-1931) e Cesare Cipolletti (1843-1908)
Migration of knowledge from Italy to Argentina. The engineers Luigi Luiggi (1856-1931) and Cesare Cipolletti (1843-1908)
Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori 657

Anton Flettner e l'effetto Magnus
Anton Flettner and the Magnus effect
Massimo Corradi, Claudia Tacchella 669

«Stability and elegance»: the British Petroleum suspended structure in Antwerp (1959-1963)
«Stabilità ed eleganza»: la struttura sospesa della British Petroleum ad Anversa (1959-1963)
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 683

L'Ingegnere Vittorio Bonadé Bottino e l'albergo di Campo Imperatore
The Engineer Vittorio Bonadé Bottino and the Campo Imperatore Hotel
Vincenzo Di Florio, Alessandra D'Ovidio, Marco Felli 695

I progetti di Carmelo Sciuto-Patti per lo "Spedale medico per la città e mandamento di Giarre" (1866)
The projects of Carmelo Sciuto-Patti for the 'Medical hospital for the city and district of Giarre' (1866)
Federica Scibilia 705

Giuseppe Cigni e il rapporto tra ingegneria e architettura. Progetti e scritti di un progettista del secondo Novecento
Giuseppe Cigni and the link between engineering and architecture. Works and writings of a designer of the second half of the 20th century
Giovanni Bellucci 717

Affreschi di vita benedettina nel chiostro del Platano a Napoli: interventi novecenteschi per la risoluzione del problema dell'umidità
Benedectine life's frescoes in Chiostro del platano in Naples: twentieth-century interventions to solve the problem of damp
Giuliana Ricciardi 729

Adriano Olivetti, la costruzione dell'urbanistica italiana e due visioni contrapposte dello spazio urbano
Adriano Olivetti, the built of Italian urban planning and two different way of understanding urban space
Marialuce Stanganelli 741

Sperimentazioni strutturali del secondo Novecento: il nuovo mattatoio di Torino
Structural experimentations in the second half of the 20th century: the new slaughterhouse in Turin
Marika Mangosio 753

Il progetto ottocentesco della Stazione di Perugia-Fontivegge e sua ricostruzione virtuale
The nineteenth century project of the Perugia-Fontivegge Station and its virtual reconstruction
Chiara Mommi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andrea Migliosi 765

L'ingegnere Pasquale Amodio e l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli
The engineer Pasquale Amodio and the Aeronautical Academy of Pozzuoli
Lia Maria Papa 777

La storica questione dell'acqua potabile in città. Il caso dell'acquedotto di Salerno
The historical issue of drinking water in the urban context. The case of Salerno's aqueduct
Federica Ribera, Anna Gallo 789

Gli studi storico artistici dell'ingegnere Michele De Angelis
The historical and artistic studies of engineer Michele De Angelis
Annarita Teodosio 801

Emmanuele Rocco: un ingegnere nella Belle Èpoque e un protagonista del Risanamento a Napoli
Emmanuele Rocco: an engineer in the Belle Époque and a protagonist of the Redevelopment in Naples
Andrea Lizza 813

Breve biografia di Alfredo Cottrau: un pioniere delle costruzioni metalliche di fine Ottocento
Short biography of Alfredo Cottrau: a pioneer of late 19th century metal construction
Andrea Lizza 821

Da terme a cisterna: le cosiddette "Stanze di Venere" nel Parco archeologico delle terme romane di Baia
From baths to tank: the so called "Stanze di Venere" in the Archaeological Park of the roman baths of Baia
Daniele De Simone 827

Materiali e tecniche nella ricostruzione dell'ospizio del Pio Monte della Misericordia a Casamicciola
Materials and techniques in the reconstruction of the Pio Monte della Misericordia hospice in Casamicciola
Monica Esposito 837

Ingegneri e governance: note intorno a Gian Giacomo Plantery decurione
Engineers and governance: notes on Gian Giacomo Plantery decurione
Elena Gianasso 849

Modelli digitali delle architetture dell'acqua. Il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti
Digital models of water architectures. The Alviggi Mill-Ironworks in Sant'Agata de' Goti
Giuseppe Antuono 861

I Centri di Preparazione Olimpica di Roma e Formia: da impianti per lo sport di alto livello a beni architettonici di interesse culturale
The Olympic Preparation Centers in Rome and Formia: from high-level sports facilities to architectural heritage
Damiano Santillo 873

L'acquedotto ipogeo di Aesernia
The underground aqueduct of Aesernia
Damiano Santillo, Federico Capriuoli 887

Ingegneria al servizio dell'archeologia: il progetto CAST applicato alle grotte di Pertosa-Auletta
Engineering at the service of archaeology: the CAST project applied to the Pertosa-Auletta caves
Andrea Di Meo, Federico Capriuoli, Antonella Minelli 901

La fabbrica della Perugina a Fontivegge: ricostruzione di un luogo identitario della storia
The Perugina factory in Fontivegge: reconstruction of a historical identity place
Andrea Migliosi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Chiara Mommi 913

La Casa della Giovane Italiana a L'Aquila
The Italian Youth House in L'Aquila
Alessandra Bellicoso 925

Carlo Vanvitelli e il caso della scala di Palazzo d'Avalos a Procida
Carlo Vanvitelli and the Palazzo d'Avalos' staircase in Procida
Maria Rosaria Cocozza 937

"Gli ingegneri degli architetti": dal gruppo Structures3 al sodalizio tra Ove Arup & Partners e Renzo Piano (1971-1981)
"The engineers of architects": from Structures3 group to the partnership between Ove Arup & Partners and Renzo Piano (1971-1981)
Elisa Boeri, Michela Pilotti 947

Il Piano di Conservazione come strumento di tutela dell'architettura del XX secolo. Una sperimentazione per l'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano
The Conservation Plan as a tool for protecting 20th century architecture. An experiment for Pier Luigi Nervi's Hangar in Pontecagnano
Federica Ribera, Pasquale Cucco, Giulia Neri 959

Carlo Salvetti, un fisico teorico prestato all'ingegneria nucleare
Carlo Salvetti, a theoretical physicist lent to nuclear engineering
Andrea Battocchio, Roberto Lalli 967

William Thomson tra macchine termiche e spiritualismo
William Thomson between thermal machines and spiritualism
Mariano Bonaccorsi, Giuseppe Ruta 979

Il grande incendio del Palazzo Reale di Napoli del 1837 e la direzione tecnica delle operazioni di spegnimento della Compagnia dei Pompieri
The Great Fire of the Royal Palace of Naples in 1837 and the technical direction of firefighting operations by the Civic Fire Company
Michele Maria La Veglia, Clemente Esposito 991

A fili di ferro: il contributo di Marc Seguin allo sviluppo dei ponti sospesi in Italia
With iron wires: the contribution of Marc Seguin in the development of suspension bridges in Italy
Alessandra Tosone, Renato Morganti, Alessia Panepucci, Matteo Abita, Danilo Di Donato 997

Acciaio e fabbrica nel Mezzogiorno d'Italia. Architetture industriali del Secondo Novecento
Steel and factories. Industrial architecture of the second half of the twentieth century
Danilo Di Donato, Matteo Abita, Renato Morganti, Alessandra Tosone 1011

Contraddire l'archetipo. Potenzialità dell'acciaio nell'architettura di Julio Lafuente
To deny the archetype. Steel potential in Julio Lafuente's architecture
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 1023

L'alluvione del 1949 a Benevento
The Benevento 1949 flood
Vittorio Bovolin 1035

Borghi abbandonati: il caso di Roscigno e la sua lunga storia, dall'antichità a oggi
Abandoned villages: The case of Roscigno and its long history, from antiquity to today
Giovanna Greco 1047

THE STRAIT OF MESSINA BRIDGE
IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA

The evolution of super-long span bridge decks, from Tacoma to Messina
L'evoluzione degli impalcati nei ponti di grandissima luce, dal Tacoma al Messina
Giorgio Diana, Filippo Calamelli 1061

Most recent developments in large bridge aerodynamics (2013-2024)
Alcuni recenti sviluppi in aerodinamica dei ponti di grande luce (2013-2024)
Fengying Wu, Lin Zhao, Yaojun Ge, Claudio Borri 1071

L'evoluzione storica del progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, dalle idee primordiali al quinquennio decisivo, 2001-2006
The historical evolution of the project of the Strait of Messina Bridge, from the primordial ideas to the decisive quinquennium 2001-2006
Pietro Lunardi 1085

Analisi storica della mancata realizzazione del Ponte sullo Stretto
Historical analysis of the failure to construction of the Messina Strait Bridge
Giovanni Mòllica 1097

Evolution of viscoelastic dissipative models for structural systems crossed by moving loads
Evoluzione dei modelli dissipativi viscoelastici per sistemi strutturali attraversati da carichi mobili
Mario Di Paola, Giuseppe Muscolino 1109

L'area dello Stretto di Messina: analisi dei rischi geologici dopo il terremoto del 1908
The Messina Straits area: an overview of geological risks following the 1908 earthquake
Alberto Prestininzi, Gianluca Valensise 1121

Interaction between structural model and aerodynamics effects in the aeroelastic stability of suspension bridge
Interazione fra modello strutturale e aerodinamica nella stabilità aeroelastica dei ponti sospesi
Piero D'Asdia, Fabio Rizzo 1133

Le strutture del ponte sullo Stretto, dalle prime proposte al progetto definitivo
The structures of the bridge on the Strait, from the first proposals to the final design
Fabio Brancaleoni 1145

I cavi portanti dei ponti sospesi, passato e presente
The main cables of suspension bridges, past and present
Fabio Brancaleoni 1159

MEMORIES
RICORDI

Per una storia dell'Elettrotecnica a Napoli: il prof. Scipione Bobbio
For a history of Electrotechnics in Naples: professor Scipione Bobbio
Luciano De Menna 1175

Mario Raffa: Uno dei padri dell'Ingegneria Gestionale a Napoli e in Italia
Mario Raffa: One of the founding fathers of Management Engineering in Naples and Italy
Emilio Esposito 1187

Ricordo di Salvatore Di Pasquale
Memory of Salvatore Di Pasquale
Salvatore D'Agostino 1199

In memoria di Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
In memory of Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
Claudio Alessandri, Silvia Briccoli Bati, Giovanni Di Pasquale 1201

Salvatore Di Pasquale - Pubblicazioni 1958-2008
Salvatore Di Pasquale - Papers 1958-2008
Giovanni Di Pasquale 1213

Salvatore Di Pasquale e la cupola del Brunelleschi
Salvatore Di Pasquale and the Brunelleschi Dome
Mario Como 1229

Maria Letizia Conforto (1940-2024): una Architetta Archeologa
Maria Letizia Conforto (1940-2024): an Architect Archaelogist
Salvatore D'Agostino 1241

Author Index
Indice degli Autori 1253

Volume III

Presentation
Presentazione
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano 1259

SUMMARIES
SOMMARI

Proceedings of 1st National Conference
Atti del 1° Convegno Nazionale - 2006 1265

Proceedings of 2nd National Conference
Atti del 2° Convegno Nazionale - 2008 1275

Proceedings of 3rd National Conference
Atti del 3° Convegno Nazionale - 2010 1287

Proceedings of 4th National Conference
Atti del 4° Convegno Nazionale - 2012 1297

Proceedings of 1st International Conference
Atti del 5° Convegno Nazionale - 2014 1305

Proceedings of 2nd International Conference
Atti del 6° Convegno Nazionale - 2016 1315

Proceedings of 3rd International Conference
Atti del 7° Convegno Nazionale - 2018 1323

Proceedings of 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale - 2020 1333

Proceedings of 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale - 2022 1341

Proceedings of 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale - 2024 1353

GENERAL INDEX OF AUTHORS
INDICE GENERALE DEGLI AUTORI 1369

Salvatore D'Agostino

Preface

Twenty years of History

This adventure began in 2004, inspired by the need to understand one's past and promote a broader culture of Engineering, recognizing its meaningful contribution to society's development in a vision that increasingly appears interdisciplinary.

Over the first two years, meetings and discussions with various Engineering faculties and the Conference of Deans occurred. Efforts were made to raise awareness among Architecture faculties, which share so much cultural heritage with Engineering ones. Finally, the Engineer Associations of Naples and Salerno were involved, along with the National Engineers Council (CNI), who immediately showed interest in AISI, its purposes, and its initiatives. These two years of cultural commitment culminated in the first National Conference held at the Conference Centre of the University of Naples Federico II in 2006. It was a success beyond all expectations with the publication of the Proceedings in two volumes with more than 1100 pages and 100 contributions from scholars from 25 universities.

Then, this process continued relentlessly in all subsequent Conferences, and with the current conference, twenty volumes will have been published, totaling over 12,000 pages, available on the AISI website (www.aising.eu).

These have been exciting years, and such demanding work has been made possible by the essential contribution of several colleagues whom I want to thank here with affection and gratitude: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Lia Papa*, and *Boris Palella* who replaced Giulio in the demanding role of Treasurer. It is also appropriate to mention *Maurizio Cuzzolin*, the publisher, for his fundamental contribution. From the beginning, there has been with him a perfect harmony witnessed by the publication of the elegant volumes of the Conference Proceedings.

Meanwhile, increasingly involved in the Association and, therefore, in the History of Engineering, was *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, Full Professor of Building Physics and Building Energy Systems at the University of Salerno. Her passionate and qualified cultural and organizational commitment, increasingly developed over time, naturally led Francesca to assume the role of president of AISI in 2020. Since 2020, under her presidency, AISI has strengthened and expanded, among other things, its relationship with the National Engineers Council.

Since 2020, AISI and CNI have promoted numerous seminars of high interdisciplinary value, disseminated through the CNI's web platform with hundreds and hundreds of participants. Guided tours of relevant cultural sites have been arranged, and new relationships with other associations have been established.

The propulsive activity of the Conferences continues to this day with unchanged success. Therefore, I am proud of this long journey that I am sure will be further developed with tenacity and cultural awareness by the President and the entire Board, with effectiveness and punctuality.

I cannot forget the dear *Luciana Sepe*, who handled AISI with affection and dedication since its inception, giving so much to the Association. Luciana is missed by me and by all of us.

Finally, thanks to *Giuseppe Miranda* and *Anna Natale*, who continue to be by our side.

I, therefore, hope, confidently, for AISI a bright future crowned by a widespread History of Engineering in our country.

Salvatore D'Agostino

Prefazione

Venti anni di Storia

Un'avventura iniziata nel 2004, ispirata dalla necessità di conoscere il proprio passato e promuovere una più vasta cultura dell'Ingegneria, nella consapevolezza del Suo poderoso apporto allo sviluppo della società, in una visione che si prospetta sempre più interdisciplinare.

In principio, in due anni, si svilupparono incontri e confronti con diverse Facoltà di Ingegneria e con la Conferenza dei Presidi, si cercò di sensibilizzare le Facoltà di Architettura, che tanto patrimonio culturale condividono con le Facoltà di Ingegneria, e, infine, si coinvolsero gli Ordini Provinciali degli Ingegneri di Napoli e Salerno, che, come anche il Consiglio Nazionale Ingegneri, si mostrarono immediatamente partecipi all'AISI, ai suoi scopi e alle sue iniziative. Furono due anni di impegno culturale che culminarono con il primo Convegno Nazionale, a Napoli nel 2006, nella sede del Centro Congressi della Università Federico II. Fu un successo, al di là di ogni previsione, con la pubblicazione degli Atti in due Tomi, per oltre 1100 pagine e oltre cento contributi di studiosi provenienti da venticinque Università.

Questo processo è poi proseguito inarrestabile in tutti i Convegni successivi e con l'attuale convegno saranno stati editi venti volumi, per oltre 12.000 pagine, disponibili sul sito AISI (www.aising.eu).

Sono stati anni esaltanti e un così impegnativo lavoro è stato reso possibile dall'essenziale contributo di diversi colleghi che qui voglio ringraziare con affetto e gratitudine: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Lia Papa* e *Boris Palella* che ha sostituito Giulio nell'impegnativa funzione di Tesoriere. È qui opportuno anche ricordare, per il suo fondamentale contributo, l'editore *Maurizio Cuzzolin* con il quale, sin dall'inizio, si è sviluppata una perfetta sintonia, concretizzatasi nella pubblicazione degli eleganti cofanetti degli Atti dei Convegni.

Intanto, era sempre più attivamente interessata all'Associazione, e, quindi, alla Storia dell'Ingegneria, *Francesca Romana d'Ambrosio*, professoressa ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale presso l'Università di Salerno. Il suo appassionato e qualificato impegno culturale e organizzativo, sempre più intensamente sviluppatosi nel tempo, ha reso quindi naturale che Francesca ricoprisse dal 2020 il ruolo di Presidente dell'AISI. Dal 2020 a oggi, sotto la sua presidenza, l'AISI ha rafforzato e ampliato, tra l'altro, il rapporto con il Consiglio Nazionale Ingegneri.

Dal 2020 AISI e CNI hanno insieme promosso numerosi seminari di alto valore interdisciplinare, diffusi dalla piattaforma nazionale del CNI, con molte centinaia di ascoltatori; sono state organizzate visite guidate a importanti siti culturali ed è stata sviluppata una serie di rapporti con altre Associazioni.

L'attività propulsiva dei Convegni continua a tutt'oggi con immutato successo.

Sono quindi orgoglioso di questo lungo percorso che sono certo sarà ulteriormente sviluppato con tenacia e consapevolezza culturale dalla Presidente e dal Consiglio Direttivo tutto, con efficacia e puntualità.

Non posso non ricordare la carissima *Luciana Sepe*, che ha seguito con affetto e dedizione l'AISI dalla sua nascita e che ha tanto dato all'Associazione: Luciana manca a me, a tutti noi.

Infine, grazie a *Giuseppe Miranda* e a *Anna Natale*, che continuano a esserci accanto.

Auspico, allora, fiducioso, per l'AISI un luminoso futuro coronato da un vasto diffondersi della Storia dell'Ingegneria nel nostro Paese.

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING

STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Salvatore D'Agostino

La nascita della Ingegneria per i Beni Culturali

The birth of Engineering for Cultural Heritage

Sommario
La nascita della Scienza delle costruzioni e l'avvento della Nuova Architettura determina la fine dell'antica concezione costruttiva. Ciò pone l'esigenza di una nuova cultura scientifica al fine di garantire la conservazione dell'immenso patrimonio storico del Paese e di un cambiamento culturale che induce la nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali.

Abstract
The birth of Strength of Materials and Theory of Structures and the advent of New Architecture determines the end of the ancient Constructive Concept. This raises the need for one new scientific culture in order to guarantee the Conservation of the extensive Italian Historical heritage of the country and of a cultural change that induces the birth of Engineering for Cultural Heritage.

Premessa
Nel secolo XIX, con la nascita delle prime scuole di Ingegneria, comincia a diffondersi lo studio della Meccanica delle Costruzioni che vive da tempo un grande sviluppo con autori quali Culmam e Navier. Inoltre, si diffondono trattati fondamentali quali quelli di Rondelet, Breyman e Curioni. Nel 1877 si ha la prima edizione del manuale dell'ingegnere Giuseppe Colombo, che impone agli ingegneri una diffusa conoscenza dei calcoli matematici. Con la soluzione del problema di De Saint Venant si sviluppa la teoria tecnica della trave, strumento essenziale della nuova Scienza delle costruzioni che consentirà la nascita del calcolo strutturale e, con esso, del calcolo delle strutture in ferro e del calcestruzzo armato. Questi sviluppi, unitamente alla nuova visione dell'Architettura dovuta a Le Corbusier e alla Bauhaus, generano una rivoluzione costruttiva che sostituisce e rende obsoleta l'antica concezione che, per millenni, aveva presieduto alla realizzazione del patrimonio costruito storico della umanità.

Purtroppo lo studio della concezione costruttiva antica e dei materiali tradizionali scompare dagli insegnamenti universitari; ingegneri e architetti padroneggiano la nuova visione architettonica la cui stabilità è affidata alla struttura, schematico insieme di telai costituiti da travi, pilastri e solai, che viene completata dalla messa in opera delle finiture. Ciò determina una ignoranza profonda dell'antica Architettura e dell'arte del costruire, dalla quale consegue una estesa cementificazione del patrimonio costruito storico, aggravata, in Italia, dalla crisi sismica del secolo scorso.

Solo agli inizi degli anni '80 si è cercato di ricucire questa grave lesione riflettendo sull'antica concezione che, per millenni, aveva consentito la realizzazione di infiniti monumenti che hanno vinto una sfida plurisecolare. È andata così maturando la nascita della Ingegneria per i Beni Culturali che ha già conseguito significativi risultati, pur non avendo ancora trovato la dovuta collocazione tra i molteplici Corsi di laurea in Ingegneria.

La "Cultura del fare" nell'Antichità: le regole dell'arte

L'antica concezione costruttiva, così come tutte le attività sviluppate dall'uomo, si basa su due canoni fondamentali: natura e geometria. L'osservazione della natura, dalle caverne agli archi naturali e agli alberi, consente all'uomo di concepire ed elaborare le forme costruttive che vengono razionalizzate dalla concezione della geometria: la concezione del parallelepipedo e di tutte le figure geometriche sono intuizioni fondamentali per lo sviluppo dell'umanità. L'osservazione continua della natura, la sua razionalizzazione che procede lentamente tra qualche successo e continui insuccessi, determina in ogni campo di attività la lenta formazione e la sedimentazione delle regole dell'arte.

Le regole dell'arte rappresentano la conoscenza pratica di lunghi processi evolutivi dell'umano operare che si sono sviluppate per millenni, tra successi e insuccessi che si sono talvolta rivelati preziosi insegnamenti. Esse hanno presieduto al procedere della civiltà dalla più remota antichità fino all'avvento della moderna civiltà fondata sulla conoscenza scientifica e sul sincrono sviluppo tecnologico. Pertanto, le regole dell'arte hanno presieduto allo sviluppo dell'agricoltura, della navigazione e dei trasporti, dell'artigianato e dell'alimentazione: in definitiva a ogni attività umana e ovviamente all'antica concezione del costruire e dell'abitare, che si è lentamente evoluta dalla città "alveare" di Cataloyouk alle grandi costruzioni in terra cruda in Medio Oriente, dalla grande architettura egiziana a quella greca, caratterizzata da una luminosa dimensione umana, fino all'architettura etrusca e a quella romana. È quest'ultima che ha caratterizzato il lungo procedere dell'Architettura occidentale negli ultimi due millenni. Non mancano certo variazioni e innovazioni: si pensi alla architettura bizantina e al glorioso periodo della architettura gotica, ma queste, pur in una diversa visione, non mutano la concezione costruttiva dei vari componenti quali muri, pilastri, archi, volte e solai, definita in epoca romana. Ovviamente, nelle diverse Regioni

si riscontrano materiali e magisteri diversi, ma la concezione costruttiva permane. Così, per millenni si è sviluppata l'architettura che ha realizzato infiniti monumenti nei più diversi stili, da sempre basati sul concetto di costruzione, e che si manifesta come un manufatto autosufficiente, concepito secondo una concezione spaziale in cui la funzione statica è solo una delle funzioni che presiedono al progetto. Questa architettura presenta, quasi sempre, fondazioni dirette, spesso con un livello interrato che rende profondo il piano di sedime, ed è realizzata in materiali naturali di notevole peso specifico, utilizzati in modo che la gravità determini condizioni di grande stabilità, materiali di grande durabilità e anisotropi, le cui caratteristiche meccaniche hanno influito sul disegno costruttivo, materiali caratterizzati da una "rottura fragile" che si manifesta attraverso un quadro fessurativo che determina meccanismi cinematici.

Purtroppo, con l'avvento della Nuova Scienza, questo grande patrimonio che ha consentito l'evolversi dell'Architettura per due millenni è diventato obsoleto. È uscito dalla formazione culturale di architetti e ingegneri ed è diventato così una concezione "archeologica" che però permane in tutti i monumenti della Storia dell'Architettura e nella diffusa edilizia che caratterizzano ancora il tessuto costruttivo dell'Europa e del Mondo occidentale.

L'avvento della Scienza delle costruzioni e la nascita della Nuova Architettura.

Come tutte le moderne discipline scientifiche, la Scienza delle costruzioni prende il suo avvio dalla rivoluzione scientifica galileiana e in Galileo si riscontra il primo tentativo di spiegare il comportamento di una trave incastrata sollecitata da un peso all'estremità. Da questo magico momento la Scienza delle costruzioni ebbe uno sviluppo inarrestabile che si è protratto con continuità per oltre tre secoli, e parallelamente a essa si sviluppò la Meccanica razionale, che interpreta scientificamente le leggi della natura ed è la base fondativa delle scienze dell'Ingegneria. Elementi cardini dello sviluppo della Scienza delle costruzioni e della nascita dell'ingegneria strutturale furono le indagini sulle proprietà meccaniche dei materiali, la trave come struttura, lo studio degli archi, delle volte e delle cupole, la teoria di De Saint Venant, la teoria dell'elasticità, le lastre e le piastre. Si sviluppò la Statica grafica, che è di grande ausilio per i calcoli statici e in particolare per le travature reticolari, e si svilupparono anche lo studio del comportamento viscoelastico dei materiali, la plasticità con il calcolo a rottura e infine la dinamica. L'avvento del calcolatore indusse una rivoluzione in tutti i campi scientifici consentendo l'avvento di innovative possibilità.

Questo così lungo e articolato percorso è stato magistralmente illustrato da Edoardo Benvenuto nel suo prezioso trattato "La Scienza delle Costruzioni e il suo sviluppo storico" (Benvenuto, 1980)

Parallelamente a questo sviluppo teorico, l'industria andò sviluppando nuovi materiali e in particolare il ferro prima e l'acciaio dopo, il cemento e quindi il calcestruzzo. Tra la nascente ingegneria strutturale e i nuovi materiali si creò un forte corto circuito

che rapidamente condusse alla nuova concezione costruttiva e alla conseguente nascita della Nuova Architettura, rendendo rapidamente obsoleti i materiali tradizionali e le regole dell'arte che avevano presieduto al costruire per millenni. Ciò si manifestò innanzi tutto nella costruzione dei ponti con travature reticolari e dei ponti sospesi, opere realizzate in ferro, mentre la genialità di Le Corbusier e della Bauhaus consentirono la concezione di un nuovo modo di costruire e di abitare che trova in Ville Savoie il suo emblema. Questo percorso così innovativo fu compiuto nel breve arco di meno di un secolo e può essere racchiuso tra le emblematiche date del 1850, quando fu completato il ponte Britannia, una trave continua di quattro campate, le due laterali di settantasette metri di luce e le centrali di centoquarantaquattro, e la realizzazione di Ville Savoie nel 1930. In questo arco di tempo fu realizzato il ponte sospeso di Brooklin, iniziato nel 1869 e aperto al traffico nel 1883. Ovviamente, continuava a sopravvivere la costruzione in muratura nella quale si inserirono solai in ferro ed elementi in calcestruzzo armato, in particolare per il corpo scale, sebbene non manchino costruzioni monumentali come la Mole Antonelliana di Torino, realizzata tra il 1863 e il 1889.

Purtroppo, negli anni '30 del secolo scorso si cominciarono a manifestare i primi presagi della seconda guerra mondiale che esplose a fine decennio; ovviamente, l'attività edilizia e la realizzazione di infrastrutture subì un forte rallentamento, mentre l'Europa intera, nei primi anni '40 veniva massacrata dalla dirompente e micidiale azione dei continui bombardamenti aerei. Al termine degli anni '50 l'Europa cominciò a riprendersi con grande velocità e si sviluppò, nei due decenni successivi, un boom edilizio, prima con la ricostruzione degli edifici e delle infrastrutture demolite, poi con la realizzazione di nuovi quartieri, la ristrutturazione delle reti ferroviarie e portuali e la grandiosa crescita di una rete di autostrade, con l'avvento di una diffusa motorizzazione. Si determinò così la prima globalizzazione planetaria con la realizzazione ovunque, da Roma a Londra, da New York a Mosca, fino in Cina e in India, di una comune edilizia in calcestruzzo armato, realizzata con lo scheletro di travi, pilastri e solai definiti, nel loro insieme, "struttura" e da un "rivestimento di finiture". Unitamente all'edilizia abitativa si diffusero una edilizia industriale e una rete di ponti e viadotti.

Intanto, già negli anni '70 cominciarono a diffondersi i calcolatori e di conseguenza i primi programmi di calcolo; fu un processo inarrestabile che in cinquanta anni ha modificato completamente il calcolo strutturale consentendo alla Nuova Architettura di concepire edifici e ponti del tutto innovativi che hanno messo in crisi persino i canoni fondamentali della Architettura storica quali la verticalità e la simmetria. Basti pensare al teatro di Sydney, al grattacielo della Banca Centrale Europea, alla Filarmonica di Amburgo, che ha sovvertito le millenarie immagini delle coperture, o ancora ai ponti di Calatrava. È ben evidente che l'antica concezione costruttiva non appartiene più alla cultura del nuovo ingegnere strutturista, per il quale si annunziano anche sfide come l'ingegneria sismica. Questa rivoluzione non investe però solo l'ingegneria strutturale ma, in maniera più o meno intensa, tutte le branche dell'Ingegneria.

Infatti, gli ascensori sovvertono il pregio degli appartamenti rendendo più ambiti i piani alti, spesso panoramici. L'industria chimica produce sempre nuovi materiali come gli acciai speciali e le fibre di vetro e di carbonio, migliorando talvolta la qualità di antichi materiali come le malte pozzolaniche. Si sviluppano gli impianti elettrici e quelli termotecnici, mentre la Fisica Tecnica ambientale cerca di garantire la qualità dell'aria che è uno dei grandi problemi legati alla salute dell'uomo. L'industria edilizia continuamente aggiorna infiniti componenti e accessori creando finiture innovative e così l'abitare e il costruire diventano un potente settore industriale.

La nascita dell'Ingegneria sismica in Italia

L'Italia, per la sua configurazione orografica, ha molte Regioni caratterizzate da una intensa vulnerabilità sismica; fino agli inizi del 1600 i terremoti venivano considerati castighi divini, poi attribuiti a inconsueti fenomeni come l'azione dei venti in cavità sotterranee. Nel 1617, a seguito di un sisma che aveva colpito la Campania, fu ripreso il sistema baraccato costituito da elementi lignei muniti di controventi anch'essi lignei e rivestiti da muratura. Questo sistema si riscontra in qualche prototipo nell'antica Pompei ed è ancora in uso nell'edilizia minore dei villaggi inglesi.

In seguito a uno dei ricorrenti terremoti di Reggio Calabria, nel 1784 i Borbone emisero le Istruzioni per la ricostruzione, e in seguito a un terremoto nel territorio di Norcia, Pio IX emanò nel 1854 un Regolamento edilizio.

La prima normativa antisismica italiana fu emanata nel 1884 in seguito al disastroso terremoto che colpì Casamicciola e riguardava tutti i comuni dell'isola d'Ischia. Successive Normative furono emanate nel 1927, nel 1937 e infine nel 1974, quando per la prima volta si classificò il territorio. Una nuova Normativa fu emessa a valle del terribile terremoto dell'Irpinia nel 1980, cui seguirono aggiornamenti e circolari fino alle Normative del 2008 e del 2018. Questo lungo percorso indica l'evolversi degli studi e pertanto la contingenza delle prescrizioni, per cui edifici costruiti nel 2008 risultano fuori norma nel 2018. In Italia il monitoraggio continuo dell'azione sismica è seguita dall'Istituto Nazionale di Geologia e Vulcanologia, l'INGV, mentre la storia sismica del Paese è studiata da tempo da Emanuela Guidoboni, una studiosa che il mondo ci invidia e che oltre a una serie di poderosi volumi, si pensi a (Guidoboni, 1999; Guidoboni e Poriet, 2019), ha recentemente pubblicato l'opera "L'Italia dei Terremoti: Atlante l'azzardo sismico delle città", voluta dal Consiglio Nazionale degli Ingegneri, che ricostruisce puntualmente la storia sismica di tutte le città d'Italia in zona sismica con una popolazione superiore a trentamila abitanti (Guidoboni e Valensise, 2023).

In vero non mancano studi precedenti come il noto "Trattato di costruzioni antisismiche preceduto da un Corso di sismologia", di Masciari Genoese, pubblicato da Hoepli nel 1915 e, molto più recentemente, gli studi di Giuseppe Grandori del Politecnico di Milano che si interessò di Ingegneria sismica fin dagli anni '60 e fu

presidente dell'*Association Earthquake Engineering* e dell'Associazione Europea di Ingegneria sismica.

Ancora con i terremoti del Friuli, nel 1972, e dell'Irpinia, nel 1980, fu istituito, nel 1984, il Dipartimento della Protezione Civile, fondato da Giuseppe Zamberletti, che da allora svolge un ruolo fondamentale nelle situazioni di emergenza. Proprio con i terremoti del Friuli e dell'Irpinia si cominciò, finalmente, ad affrontare il grave problema della protezione del Patrimonio storico che intanto era stato sottoposto a una invasiva cementificazione.

Il nascente Ministero dei Beni Culturali istituì nel 1984 il Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico che produsse, in quattordici anni di attività, documenti fondamentali per la salvaguardia dell'Architettura tutelata (Ballardini, 1990); nello stesso anno, iniziava la pubblicazione della rivista Ingegneria Sismica, che nel numero 0 pubblicò un articolo su "La difesa del patrimonio monumentale dal rischio sismico" (Gullini *et al*., 1984). Da quel momento fu un fiorire di studi e di Convegni. Nel 1991 fu presentata una relazione generale al V Convegno nazionale di Ingegneria sismica, tenutosi a Palermo, dall'emblematico titolo: "Interventi di consolidamento e restauro" (D'Agostino, 1991). Intanto, provvidenzialmente, la Normativa del 1986 introduceva, anche sulla spinta del Comitato sismico, il concetto di miglioramento che, da allora, è alla base degli interventi in zona sismica del Patrimonio tutelato.

Ormai lo studio della Ingegneria sismica si è ramificato in tutte le Università del Paese ed è diventato un aspetto fondamentale della Ingegneria strutturale.

Il Patrimonio costruito storico come monumento-documento

In Italia il dibattito sulla Conservazione e il restauro del patrimonio costruito si sviluppò fin dagli inizi del '900 sulla base di un dibattito iniziato nel '700 con l'opera di Edwards, impegnato nel restauro dei dipinti dell'Accademia di Venezia. In Francia la situazione era ben diversa con l'affermarsi delle teorie e dell'opera di Viollet le Duc, che intervenne pesantemente nel restauro di Notre Dame. La sua teoria, che si contrapponeva al restauro conservativo e filologico, sostenuto in sede europea da John Ruskin, trovò anche diversi proseliti in Italia, in particolare nel restauro della Bologna Medievale. In Italia l'esemplare slogan "com'era, dov'era" caratterizzò l'acceso dibattito per la ricostruzione del Campanile di S. Marco a Venezia, improvvisamente crollato nel 1902, dopo circa un millennio dalla sua costruzione.

La cultura del restauro fu ratificata nella Carta del restauro del 1932. Nel 1939 Cesare Brandi, con Giulio Carlo Argan, fondò l'Istituto Centrale del Restauro-ICR. Nel 1963 fu pubblicato il testo *Teoria del restauro*, lezioni raccolte da Licia Vlad Borrelli, Ioselita Raspi Serra, Giovanni Urbani, con bibliografia generale dell'autore, la cui ultima edizione è del 2022 (Brandi, 2022). Su questo abbrivio furono ricostruiti, nello spirito del "com'era, dov'era", il ponte di S. Trinità a Firenze e il

ponte Vecchio e il ponte Pietra a Verona e l'architetto Gazzola guidò per l'UNESCO lo spostamento in Egitto dell'emblematico tempio di Abu-Simhel, che sarebbe stato sommerso dalla diga di Assuan. Parallelamente però, come si è detto, si verificò, da parte della industria edilizia, la cementificazione del patrimonio storico, che si accentuò a valle delle citate crisi sismiche del Friuli e dell'Irpinia e che celebrò il suo trionfo nel Convegno AITEC "Cemento e Restauro" (Carbonara, 1981-1984).

Fortunatamente il Comitato sismico poneva un argine alla pratica del consolidamento e forniva agli Organi di tutela, anche sulla base del concetto di miglioramento, strumenti idonei a preservare i monumenti da interventi massicciamente invasivi.

Intanto, nel 1986, la Casa Editrice Einaudi pubblicava in Italia il fondamentale volume" Storia e memoria" del grande storico francese Jean Le Goff, che sviluppava il concetto di documento-monumento, presto riletto come monumento-documento (Le Goff, 1986): ogni monumento porta in sé le testimonianze di una storia plurisecolare e ciò è avvalorato dalla nascita della Storia materiale. Così ogni monumento assume il valore di documento dell'archivio storico della umanità. Tale concetto trova riscontro non solo negli studi umanistici, ma, sull'abbrivio della nascente Archeometria, diventa oggetto di ricerca scientifica anche in altri ambiti. In tal modo geologi, fisici, chimici e ingegneri sviluppano ricerche scientifiche vuoi sui materiali dei beni storico-artistici, vuoi sui monumenti della architettura; ne è testimone la prestigiosa rivista Archeometry, pubblicata dall'Università di Oxford. Tale ricerca avviene anche con lo sviluppo di specifiche attrezzature scientifiche che promuovono la diagnostica per i Beni Culturali. Un risultato esemplare di tale innovativo processo è rappresentato dall'analisi delle terre di fusione conservate nei Bronzi di Riace, che ha consentito di individuare nell'Argolide la terra di provenienza delle statue.

Il concetto monumento-documento diventa così elemento di riferimento negli interventi di conservazione e restauro e trova riscontro in "com'era, dov'era", che peraltro si applica a un patrimonio ormai archeologico in quanto, vuoi per concezione architettonica e ancor più costruttiva, vuoi per i materiali costitutivi, appartiene a una civiltà definitivamente conclusa. Purtroppo, però, l'umano procedere implica sempre seppur lievi modifiche e spesso qualche innovazione, pertanto mentre il concetto di monumento-documento deve inverare il progetto di conservazione e restauro, lo slogan "com'era, dov'era" non può che essere assunto quale limite cui tendere, ma che non è possibile realizzare.

Tale slogan è stato recentemente teorizzato dal Presidente Macron per l'attuale restauro di Notre Dame, profondamente ferita da un dirompente incendio, ma non potrà che essere parzialmente conseguito come dimostra la ricostruzione della guglia dovuta a Viollet le Duc, nonostante gli sforzi per rispettarlo siano notevoli come evidenzia il taglio di oltre mille querce di alto fusto per la ricostruzione "all'identique" delle capriate di copertura.

La nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali

L'azione del Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico, alla quale contribuì un nutrito gruppo di strutturisti, il principio del miglioramento e il diffondersi di una cultura interdisciplinare che ha trovato riscontro in associazioni come l'ARCo, l'Associazione per il Recupero del Costruito, furono tutti elementi che contribuirono al cambio di passo nella visione culturale di molti ingegneri che lentamente diffusero queste nuove idee nelle Università. Intanto il Ministero della cultura emanava le Linee guida per gli interventi sul patrimonio costruito storico in zona sismica (MiC, 2021) e si diffondevano conferenze e convegni. In particolare, sia nei convegni di ingegneria sismica, sia in quelli dell'ARCo, si dibatteva sulla valutazione del miglioramento e i convegni dell'ARCo illustravano sistematicamente gli interventi che si andava a eseguire sui Monumenti. Peraltro cresceva, attraverso l'opera di Guidoboni e di Valensise dell'INGV, la cognizione storica della sismicità e si moltiplicavano le ricerche su antichi provvedimenti antisismici. Salvatore Di Pasquale pubblicava "L'arte del costruire", un trattato sulle costruzioni in muratura (Di Pasquale, 1996), mentre si realizzavano numerosi Manuali del Recupero da Roma a Palermo, dall'Umbria a Ortigia. Si erano ormai sviluppati una cultura e un settore di ricerca che non interessava solo l'ingegneria strutturale ma si diffondeva in molti altri settori. Anche la Protezione Civile portò continui contributi, in particolare con il progetto CARTIS che, con la partecipazione di numerose Università, ha programmato una complessa schedatura vuoi del Patrimonio abitativo storico, vuoi in particolare degli edifici di culto.

Nel 1992, sulla spinta del Comitato sismico, lo scrivente promuoveva l'istituzione, presso l'Università di Napoli Federico II, del Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali, il CIBeC, al quale partecipavano e partecipano, oltre ai Dipartimenti di Ingegneria, anche quelli di Architettura e di Studi Umanistici. Si creava così una struttura nella quale si metteva in campo una cultura interdisciplinare per la Conservazione e il Restauro. Il CIBeC in trenta anni di attività ha svolto numerose consulenze per Soprintendenze ed Enti Pubblici. Si citano in particolare quelle riguardanti i Templi di Paestum, l'antica Velia, Villa dei Papiri e Villa dei Quintili. Il Centro ha promosso un gruppo di ricerca che ha elaborato, nel 2009, le Raccomandazioni per la redazione dei progetti e l'esecuzione di interventi per il costruito archeologico (D'Agostino *et al.*, 2009), inviate a tutte le Soprintendenze Archeologiche e pubblicato sul sito WEB della Direzione Generale delle Antichità del Ministero della Cultura. Inoltre, il CIBeC svolge Corsi di Perfezionamento in Ingegneria per i Beni Culturali, Monumenti e terremoti e Geotecnica per il costruito storico. Nel 2017 il CIBeC ha pubblicato, per i tipi del Mulino, il primo trattato di "Ingegneria per i Beni Culturali" che raccoglie testi di Ingegneria strutturale, Archeologia, Architettura e Ingegneria Industriale, elaborando una specifica teoria della conservazione (D'Agostino, 2017). Il CIBeC istituì anche un Dottorato di ricerca che formò dottori oggi

in organico alle Soprintendenze ma, purtroppo questo Dottorato ebbe vita breve per la ben nota tracotanza accademica. Intanto, nel 2010 veniva pubblicato il volume fondamentale "Statica delle costruzioni storiche in muratura" (Como, 2010). Infine, è in corso di pubblicazione una collana sugli interventi di conservazione geotecnica su insigni monumenti quali la Torre di Pisa e la Cattedrale di Città del Messico. La collana, curata dal professore Renato Lancellotta del Politecnico di Torino, è diffusa in campo internazionale per i tipi di Francis& Taylor ed è introdotta da un volume sulla conservazione e il restauro del costruito storico (D'Agostino, 2022).

Anche presso l'Università di Roma La Sapienza, sempre negli anni '90, fu istituito il Centro di Ricerca in Scienza e tecnica per la conservazione del patrimonio storico architettonico, impegnato in ricerche con Enti Pubblici, cui si deve un importante volume sulla Basilica di Massenzio a Roma (Giavarini, 2005).

Sono poi seguiti Corsi di Perfezionamento e Master presso diverse Università e oggi un ingegnere dirige l'Ufficio Tecnico dell'antica Pompei. Così l'Ingegneria per i Beni Culturali ha assunto una pregnante funzione culturale e scientifica nella conservazione, nel restauro e nella manutenzione del patrimonio monumentale del Paese. Ciò trova puntuale riscontro nella nuova pianta organica del Ministero della Cultura che, per la prima volta, prevede funzionari ingegneri in organico presso Soprintendenze e Musei.

È necessario pertanto che l'Università italiana si adegui e istituisca al più presto Corsi di Laurea in Ingegneria per i Beni Culturali che costituiranno una indispensabile palestra per la formazione di competenti laureati per la salvaguardia del vastissimo e diffusissimo patrimonio storico dell'Italia.

Bibliografia di riferimento

Ballardini R. (a cura di) 1990. *Attività del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico in Il Restauro Architettonico nel terremoto del Friuli*. Udine: Arti Grafiche Friulane.

Benvenuto E. 1981. *La Scienza delle Costruzioni e il suo sviluppo storico*. Firenze: Sansoni

Brandi C. 2022. *Teoria del restauro*. Milano: La nave di Teseo.

Carbonara G. (a cura di). 1981-84. *Restauro e Cemento in Architettura*. Roma: AITEC.

Como M. 2010. *Statica delle Costruzioni Storiche in Muratura*. Firenze: Alinea.

D'Agostino S. 1991. Interventi di consolidamento e restauro. In: *Atti del V Convegno Nazionale di Ingegneria Sismica*. Relazione Generale, 32-6, 57-65.

D'Agostino S., Giuliani C.F, Conforto M.L., Guidoboni E. 2009. *Raccomandazioni per la Redazione di Progetti e l'Esecuzione di interventi per la Conservazione del Costruito Archeologico*. Napoli: Cuzzolin Editore.

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

D'Agostino S. 2022. *Conservation and Restoration of Built Heritage*. London: CRC Press.

Di Pasquale S. 1996. *L'Arte del Costruire tra conoscenza e scienza*. Venezia: Marsilio Editori.

Giavarini C. (a cura di). 2005. *La Basilica di Massenzio*. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Guidoboni E. 1999. *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea*. Bologna: S.G.A.

Guidoboni E., Poriet J.P. 2019. *Storia culturale del terremoto dal mondo antico ad oggi*. Catanzaro: Rubettino.

Guidoboni E., Valensise G. 2023. *L'Italia dei Terremoti: Atlante l'azzardo sismico delle città. Vol. I: il Sud; Vol. II: Il Centro e il Nord*. Roma: Fondazione del Consiglio Nazionale degli Ingegneri.

Gullini G., D'Agostino S., Braga F. 1984. La difesa del Patrimonio Monumentale dal rischio sismico. Ingegneria Sismica, 1(0).

Le Goff I. 1986. *Storia e Memoria*. Torino: Einaudi.

MiC. 2021. *Linee Guida per la Valutazione la riduzione del rischio sismico del Patrimonio culturale allineate alle nuove Normative Tecniche sulle costruzioni*. Ministero della Cultura.

Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano

Gli strumenti di misura per l'igrometria dal XV al XX secolo

The measuring instruments for hygrometry from 15th to 20th century

Sommario

La storia degli strumenti misuratori della quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera abbraccia un intervallo temporale di circa sei secoli. Le prime realizzazioni strumentali si devono a Niccolò Cusano che, nel 1430 circa, propose di misurare l'umidità dell'aria mediante la variazione di peso di una balla di lana e a Leonardo da Vinci che, nel 1500 circa, costruì un igroscopio a bilancia. Solo nel Seicento, con gli strumenti di misura proposti da F. Folli, da Ferdinando II de' Medici, granduca di Toscana, e dagli studiosi dell'Accademia del Cimento, iniziò la moderna igrometria teorica e sperimentale. La fine del Settecento vide la realizzazione dell'igrometro a capelli di H.B. de Saussure, nel 1780. Nell'Ottocento furono realizzati igrometri a condensazione, come quello ideato da J. F. Daniell, nel 1820, e perfezionato da H.V. Régnault nel 1845. Nel 1825 E. F. August realizzò uno psicrometro, migliorato da R. Assman nel 1887; ciò consentì, mediante l'uso di formule psicrometriche più rappresentative del fenomeno, di misurare e di calcolare con maggiore precisione l'umidità relativa. Alla fine dell'Ottocento gli igrometri, come altri strumenti meteorologici, furono realizzati secondo standard fissati dall'Organizzazione Meteorologica Internazionale. Nel Novecento si ebbe uno sviluppo ulteriore mediante sia l'impiego di sensori di nuova concezione sia, nell'ultimo decennio, l'utilizzo di microprocessori. Usando queste tecnologie furono realizzati strumenti che riuscirono a misurare l'umidità relativa dell'aria con una incertezza di misura compresa fra 0,2 e 1%.

Abstract

Water covers, in different states, about 70% of the earth's surface; in the form of water vapor, along with oxygen and nitrogen, it is one of the main components of the atmosphere. The water contained in the atmosphere can be considered the producing element of atmospheric phenomena, due to its properties of absorbing, conserving, and returning large quantities of thermal energy. The hygrometric state of the atmosphere affects, with temperature, the formation of hydrometeors. The history of

instruments, measuring the amount of water vapor present in the atmosphere, is long and complex. The first ones carried out exploited the properties of hygroscopic substances that absorb and release the water present in the air with alterations in their dimensions or weight. The first instruments are due to Nicholas of Cusa who, around 1430, proposed to measure the air humidity by the variation in weight of a wool bale, and to Leonardo da Vinci who built a balance hygroscope (around 1500). Only in the 17th century, modern theoretical and experimental hygrometry began with the measuring instruments proposed by F. Folli, the Grand Duke of Tuscany Ferdinando II de' Medici and the scholars of the "Accademia del Cimento". At the end of the 18th century H. B. de Saussure carried out the hair hygrometer (1780). In the 19th century, condensation hygrometers were created, such as the one designed by J. F. Daniell (1820), improved by H. V. Régnault (1845). In 1825 E. F. August carried out a psychrometer, refined by R. Assman in 1887; this latter allowed the relative humidity to be measured more precisely by psychrometric formulas more representative of the phenomenon. At the end of the 19th century, hygrometers, like other meteorological instruments, were made according to internationally established standards. In the 20th century there was further development through both the use of newly developed sensors and, in the last decade, the use of microprocessors. The application of these technologies has allowed the design and production of instruments that measure the relative humidity of the air with an error between 0,2 and 1%.

Introduzione

L'acqua ricopre, in forme diverse, circa il 70% della superficie terrestre. Sotto forma di vapore acqueo, insieme a ossigeno e azoto, è uno dei componenti principali dell'atmosfera. L'acqua contenuta nell'atmosfera a causa della sua capacità di assorbire, conservare, e restituire grandi quantità di energia termica, può essere considerata l'elemento che produce i fenomeni atmosferici: lo stato igrometrico dell'atmosfera determina, con la temperatura, il formarsi delle idrometeore.

Lunga e complessa è la storia degli strumenti misuratori della quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera.

I primi strumenti realizzati sfruttavano le proprietà di sostanze igroscopiche che assorbono e rilasciano l'acqua presente nell'aria con alterazioni delle loro dimensioni e del loro peso. Furono costruiti molto prima che si avesse una idea chiara sul vapore acqueo, che solo nel Settecento fu accettato come una sostanza distinta. Inoltre, fino alla fine del Settecento gli studiosi parlavano di umidità dell'aria o dell'atmosfera senza distinguere i termini con cui questa viene oggi espressa, ad esempio umidità relativa, umidità assoluta, umidità specifica, rapporto di mescolanza, o a parametri utilizzati in igrometria come, ad esempio, la temperatura di rugiada. Solo nell'Ottocento questa distinzione venne introdotta prima concettualmente e poi operativamente.

Le variazioni della quantità di vapore presente nell'aria possono essere visualizzate da dispositivi che prendono il nome di igroscopi, i quali però non quantificano detta variazione e pertanto non sono strumenti di misura in senso stretto. Lo strumento più comune per la misura diretta dell'umidità dell'aria, ovvero del contenuto di vapore in essa presente, è l'igrometro; ma l'umidità può essere anche misurata indirettamente. In generale, con il termine igrometro vengono chiamati gli strumenti, la cui indicazione è legata direttamente alla quantità d'acqua presente nell'aria sotto forma di vapore. L'umidità viene anche misurata in modo indiretto tramite la misura di due temperature, con lo psicrometro[1], dal greco *psycrhrós* = freddo e *métron* = misura, strumento formato da due termometri, uno col bulbo asciutto e uno col bulbo bagnato. L'evaporazione dell'acqua da quest'ultimo provoca il raffreddamento del bulbo, tanto maggiore quanto minore è la quantità di vapore presente nell'aria; fenomeno era noto fin dalla prima metà del Settecento. Dalle due temperature è possibile, tramite tabelle o formule, calcolare l'umidità relativa dell'aria (Benincasa *et al*., 2019).

I primi strumenti dal XV al XVII secolo

Le prime realizzazioni strumentali si devono a Niccolò Cusano, nel 1430 circa, che propose di misurare l'umidità dell'aria mediante la variazione di peso di una balla di lana (Agnoli e Bartelloni, 2013). Anche Leon Battista Alberti accennò nel X libro del "De re aedificatoria", manoscritto del 1452, alla necessità di realizzare una bilancia con la quale misurare «quanto sieno gravi, e quanto secchi, i venti, e l'aria» (Alberti, 1565). Leonardo da Vinci, intorno al 1500 circa, sviluppò l'idea di Cusano, costruendo un igroscopio a bilancia che confrontava il peso di un materiale non igroscopico, ad esempio cera, con quello di uno igroscopico, ad esempio bambagia, dello stesso peso in condizione di aria anidra, ma che assumeva un peso diverso in condizioni di aria umida (Benincasa *et al*., 2019). All'inizio del Seicento, Santorre Santorio propose un igroscopio che era costituito da una corda di materiale igroscopico tesa fra due punti e caricata al centro da un peso che in condizioni di aria anidra indicava sulla scala lo zero; con l'aumento dell'umidità la corda si allungava e il peso, abbassandosi, indicava altri valori di umidità (Santorio, 1625).

Ma solo con gli strumenti proposti dagli studiosi dell'Accademia del Cimento iniziò la moderna igrometria sperimentale e teorica.

Francesco Folli realizzò nel 1664 uno «strumento da conoscere i gradi dell'umido e del secco dell'aria» che chiamò "mostra umidaria", come ricordò anche Francesco Redi nel suo testo "Esperienze intorno alla generazione degli insetti" (Redi, 1668). Lo strumento, un igroscopio, era costituito da una asta di legno avente alle due estremità due piccoli rulli sui quali si arrotolavano i capi di una fettuccia di carta che costituiva il materiale igroscopico, come mostrato in Figura 1. Un disco d'ottone con scala graduata posto su un supporto era montato al centro dell'asta. Una lancetta, imperniata al centro del quadrante e mossa da un meccanismo, indicava le variazioni

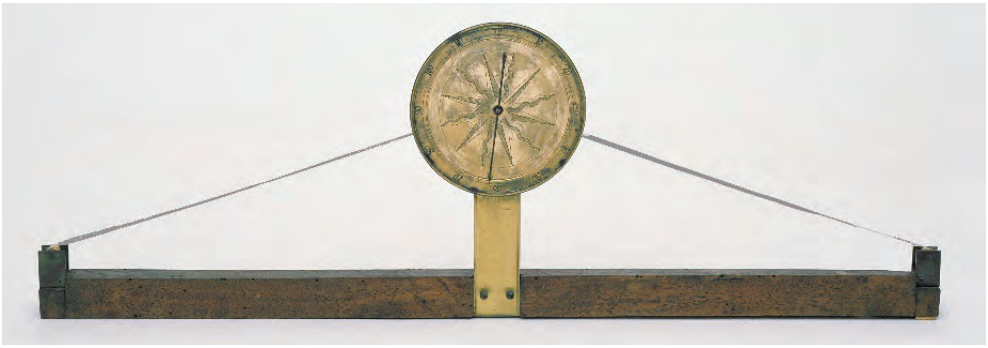


Fig. 1 - Igroscopio di F. Folli conservato al Museo Galileo di Firenze. Riproduzione su concessione del Museo Galileo, Firenze - Archivio Fotografico.

di lunghezza della carta provocate dalle variazioni dell'umidità dell'aria. Nel 1665 lo strumento fu presentato a Firenze al granduca Ferdinando II de' Medici che ne fece alcuni esemplari per inviarli ai vari Principi d'Europa. Successivamente, Vincenzo Viviani realizzò alcune versioni di tale igrometro con piccole variazioni costruttive (Knowles Middleton, 1969).

Negli stessi anni Ferdinando II de' Medici ideò un igroscopio a rugiada che non misurava l'umidità dell'aria in un ambiente ma serviva per «conoscere le differenze dell'umido nell'aria» ovvero era in grado di mostrare se un ambiente era più o meno umido di un altro, entrambi alla stessa temperatura (Accademia del Cimento, 1667).

Dalla seconda metà del Seicento alla prima del Settecento vennero realizzati strumenti con principio di funzionamento simile a quello dell'igrometro di Folli utilizzando i più svariati materiali come elemento igroscopico: dalle pietre di fiume al legno, al budello animale, alle pelli di pecora e così via (Benincasa *et al*., 2023). Altri ne vennero prodotti ma apparivano più come complementi di arredo o *divertissement* di curiosi signori. Ne è un esempio più tardo l'igroscopio a pupazzo del 1795, che era formato da una statuetta di terracotta raffigurante un turco; la testa del pupazzo era sospesa, mediante un telaio di ferro, e libera di ruotare, ed era unita alla parte inferiore del corpo mediante un budello animale attorcigliato che fungeva da sostanza igroscopica: in base all'umidità dell'aria, il budello si contraeva o si allentava facendo ruotare la testa del pupazzo in un verso o nell'altro (Mantovani, 2010).

Settecento-Ottocento: lo sviluppo dell'igrometria sperimentale

Nella prima metà del Settecento molti studiosi fornirono importanti contributi allo studio dell'igrometria, come Daniel Bernoulli con la formulazione della prima teoria cinetica dei gas, e alla comprensione del fenomeno evaporativo. Con lo sviluppo degli osservatori meteorologici anche l'igrometria divenne un tema di indagine e si

vide un fiorire di nuovi strumenti per la misura di questa grandezza.

La fine del Settecento vide la realizzazione dell'igrometro a capelli di Horace-Bénédict de Saussure del 1783 che fu l'archetipo degli strumenti meccanici ed elettromeccanici, prodotti fino alla seconda metà del Novecento. Lo strumento, in Figura 2, era costituito da un telaio di ottone sul quale era steso un fascio di capelli, bloccato da una ganascia e passante su una puleggia munita di lancetta. Il fascio era tenuto in tensione da un contrappeso collegato alla puleggia. A seconda dello stato igrometrico dell'aria i capelli, che operavano da sostanza igroscopica, variavano in lunghezza. Le variazioni erano lette su una scala situata in corrispondenza della lancetta. Ampia descrizione dell'igrometro, dei metodi di taratura e del suo comportamento in presenza di altri gas quali idrogeno e diossido di carbonio fu data da de Saussure nel saggio "Essais sur l'hygrométrie" (De Saussure, 1783).

Fig. 2 - Igrometro a capelli di H. B. de Saussure, conservato al Museo Galileo di Firenze. Riproduzione su concessione del Museo Galileo, Firenze - Archivio Fotografico.

Come nel caso di altri strumenti, gli igrometri furono inseriti in sistemi multiparametrici di misura, i meteorografi, come quello di Felice Fontana formato da un barometro, due termometri, un igrometro e una bussola dei venti ad ago magnetico (Affronti, 1977), o come il meteorografo di Pietro Moscati (Moscati, 1790), dove era presente un igrometro a capello di de Saussure, o il meteorografo di Antonio Maria Vassalli Eandi, dove era presente inizialmente un igrometro a bilancia in seguito sostituito da un igrometro a capello (Vassalli, 1799; 1816).

È solo con l'Ottocento che gli studiosi iniziano a distinguere i termini con cui l'umidità dell'atmosfera viene attualmente espressa, ad esempio umidità relativa, umidità assoluta, umidità specifica, rapporto di mescolanza, o a parametri utilizzati in igrometria come, ad esempio, la temperatura di rugiada, ecc. (Benincasa *et al*., 1991; Fasano *et al*., 1999). Gli studi di questo periodo sulla relazione fra temperatura di rugiada e umidità atmosferica portano alla realizzazione di igrometri a condensazione

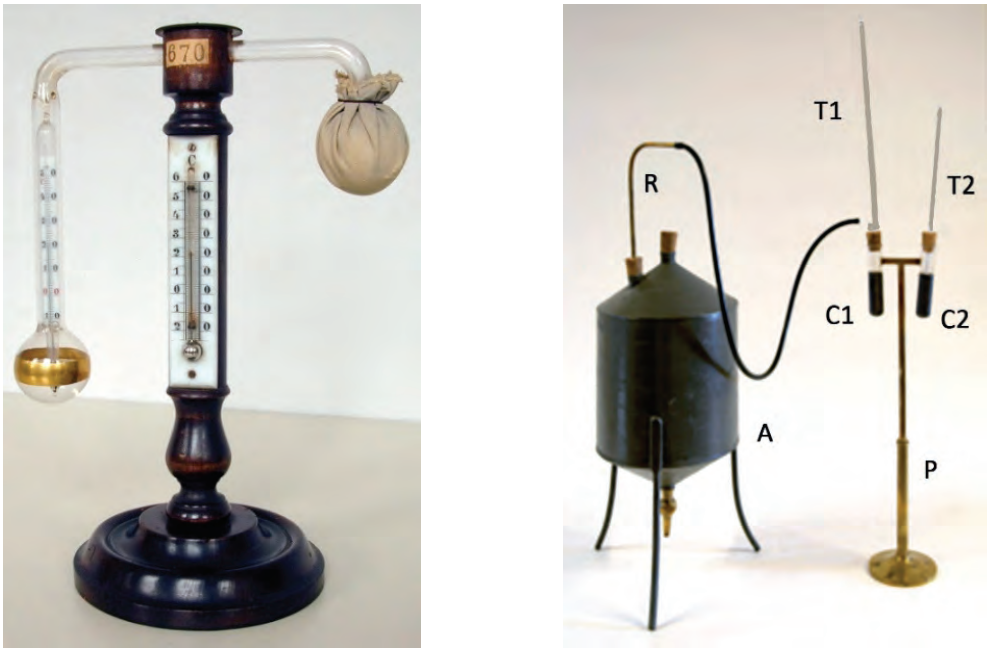


Fig. 3 - Igrometro a condensazione di J.F. Daniell, esemplare di fine' 800 conservato al Museo dell'Innovazione e della Tecnica Industriale di Fermo (Foto di C. Profumieri)*, a sinistra, ed esemplare di igrometro a condensazione o ad appannamento di H.-V Régnault conservato presso il Gabinetto di Fisica del Museo urbinate della Scienza e della Tecnica dell'Università di Urbino* (Mantovani, 2010)*, a destra: A: aspiratore metallico, P: piede di ottone, C1 e C2: provette metalliche, R: tubo di raccordo, T1 e T2: termometri.*

come quello ideato da John Frederic Daniell nel 1820, perfezionato da Henri-Victor Régnault nel 1845, in Figura 3, che sfruttavano il fenomeno della condensazione del vapore acqueo che avviene quando l'aria raggiunge la temperatura di rugiada[2].

Nel 1825 lo studioso tedesco Ernst Ferdinand August realizzò uno psicrometro, mostrato in Figura 3, costituito da un termometro a bulbo asciutto e uno a bulbo costantemente inumidito da una garza immersa in un contenitore pieno d'acqua. Dalle due temperature, mediante una formula, si risaliva al valore dell'umidità relativa dell'aria. In generale la precisione con cui veniva calcolata l'umidità relativa dell'aria non era molto elevata sia per i limiti dello strumento sia per l'inadeguatezza della formula utilizzata nel calcolo.

Dal 1887 il meteorologo tedesco Richard Assmann lavorò al perfezionamento dello strumento di August che lo portò a realizzare uno psicrometro, in Figura 4 al centro, avente un piccolo aspiratore meccanico per ventilare i bulbi dei due termometri e per facilitare l'evaporazione, rendendo così più rapida la stabilizzazione delle

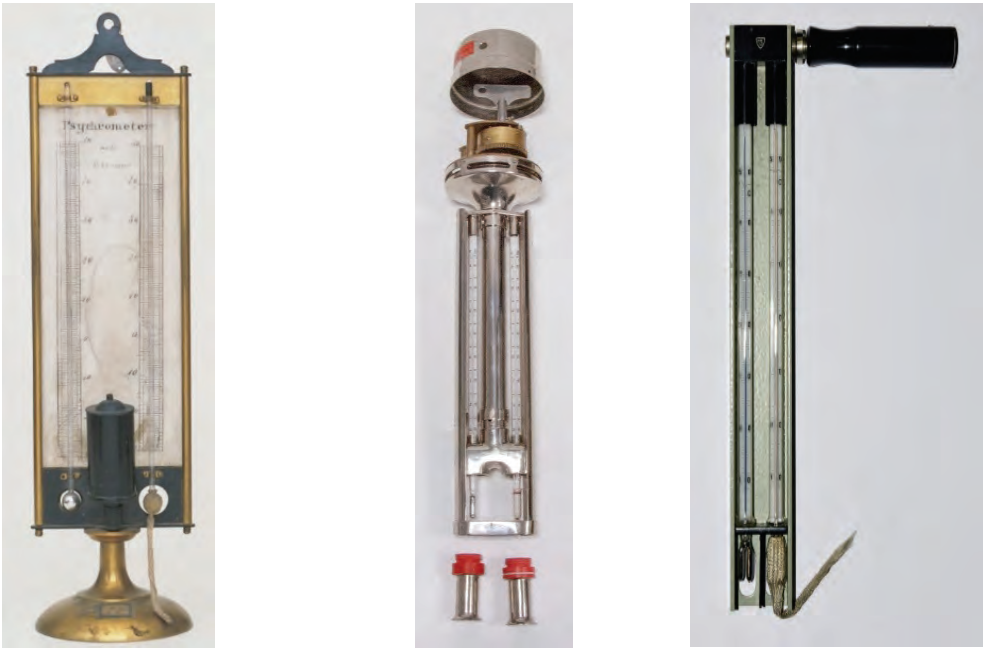


Fig. 4 - Psicrometro di E.F. August esposto al Museo Galileo, di Firenze (riproduzione su concessione del Museo Galileo, Firenze, Archivio Fotografico)*, a sinistra, psicrometro aspirato meccanicamente di R. Assmann* (foto di G. Fasano)*, al centro, e psicrometro a fionda* (foto di G. Fasano)*, a destra.*

temperature (Assmann, 1892). Nell'immagine centrale di Figura 4 si osserva che in alto il coperchio è aperto per mostrare gli ingranaggi e la chiavetta per caricare la molla; in basso sono tolti i due cilindri che proteggono i bulbi termometrici, quello di destra, bulbo umido, è coperto da una garza bagnata.

La novità progettuale introdotta, unitamente all'uso di formule psicrometriche più efficaci o delle tavole psicrometriche di William Ferrel realizzate nel 1886, o, in seguito, dell'uso del diagramma psicrometrico di Willis Haviland Carrier del 1911, portò a misure di umidità relativa molto più precise. In alcune versioni più recenti dello psicrometro di Assmann l'aspiratore viene azionato da un motorino elettrico (Benincasa *et al.,* 2019).

Sempre nella seconda metà dell'Ottocento nacquero gli psicrometri a fionda, in Figura 4 a destra, probabilmente basati su una idea dell'astronomo francese Auguste Bravais (Knowles Middleton, 1969), in cui la ventilazione viene effettuata manualmente facendo ruotare lo strumento come se fosse una fionda (Rivosecchi, 1975). Anche per questo strumento, come in quello di Assmann, dalla misura della temperatura dell'aria con un bulbo asciutto e uno umidificato tramite una garza, si quantifica,

per mezzo del diagramma psicrometrico o di formule, le condizioni igrometriche dell'ambiente. Lo strumento è stato usato, fino a pochi decenni fa, dai professionisti della meteorologia per misure estemporanee in campo; adesso è usato solo da qualche appassionato (Benincasa *et al*., 2019).

Il fisico Giovanni Alessandro Maiocchi propose intorno al 1845 un igrometro a tensione di vapore che permetteva di determinare il deficit di questo parametro per raggiungere il valore della tensione di saturazione. Successivamente, tramite formule empiriche o tabelle, veniva calcolata la tensione di vapore saturo alla temperatura data; quindi, per differenza tra questo valore e il deficit di saturazione fornito dallo strumento si otteneva la pressione parziale del vapore nell'atmosfera esaminata. Il rapporto tra quest'ultima e la pressione di saturazione forniva il valore dell'umidità relativa (Benincasa *et al*., 2023).

Contemporaneamente agli strumenti realizzati su basi scientifiche valide, anche l'inizio dell'Ottocento vide la proposta di fantasiosi apparati come l'igrometro a membrana d'uovo del naturalista italiano Giovanni Federico Mayer del 1817 (Mayer, 1817) di cui non è noto se furono realizzati alcuni esemplari[3].

Coevo è l'igrometro a vescica di topo, proposto nel 1816 dal fisico inglese Daniel Wilson, in cui una vescica di topo era fermata al fondo di un tubo di vetro, simile a un termometro di calibro medio. La vescica era completamente riempita di mercurio mentre il tubo lo era solo parzialmente. Il tubo era sigillato all'estremo opposto ed era graduato tramite calibrazione fra due punti di umidità estrema: per la massima lo strumento era immerso in acqua a una certa temperatura, per la minima era sospeso in un vaso contenente sul fondo acido solforico concentrato, fortemente igroscopico. L'intervallo fra i due punti estremi era diviso in un numero arbitrario di intervalli uguali. All'aumentare dell'umidità dell'aria la vescica subiva dilatazioni che facevano abbassare il livello del mercurio nel tubo, viceversa al diminuire dell'umidità la vescica si contraeva e il livello del mercurio saliva nel tubo. Secondo l'autore lo strumento aveva una grande sensibilità da poter "misurare" variazioni anche col solo avvicinarsi delle mani. Di questo strumento, a detta di Wilson, ne furono costruiti vari esemplari (Schweigger, 1817, T.4, pp.262-3).

Inoltre, in questi decenni vengono realizzati igrometri registratori aventi come sensore varie sostanze igroscopiche. Nel 1871 il fisico-chimico olandese Eduard Heinrich von Baumhauer realizzò un igrometro a pesata con una pietra pomice imbevuta di acido solforico, fortemente igroscopico. Nel 1884 l'azienda di strumenti scientifici Richard Frères costruì un igrometro che usava come sostanza igroscopica una sottile membrana ricavata dall'intestino tenue disseccato di bue e di montone; successivamente usò come parte igroscopica filamenti di corno di mucca e infine utilizzò un fascio di capelli. La stessa azienda nel 1885 produsse, con scarso successo per la sua non elevata precisione, uno psicrometro registratore che utilizzava due tubi Bourdon uno dei quali era avvolto da un tessuto bagnato (Knowles Middleton, 1969).

Alla fine dell'Ottocento gli igrometri, come altri strumenti e sistemi di misura meteorologici, iniziarono a essere realizzati secondo standard fissati internazionalmente dall'Organizzazione Meteorologica Internazionale, nel 1879.

L'evoluzione nel XX secolo

Nel Novecento, pur rimanendo molto diffusi sia gli igrometri, in Figura 5, sia gli igrografi a capelli, nelle capannine meteorologiche spesso abbinati con un termometro a lamina bimetallica, il termoigrografo[4], si ebbe un ulteriore sviluppo delle tecniche costruttive mediante l'impiego di sensori di nuova concezione, basati su nuovi principi di funzionamento.

Gli strumenti moderni rilevano l'umidità nelle sue varie forme tramite sensori che sfruttano le capacità di alcuni materiali di variare le loro caratteristiche elettriche:

- i sensori igrometrici dielettrici, basati sulla caratteristica di alcuni polimeri di cambiare la loro permettività dielettrica al cambiare della pressione parziale del vapore d'acqua contenuto nel gas in cui sono immersi. È stato possibile, pertanto, realizzare condensatori di area di superficie inferiore a un centimetro quadrato aventi fra le armature questo dielettrico, ottenendo così sensori di umidità di tipo capacitivo (Fasano *et al*., 1999; WMO, 2018);
- gli igrometri con trasduttore dielettrico-resistivo, costituiti da due elettrodi separati da uno strato conduttivo in ossido di alluminio, o di tantalio. In questo caso si possono misurare le variazioni della sua resistenza elettrica e della sua permettività dielettrica, prodotte dal variare della pressione parziale del vapore d'acqua;
- i trasduttori a ossido di alluminio: pur offrendo migliori caratteristiche di quelli dielettrici in termini, ad esempio, di resistenza agli agenti atmosferici, maggiore stabilità, quasi assenza di isteresi e risposta rapida alle variazioni di umidità ambientale, richiedono circuiti più complessi relativamente all'alimentazione in corrente alternata e alle reti di linearizzazione e inoltre hanno un campo di impiego più limitato (Fasano *et al*., 1999; WMO, 2018).

Nell'ultimo decennio del XX secolo, utilizzando sensori miniaturizzati e nuove tecniche costruttive, sono stati realizzati psicrometri più efficienti, affidabili e di maggior precisione, sia pur come evoluzione di quello di Assmann, in cui i termometri a mercurio sono sostituiti da termoresistenze al platino o da termistori linearizzati e l'aspiratore è costituito da un motorino elettrico, consentendo così una registrazione in continuo della misura di umidità.

Fig. 5 - Igrometro a capelli della seconda metà del Novecento. In questo strumento la sostanza igroscopica è un fascio di fibre sintetiche (foto di G. Fasano)

Nella seconda metà del XX secolo sono stati realizzati sensori a temperatura di rugiada per la misura dell'umidità. Per determinare la temperatura di rugiada in un dato ambiente si misura la temperatura di una superficie fredda esposta a quell'ambiente nel momento in cui su di essa, per effetto dell'abbassamento della temperatura, si forma una goccia d'acqua; l'elemento refrigerante può essere ad esempio una cella Peltier[5]. Mediante un sistema fotoelettrico si rileva il momento in cui sulla superficie speculare fredda si forma la prima goccia; in quell'istante la luce, emessa da un led, viene diffusa e va a colpire una cella fotosensibile che produce il segnale elettrico. Questi sensori per la misura della temperatura di rugiada, t_r, sono privi di isteresi e l'incertezza sulla misura di t_r può essere ridotta a 0,1 °C, che tradotto in termini di umidità relativa, UR, per temperature intorno a 20 °C dà errori compresi fra 0,2%, per UR = 10%, e 1%, per UR = 90% (Fasano *et al*., 1999).

Ultimamente sono stati sviluppati strumenti che possono misurare la concentrazione molecolare di vapore acqueo in atmosfera sfruttando la proprietà di assorbimento delle molecole di vapore della radiazione elettromagnetica in determinate bande di lunghezze d'onda. Le regioni dello spettro elettromagnetico più utili a questo scopo sono nelle bande dell'ultravioletto e dell'infrarosso. Il metodo consiste nel misurare l'attenuazione delle radiazioni emesse da una sorgente, in una specifica banda, lungo il percorso tra la sorgente di radiazione e il dispositivo di ricezione. L'applicazione più diffusa dell'igrometro ad assorbimento elettromagnetico è il monitoraggio di variazioni di umidità ad altissime velocità, poiché il tempo di risposta di un igrometro di questo tipo è solitamente di pochi millisecondi. L'impiego di questo tipo di igrometri rimane però confinato nell'ambito della ricerca di laboratorio (WMO, 2018).

Conclusioni

L'umidità dell'aria è fra i parametri meteorologici quello più difficilmente misurabile, ma è estremamente importante, in particolare modo nel settore agro-forestale e in quello naturalistico, per i sistemi biologici; infatti, questi evitano il "surriscaldamento" facendo evaporare dell'acqua in modo che il calore latente di vaporizzazione[6] da questa sottratto per passare allo stato gassoso, tende ad abbassare la temperatura della superficie da cui sta evaporando. È evidente che la quantità d'acqua che può evaporare è legata all'umidità relativa presente in atmosfera e pertanto è importante conoscere il suo valore (Benincasa *et al*., 1991). Nei decenni sono stati sviluppate molte tipologie di strumenti, dai più semplici ai più sofisticati; di tutti vanno evidenziate le difficoltà che si incontrano nell'effettuare la taratura. Il *World Meteorological Organization*-WMO, suggerisce di utilizzare come riferimenti secondari[7] per strumenti misuratori, che operano in campo, un igrometro a punto di rugiada o uno psicrometro di Assmann precedentemente calibrati in riferimento a strumenti classificati come "standard secondari"; i confronti devono essere eseguiti almeno

una volta ogni dodici mesi in ambiente controllato. Inoltre, possono essere usate determinate soluzioni saline sature di sali contenute in campioni di piccolo volume di aria con percentuali di umidità relativa noti. Questa metodologia però necessita di una stabilità di temperatura difficilmente raggiungibile per eseguire calibrazioni in campo, inoltre la soluzione salina non è certificata come standard primario.

Bibliografia

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

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.

Alberti L.B. 1565. *L'Architettura* (*De re aedificatoria)*, tradotta in lingua fiorentina da C. Bartoli. Venezia: appresso F. Franceschi.

Assmann R. 1892. Aspirationspsychromometer. Zeitschrift fur Instrumentenkunde, 12, 1-12.

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

Benincasa F., De Vincenzi M., Fasano G. 2023. *I paralipomeni della meteorologia ovvero le parole dimenticate della meteorologia*. Roma: CNR-Edizioni.

Benincasa F., Maracchi G., Rossi P. 1991. *Agrometeorologia*. Bologna: Pàtron Editore.

de Saussure H. B. 1783. *Essais sur l'hygrométrie*, Neuchâtel: S. Fauche père et fils, imprimeur, Libraires du Roi.

Fasano G., Materassi A., Zara P. 1999. *Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia*. Quaderno n. 8 Collana tecnico-scientifica. Firenze: CNR-INAPA.

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

Mantovani R. 2010. L'Osservatorio meteorologico di Urbino: origini e antica strumentazione scientifica. In: *Università degli Studi di Urbino. L'Osservatorio "Alessandro Serpieri" 160 anni al servizio della meteorologia*, 12-37. Sant'Angelo in Vado: Grafica Vadese.

Mayer G.F. 1817. Igrometro a membrana d'uovo. Biblioteca italiana ossia Giornale di Letteratura, Scienze ed Arti, VIII, 510.

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

Pistolesi I. 1845. *Indice Metodico della monografia degli strumenti meteorologici.* Pisa: R. Vannucchi.

Redi F. 1668. *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti*. Firenze: All'Insegna della Stella.

Rivosecchi I. 1975. *Osservazioni e strumenti di meteorologia*. I, IFA DP n.5. Roma: CNR-IFA.

Santorio S. 1625. *Commentaria in primam Fen primi libri Canonis Avicennae*. Venetiis: apud Iacobum Sarcinam.

Schweigger J. 1817. Description du nouvel Hygromètre de Wilson, tirée d'une lettre du Prof. Schweigger. Geneve: Bibliothèque Universelle des Sciences, Belles-Lettres et Arts, 4, 262-263

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

Vassalli Eandi A.M. 1816. Saggio di un trattato di meteorologia**.** Biblioteca italiana ossia giornale di letteratura scienze ed arti compilato da una società di letterati, III, 230-255. Milano: presso A. F. Stella.

WMO. 2018. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO, 8. Geneva: WMO.

Note

[1] Il nome deriva da *psictere*, una particolare brocca per raffreddare l'acqua o il vino.

[2] Temperatura cui deve essere portata, a pressione costante, una massa d'aria umida perché avvenga la condensazione del vapore d'acqua in essa contenuta.

[3] Un elenco poderoso degli igrometri realizzati fino a circa la metà dell'Ottocento è raccolto in (Pistolesi, 1845), in cui, accanto a strumenti realizzati in modo scientificamente e tecnologicamente valido, si trovano apparati stravaganti, talvolta neanche realizzati, dal nome altisonante quale l'igrometro a budelli di bachi da seta.

[4] I termoigrografi sono tutt'ora usati nell'ambito del monitoraggio del microclima degli ambienti destinati alla conservazione museale.

[5] Effetto Peltier: se in una termocoppia viene fatta circolare una corrente continua, una saldatura si scalda mentre l'altra si raffredda; invertendo il verso della corrente si inverte il riscaldamento-raffreddamento delle saldature.

[6] Per l'acqua alla temperatura di 100 °C il calore latente vale 2.257 kJ/kg

[7] Sono assoluti, o primari, gli strumenti in cui la costante, o coefficiente, strumentale è determinata in base a considerazioni fisiche intrinseche ovvero che legano il misurando, tramite relazioni analitiche note, ad altre grandezze fisiche misurabili. Sono relativi, o secondari, gli strumenti per i quali la costante strumentale non è determinabile per mezzo di considerazioni intrinseche ma va determinata tramite taratura, ad esempio per confronto con uno strumento primario.

Maria Teresa Iannelli, Lucia Lepore

Continuità e innovazione tecnologica nelle strutture e infrastrutture di Caulonia tra la fine dell' VIII e il II sec. a.C.: alcune evidenze

Continuity and technological innovation in the structures and infrastructures of Caulonia between the end of the 8th and the 2nd century BC: some evidence

Sommario
L'obbiettivo principale della nostra comunicazione è quello di discutere i modi, i tempi e le tecniche assunte da Caulonia, colonia achea fondata nei pressi del promontorio di Punta Stilo in Calabria, in merito ad alcune strutture e infrastrutture vitali per la città, la cui storia si svolge, con alterne vicende, dalla fine dell'VIII al II sec. a.C. Laddove possibile cercheremo di definire anche le motivazioni dell'assunzione delle nuove tecnologie costruttive da parte di questa *polis* che si manifesta particolarmente attenta alle innovazioni, come ha dimostrato soprattutto lo scavo delle terme ellenistiche di Casamatta.

Abstract
The main objective of our paper is to discuss the ways, times and techniques adopted by Caulonia an Achaean colony founded near the promontory of Punta Stilo in Calabria, regarding some structures and infrastructures vital to the life of the city, which lasts, with various events, from the end of the 8th to the 2nd century B.C. When possible, we will also try to define the reasons for the adoption of new construction technologies by this polis which appears to be particularly attentive to innovations, as demonstrated in particular by the excavation of the Hellenistic baths of Casamatta.

Premessa
Alle indagini pioneristiche di Paolo Orsi, condotte agli inizi del Novecento nel sito della colonia achea fondata da Tifone di Egio nei pressi dell'odierna Monasterace Marina in provincia di Reggio Calabria, molte altre ne sono seguite, soprattutto a partire dagli anni Ottanta del secolo scorso fino ai giorni nostri, confermando, ampliando o capovolgendo le ipotesi iniziali relative alla ricostruzione storica e socio-economica della città e del suo territorio (Iannelli, 2017). Tali ricerche sono state ben presto affiancate da indagini geoarcheologiche, profili geoelettrici, profili georadar, carotaggi profili sismici, dapprima finalizzati a verificare preventivamente la pre-

senza di resti archeologici, indi a comprendere le dinamiche ambientali del sito, in particolare di quel settore costiero compreso tra la fiumara Assi a nord e l'odierno abitato di Monasterace Marina a sud (Bernasconi *et al.*, 2021; Pilz, 2021).

L'organizzazione degli spazi e la sistemazione urbanistica

Sebbene la sistemazione strutturale del circuito murario risalga alla prima metà del VI sec. a.C. (Lepore, 2021, p. 572 e nota 45), la presenza di consistenti rinvenimenti mobili, di altari, di pozzi e di strutture murarie induce a ritenere che le aree destinate alla futura città e alla *chora* siano state individuate e circoscritte fin dal momento della fondazione, riconducibile alla fine dell'VIII sec. a.C. (De Sensi Sestito, 2021, pp. 152-157; Lepore 2021, pp. 560-565). Anche la definizione dei settori funzionali sembra risalire molto indietro nel tempo: limitatamente all'area pianeggiante costiera, la più indagata, già nel periodo tra il VII e gli inizi del VI sec. a.C. un vasto e ben organizzato quartiere residenziale si estendeva a nord nei pressi del porto canale identificato presso l'antica foce della fiumara Assi, dominato dal tempietto eretto sulla collina del Faro, che fungeva da segnacolo per i naviganti; le unità abitative si dispongono a est e a ovest di un importante asse stradale, la *plateia alpha*, inquadrabile con sicurezza nella seconda metà del VI sec. a.C. ma quasi certamente in uso fin dal secolo precedente. Parallela alla linea di costa, la *plateia alpha*, in Figura 1, doveva collegare il porto canale al santuario di Punta Stilo, sito a sud della città. Messa in luce per circa 12 m di lunghezza, ha orientamento nord-nord-est/sud-sud-ovest, 21° a est, ed è costituita da una serie di battuti in terra sabbiosa mista a radi frantumi di terracotta e ghiaia più o meno grossolana. Conformata a schiena d'asino, ha una larghezza massima di 6,80 m comprese le ampie cunette laterali che ben si inquadrano nel sistema di smaltimento idrico pubblico, programmato in contemporanea con l'impianto urbano. Un altro asse stradale orientato in senso est-ovest, probabilmente uno *stenopos*, incrocia a settentrione la *plateia alpha*, formando uno snodo fondamentale per la viabilità del quartiere residenziale (Lepore, 2021, pp. 560-572; p. 578, nota 70; pp. 597-598).

Tra il quartiere residenziale e il santuario è più che probabile si trovasse l'area destinata alle funzioni pubbliche e alle attività commerciali, ovvero quell'*agorà* nella quale più tardi il nobile Pitocrito dedicherà a Zeus una statua (Ampolo e Rosamilia, 2021).

Separata dal santuario da una rampa lastricata, larga 2,60 m, individuata da Paolo Orsi nei pressi della cosiddetta Porta Marina (Lepore, 2021, pp. 593-594), l'*agorà* di periodo arcaico e classico doveva presentarsi molto più ampia rispetto all'*agor*à ellenistica (Lepore, 2018, pp. 218-219, nota 20; Parra, 2021, p. 501, fig. 19; Iannelli e Sabbione, 2021, p. 620, fig. 9) e occupare probabilmente le terrazze dove più tardi saranno costruite le terme di Casamatta e la "casa del Drago".

Negli anni 1997-1998 viene parzialmente portato alla luce il complesso artigianale più rilevante della colonia, il *kerameikos* di contrada Lupa, attivo dalla fine del

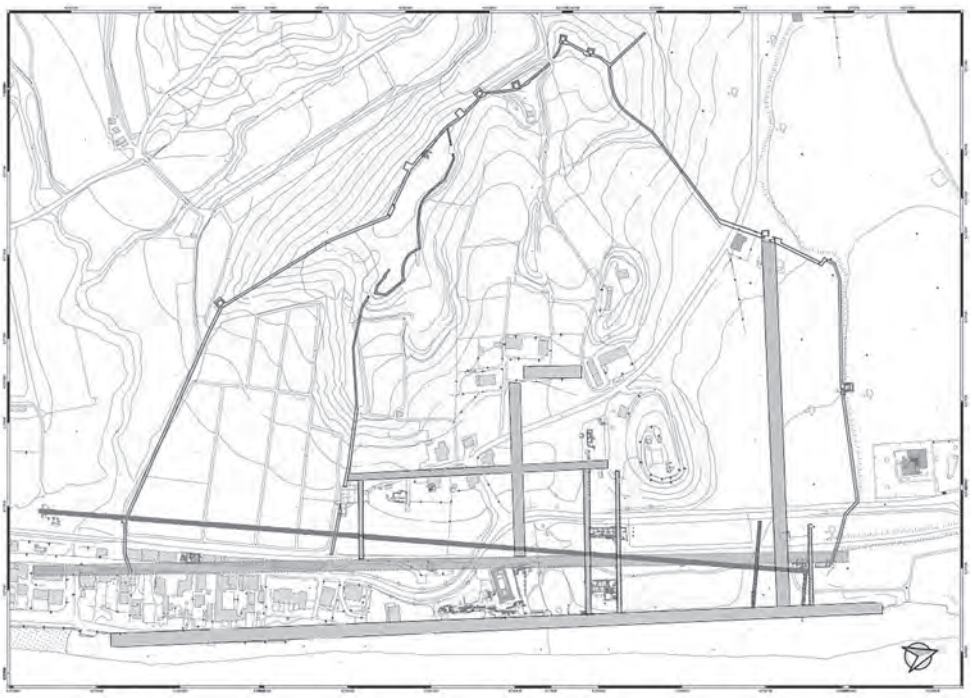


Fig. 1 - Planimetria di Kaulonía *con le strade arcaiche e classiche in grigio scuro e l'impianto urbano ellenistico in grigio chiaro* (elaborazione di A. Gambino e B. Minniti).

VI sec. a. C., ma probabilmente in funzione già dal VII, situato a sud del torrente Bernardo, fuori dalla cerchia muraria (Iannelli *et al.*, s.d.). A completamento dei dati fin qui esposti va ricordato un altro asse stradale, probabilmente uno *stenopos*, orientato in senso est-ovest, formato da uno spesso strato di ghiaia pressata, individuato da H. Tréziny in uno scavo, inedito, del 1988 (Lepore, 2021, p. 591), nonché un tratto di strada costituito da un acciottolato ghiaioso, messo in luce tra il 2015 e il 2017 dall'Università di Mainz (Pilz, 2021, pp. 659-661, fig. 7) e interpretato come continuazione della *plateia alpha*. Pur disponendo di elementi molto frammentari, sembra certo che la più antica sistemazione urbanistica di Caulonia contemplasse ampie zone funzionali collegate e attraversate da un numero per ora non precisabile di arterie stradali ortogonali fra loro, orientate da 16° a 22° a est e costituite da battuti di terra sabbiosa mista a ghiaia più o meno grossolana, materiale facilmente reperibile localmente, grazie alle periodiche deposizioni alluvionali della fiumara Assi (Stanley *et al.* 2004, pp. 610-611; 618). Tra il periodo arcaico e quello classico non si registrano variazioni degne di nota a eccezione dell'organizzazione di due nuovi

quartieri, la *Neapolis* meridionale e la *Neapolis* occidentale, che portano la superficie generale dell'area urbana a 46,75 ha (Orsi, 1916, col. 773; Iannelli e Sabbione, 2021, pp. 631-641; Lepore 2021, pp. 595-596).

A seguito di uno o più eventi naturali, quali il lento spostamento verso terra della linea di costa cominciato verso la fine del V sec. a.C., il ripetersi di fenomeni alluvionali seguiti da periodi di stabilità geomorfologica, alcuni eventi sismici associati al crollo del tempio (Bernasconi *et al*., 2021, pp. 894-897) si rese necessario mettere mano verso la fine del IV sec. a.C. a una nuova sistemazione urbana, seguendo questa volta i dettami dell'architetto Ippodamo di Mileto, già da tempo diffusi in tutta l'Italia Meridionale. Il nuovo progetto urbanistico, in grigio chiaro nella Figura 1, pur risultando ruotato di 6° a est rispetto a quello delle fasi precedenti, sembra ripeterne l'organizzazione generale almeno per quanto riguarda la viabilità interna. Anche le modalità costruttive degli assi stradali sembrano rimanere invariate, considerato che tutte le *plateiai* e gli *stenopoi* di questa fase, finora rinvenuti, sono pavimentati con più strati di ghiaia costipata. Le indagini sul campo e la lettura delle foto aeree documentano sia il reticolo viario, costituito da quattro *plateiai* nord-sud larghe da 8,10 a 13,50 m , che incontrano ad angolo retto altrettanti *stenopoi* con andamento est-ovest di larghezza compresa tra i 4 e i 5 m, sia il modulo degli isolati abitativi - 105 m · 35 m - allungati in senso est-ovest, con il lato corto prospiciente le *plateiai*; fa eccezione la fascia pianeggiante dove gli isolati sono più stretti misurando 52,50 m in senso est-ovest, restando invariata la misura del lato corto. Gli isolati di maggiori dimensioni comprendono lotti di sei case affiancate a due a due in senso nord-sud, che si riducono a lotti di tre abitazioni nella fascia costiera. All'interno dei vari lotti abitativi, stretti spazi risparmiati in modo costante e regolare, con orientamento prevalentemente nord-sud e di misura variabile tra 0,60 m e 0,80 m, gli *ambitus,* assicurano lo smaltimento delle acque meteoriche e reflue che vengono riversate ai margini degli assi viari. Soltanto tre degli *ambitus* individuati hanno andamento ovest-est, cioè verso il mare (Iannelli e Sabbione, 2021, pp. 609-614). È stato definito anche il modulo delle abitazioni a pianta quadrata di 17,50 m di lato da *ambitus* ad *ambitus*, progettata per regolare la luce intensa e le temperature elevate tipiche di questa area mediterranea (Orsi, 1916, col. 823). Anche da questo punto di vista Caulonia si adegua agli s*tandard* delle altre colonie magnogreche in generale e calabresi in particolare, con edifici alti al massimo due piani, caratterizzati da un cortile interno, spesso pavimentato e provvisto di pozzo per l'approvvigionamento idrico; intorno al cortile, nella maggior parte dei casi decentrato, si sviluppano i vari ambienti che da esso prendono la luce e l'aria. In alcune di queste case è presente un corridoio stretto e allungato, la *pastas,* che collega il cortile agli ambienti residenziali e spesso diventa l'ingresso principale all'edificio, in genere ubicato a nord o a sud. Documenta la vivacità economica di questo periodo, oltre che la comprovata attività del *kerameikos* di contrada Lupa, a sud della città e fuori dalle mura di cinta, che rimane attivo fino alla metà del III sec.

a.C. (Iannelli *et al*., s.d.), anche la presenza diffusa di una serie di "case-botteghe" e "case-officina" (Iannelli e Sabbione, 2021, p. 614; Cuteri, 2021, pp. 835-851). La *polis* sembra ormai matura per accogliere e sperimentare nuove tecnologie costruttive ben evidenziate dalla ricerca archeologica sia nel rifacimento delle mura di cinta, sia nella realizzazione delle terme di Casamatta.

Le terme pubbliche di Casamatta: il sistema di riscaldamento e la copertura a volta del vano con piscina

Nel corso del III sec. a.C. la città si dota di un complesso termale pubblico, in Figura 2, ristrutturando un edificio precedente, non meglio precisabile (Iannelli *et al*., 2021). La sua presenza a Caulonia, in un periodo in cui in Sicilia e in Magna Grecia si diffonde una nuova concezione del bagno trasformando «una banale abitudine individuale in un'esperienza sociale collettiva, elevando la cultura balneare greca a un nuovo livello di raffinatezza e svago» (Lucore, 2021, p. 746), si presta a parecchi spunti di riflessione riguardanti sia l'adozione di tecniche innovative nel campo dell'architettura, del sistema di riscaldamento e della raccolta e distribuzione dell'acqua, sia lo sviluppo socio-economico raggiunto dalla *polis* nel periodo ellenistico.

L'edificio, ubicato in posizione centrale, immediatamente a nord dell'*agorà* ellenistica, nei pressi di una Casamatta moderna da cui prende il nome, copre una superficie pari a 950 m^2, di cui 670 m^2 scavati. Gli ambienti destinati al bagno sono dislocati nella zona nord-est, cui si accede tramite due ingressi, e comprendono un ambiente circolare, la *tholos*, con vasche in terracotta per abluzioni singole, e relativo spogliatoio o *apodyterion*, un vano con piscina rettangolare, comprendente anche un'anticamera con sedile in muratura e pavimento a mosaico policromo figurato, l'impianto di riscaldamento o *hypocauston* e diversi altri vani di servizio attrezzati con panche in muratura e grandi contenitori fittili per l'acqua.

Elemento essenziale del sistema di riscaldamento è la fornace, ubicata, come in tutti gli altri edifici termali siciliani e magnogreci noti di questo periodo, tra la *tholos* e l'ambiente con piscina per bagni collettivi, in modo da evitare dispersioni di energia termica lungo i percorsi delle condutture fino agli ambienti da riscaldare, riducendo così i consumi di combustibile. Anche la struttura architettonica è simile a quella di altri complessi coevi; le dimensioni in particolare si avvicinano a quelle dell'ipocausto delle terme nord di Morgantina. Si ha quindi un canale centrale, che corre sotto il pavimento, nel quale viene immessa l'aria calda proveniente dal forno che poi fuoriesce dal tetto tramite una canna fumaria, di cui è rimasto il foro d'innesto nel muro est; tre coppie di pilastri, realizzati con laterizi spezzati e distanziati tra loro per agevolare la circolazione dell'aria calda, dovevano sostenere, per ciascuna coppia, i contenitori per l'acqua, probabilmente costituiti da bacili in bronzo non rinvenuti. Parte integrante dell'ipocausto è il *praefurnium* cioè la zona immediatamente esterna e comune sia alla fornace che all'ambiente con piscina, dove veniva acceso

il fuoco funzionale al riscaldamento di entrambe le strutture. La fornace è fornita, infatti, nel senso della lunghezza, di due passaggi laterali, uno a sud verso l'ambiente con piscina, l'altro a nord verso la *tholos,* non comunicanti tra loro e pavimentati con spessa malta idraulica. Anche i pavimenti della *tholos* e dell'*apodyterion* sono realizzati in spessa malta idraulica, resistente all'acqua.

Non si sa con precisione come si articolassero l'approvvigionamento e la distribuzione idrica: non sono state trovate, infatti, le tubature in piombo che in genere portavano l'acqua dalla fonte, spesso un pozzo sito all'interno del complesso termale, ai vari ambienti come è testimoniato a Morgantina (Lucore, 2021, pp. 754-760). Sembra comunque accertato che l'approvvigionamento idrico delle terme fosse garantito dalla presenza nelle immediate vicinanze del complesso, precisamente nella fascia demaniale costiera, di almeno tre pozzi (Iannelli e Sabbione, 2021, pp. 629-631) che risultano attivi nel corso del III sec. a.C.; da qui l'acqua doveva essere portata fino all'impianto termale e distribuita sia nell'ambiente con piscina che nella *tholos,* dove è stata rinvenuta una vasca in terracotta con due fori, uno sul lato lungo e uno su quello corto, che può avere avuto la funzione di distribuire l'acqua alle vasche o ai bacini della *tholos* o anche ad altrettanti contenitori mobili utilizzati per riempire questi ultimi (Iannelli *et al.*, 2021, p. 682, fig. 4; Lucore, 2021, pp. 759-760, fig. 15). Una tubazione fittile rinvenuta nella *tholos* assicura il deflusso dell'acqua all'esterno dell'ambiente, funzione demandata anche ai fori presenti a livello della pavimentazione della piscina e di due ambienti di servizio.

Rivoluzionario e innovativo si presenta il sistema di copertura, in Figura 2, progettato e realizzato per l'ambiente con piscina che, pur riprendendo i dettami vitruviani, dal punto di vista strutturale si distingue nettamente dalla tipologia adottata nei coevi esempi siciliani, con cui finora sono state rilevate evidenti analogie (Iannelli e Cuteri, 2014, p. 168-169; Iannelli *et al*., 2021, pp. 679-680, fig. 10; Lucore, 2021, pp. 760-761).

Se i complessi termali siciliani, infatti, secondo una recente ipotesi (Lucore, 2021), hanno in Archimede siracusano l'ispiratore e il progettista su incarico di Ierone II, rimane tuttora sconosciuto il modello cui si richiama il progettista delle terme di Caulonia, il non meglio identificato Nannon il cui nome compare inciso a crudo sul bordo di un bacile di terracotta rinvenuto nel complesso in esame. Va aggiunto, comunque, che il modello di volta a botte cauloniate viene più tardi replicato con qualche variante nella copertura delle terme di Fregellae, in Figura 2, datate al II secolo a.C. (Tsiolis, 2001, pp. 85-104, fig. 50). Il puntuale rilievo degli elementi del crollo della copertura ha permesso all'architetto Antonio Gambino di elaborare una proposta, di seguito esposta per la prima volta, che supera le ipotesi precedenti (Iannelli e Cuteri, 2014, p. 169). Dei 200 elementi costruttivi riconosciuti e disegnati, 59 sono blocchi di calcareniti di varie dimensioni e caratterizzati da grana e porosità variabili; i restanti sono laterizi, spesso rivestiti di intonaco rosso. Una prima valutazione dell'entità del crollo lapideo è stata fatta accostando tutti i pezzi lungo l'asse

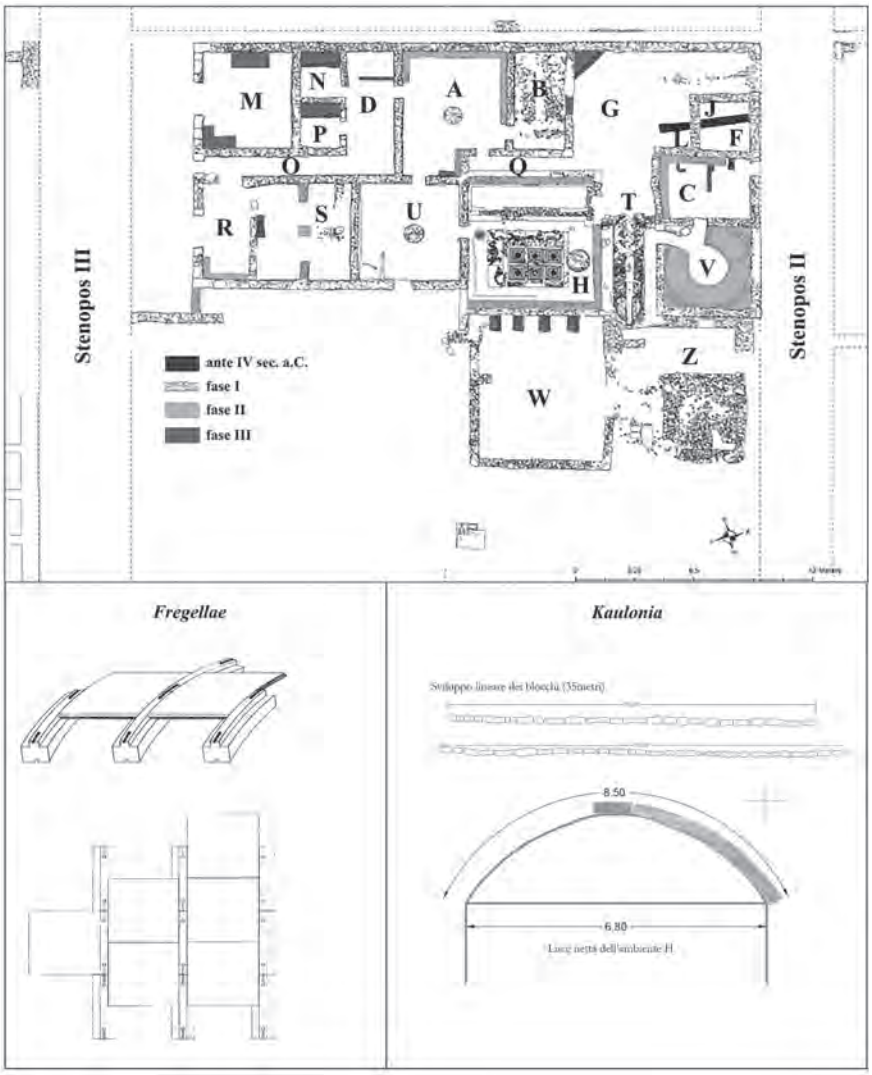


Fig. 2 - Terme pubbliche di Casamatta: pianta e proposta ricostruttiva della copertura dell'ambiente con piscina (elaborazione A. Gambino, B. Minniti).

principale, al fine di determinare lo sviluppo dimensionale dell'intera serie che si attesta intorno a 34 m; considerato che l'ambiente ha una luce interna di circa 6,80 m e ipotizzando la costruzione di una volta a botte, si avrà uno sviluppo della volta di 8,50 m; pertanto ciascun costolone dovrebbe essere lungo circa 8,50 m. Quindi, dividendo l'estensione massima per lo sviluppo della volta si ottiene che i costoloni

della volta erano quattro. Questa ricostruzione, in Figura 2, trova supporto anche nella presenza di quattro contrafforti costruiti all'esterno dell'ambiente per potenziare ulteriormente la struttura. Verosimilmente a queste costolature principali in pietra, con interasse di circa 1 m, si alternavano costolature secondarie in laterizio, sulle quali si incastravano i pannelli di chiusura, anch'essi in laterizio.

È evidente (Iannelli *et al*., 2021, p. 679) il carattere sperimentale di questa copertura che per la pesantezza dei materiali utilizzati era a rischio di crollo: sono, infatti, evidenti i maldestri tentativi di puntellarla mediante l'utilizzo di pali che hanno fortemente danneggiato il pavimento musivo; sempre allo stesso rischio si deve attribuire la chiusura della porta d'ingresso all'ambiente con piscina per impedirne l'accesso (Iannelli *et al*., 2021, p. 679). Coperture di questo tipo sono ipotizzabili sia per la *tholos* che per la fornace, anche se nello scavo delle terme sono stati rinvenuti resti di copertura con tegole e coppi, in corso di studio, che presuppongono tetti a una o più falde.

Strutture e infrastrutture per l'approvvigionamento idrico

Le violente mareggiate abbattutesi con inusitata violenza tra l'autunno del 2013 e l'inverno del 2014 portavano allo scoperto sulla spiaggia di Monasterace Marina, in un tratto nodale dell'impianto urbano compreso tra la cosiddetta Porta Marina e lo scavo effettuato da Tréziny nel 1988, quattordici pozzi, dei quali solo nove hanno restituito elementi diagnostici utili per l'inquadramento cronologico, compreso tra la fine dell'VIII e la fine del III sec. a.C. (Iannelli *et al*., 2016). Situati a 20 m circa dall'attuale linea di riva, essi sono del tipo circolare con rivestimento interno costituito solo in qualche caso da lastre e bozze litiche, più spesso da anelli fittili provvisti di "pedarole", ovvero di piccole aperture semilunate o rettangolari funzionali alla manutenzione; si attestano in sabbie medio-fini; hanno un diametro compreso tra 0,60 m e 1 m circa e un'altezza stimata da 4,2 m a 4,8 m. Le dimensioni sono tali da poter garantire in tempi brevi il prelievo di circa 0,8÷1,1 m³ di acqua per ciascuno di essi, per un totale complessivo di 10÷15 m³ (Iannelli *et al*., 2016, pp. 396-401, fig. 13). Questi pozzi, che sfruttavano la disponibilità, con il tempo ridottasi, di significativi volumi d'acqua presente nella falda litoranea, rientrano nel sistema di approvvigionamento idrico gestito direttamente dalla *polis* fin dalla sua fondazione: non è un caso che tre dei quattordici pozzi sono i più antichi finora attestati in Magna Grecia. (Lepore, 2021, p. 563). A questo sistema se ne affiancavano altri gestiti sia dalla comunità cittadina che da singoli privati. Un pozzo circolare, oltre a qualche altro probabile apprestamento di adduzione idrica collegato al vicino torrente Bernardo, rivestito da cinque anelli fittili e sicuramente in uso dalla fine del VI al III sec. a.C., assolve alle necessità dell'impianto artigianale di contrada Lupa (Iannelli *et al*., s.d.); un altro pozzo circolare con incamiciatura lapidea è stato messo in luce nella "casa del Drago" e attribuito per la sua posizione a una fase precedente alla costruzione della stessa (Iannelli *et al.*, 2016, pp. 378-379).

Tre cisterne pubbliche a pianta rettangolare, in solida muratura lapidea, vengono costruite nel secondo quarto del V sec. a.C. a nord del tempio dorico, in contemporanea con quest'ultimo e con una grande vasca cultuale, per servire alle necessità specifiche del santuario (Orsi, 1916, coll. 879-882; Gargini, 2004, pp. 102-103). Tali cisterne erano alimentate dalle acque di una piccola valle, situata a monte, mediante una canaletta di drenaggio in pietrame, che si interrompe proprio all'altezza delle cisterne (Iannelli *et al*., 2016, p. 397).

A seguito delle grandi trasformazioni attuate dalla *polis* nella seconda metà del IV sec. a.C., ogni casa di livello medio-alto viene dotata del suo sistema di approvvigionamento idrico: un pozzo circolare foderato da anelli fittili semicircolari si apre nel cortile *alpha* di "casa Guarnaccia", nel settore meridionale della città (Iannelli *et al*., 2016, p. 382); un altro pozzo circolare con coronamento in pietra, profondo circa 7 m si apre nel battuto pavimentale dell'ambiente *gamma* di una casa di S. Marco, nella quale alcune anfore e grandi contenitori di terracotta, infissi nei pavimenti degli ambienti *alpha* e *gamma*, assolvevano alla funzione di raccolta e riserva d'acqua (Orsi, 1916, col. 880, n. 1; Lepore e Iannelli, s.d.).

Strutture e infrastrutture per lo smaltimento delle acque reflue e meteoriche

Il canale che alimenta le cisterne, a nord del tempio dorico, riprendeva il suo corso a 20 m circa a sud dell'attuale canale di scolo, seguendo la direttrice di un importante asse stradale ovest-est, in qualche modo in relazione con l'impianto urbano di periodo arcaico e classico. Messo in luce durante lo scavo del sottopasso SS106, esso risulta in uso dalla fine del VII alla fine del IV sec. a.C.; nel V sec. a.C., stando ai materiali diagnostici trovati nelle fosse di fondazione, viene dotato di argini in ciottoli di grandi dimensioni messi in opera a secco, come nel tratto dello stesso canale portato alla luce da P. Orsi a nord del tempio, protetto da argini lapidei spessi 1,25 m e coperto da tre filari di tegoloni (Orsi, 1916, coll. 903-906, fig. 148; Iannelli, 2005, pp. 228-234). Tale apprestamento funge da grande collettore pubblico di raccolta e smaltimento delle acque relative al sistema urbano più interno (Iannelli *et al*., 2016, p. 397), ma quasi sicuramente è collegato anche agli assi stradali della cosiddetta fascia a mare, tra cui la *plateia alpha*, provvista di cunette laterali per il deflusso veloce delle acque piovane e reflue, come a Metaponto e a Crotone (Sconfienza, 1996, p. 10). Larghe da 0,70 m a 1 m, queste cunette risultano pavimentate come la carreggiata, sulla quale si conservano ben visibili le tracce lasciate dal transito dei carri (Lepore, 2010, p. 96). Completa il quadro dei sistemi di drenaggio pubblici di Caulonia il varco di 0,90 m di luce, assegnato al V sec. a.C. e aperto nelle mura di cinta, probabilmente in corrispondenza di un asse viario, per lo scarico dell'acqua all'esterno della città (Tréziny, 1989, pp. 40, 132, 156).

Non è sicuro se si debba considerare relativo alle mura di cinta di periodo classico oppure a una abitazione privata dello stesso periodo, il condotto fognario largo 0,35

m, con sponde in muratura e piano rivestito di tegoloni, rinvenuto sotto i resti di una casa ellenistica, sul prolungamento di quel muro che spiccandosi dal colle Piazzetta, l'acropoli, scendeva a valle cingendo a nord la *Neapolis* meridionale (Orsi, 1916, coll. 814-815, fig. 76; Lepore, 2021, p. 595).

Decisamente di carattere privato sono le due canalette con tegole fornite di *alae* a formare i piani di scorrimento dell'acqua, che caratterizzano il cortile della "casa del Personaggio grottesco", una dimora di indubbio prestigio costruita sullo scorcio del primo quarto del V e restaurata nel corso del IV sec. a.C. (Lepore, 2023, pp. 189-192).

Nell'abitazione ellenistica messa in luce in proprietà Guarnaccia sono testimoniati tre tipi di canalette: il primo ha spallette in mattoni quadrati di terracotta infissi di taglio; il secondo ha il piano di scorrimento e le spallette in tegole piane; il terzo è costituito da tubi fittili (Lepore e Iannelli, s.d.).

A un più articolato sistema di smaltimento idrico appartiene quello della "casa del Drago" in quanto «ogni ambiente ha un proprio condotto di scolo convergente in grossi tubuli di terracotta che passano sotto il piano di calpestio della *pastas*, coperti da tegole e che si convogliano in punti diversi» (Pisapia, 1994, p. 6; Sconfienza, 1996, p. 7, n. 37). Canalette in coppi, probabilmente di recupero, sono attestate nei muri di III-II sec a.C. del cosiddetto portico-magazzino di S. Marco nord-est (Lepore, 2023, p. 193; Sconfienza, 1996, pp. 7-8, n. 41).

Il tipo di drenaggio domestico più attestato a Caulonia in periodo ellenistico, programmato unitamente al nuovo impianto urbanistico, è rappresentato senz'altro dall'*ambitus,* ovvero da quello stretto spazio largo da 0,60 m a 0,80 m, che separa le unità abitative.

Il quadro degli scarichi privati non sarebbe completo se non si accennasse al lungo canale scoperto, realizzato con tegole poste di taglio, messo in luce nel settore G del complesso artigianale di contrada Lupa (Iannelli *et al*., s.d.).

Conclusioni

Dalla sintesi fin qui delineata emerge con chiarezza una *polis* coloniale capace di padroneggiare e mettere in pratica, sin dalla fondazione, conoscenze tecnologiche attinenti all'urbanistica, all'architettura, alla termotecnica, all'idraulica, e non solo, che sa adeguare con perizia e un certo realismo ai fattori umani e ambientali del posto dove ha scelto di vivere e progredire. In alcuni casi si mostra particolarmente aperta a novità e sperimentazioni veicolate da correnti culturali che vedono protagonisti Ippodamo di Mileto, Archimede e lo sconosciuto architetto Nannon.

Ringraziamenti

Un grazie di cuore per l'aiuto e il costante supporto agli amici e collaboratori Antonino Facella, Antonio Gambino e Bernarda Minniti.

Bibliografia

Ampolo C., Rosamilia E. 2021. Novità sulla cultura achea e sui culti a Kaulonia: la *Tabula Cauloniensis, editio minor*. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 55-125. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Bernasconi M.P., Di Paola G., Ferraro G. *et al.* 2021. Processi geologici e geomorfologici nel sito di Kaulonia. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 885-899. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Cuteri F.A. 2021. Kaulonia e l'attività mineraria e metallurgica nella Calabria achea. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*. Taranto, 28-30 settembre 2017, 821-859, Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

De Sensi Sestito G. 2021. Caulonia e Terina: problemi storici fra analogie e differenze. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 151-197. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Gargini M. 2004. Kaulonia: la vasca cultuale a nord-ovest del tempio. In: *Kaulonía, Caulonia, Stilida (e oltre)* (a cura di M.C. Parra), II, 93-127. Pisa: Ed. della Normale.

Iannelli M.T. 2005. Caulonia: note di topografia urbana. In: *Kroton e il suo territorio tra VI e V secolo a.C. Atti del Convegno di Studi* (a cura di R. Belli Pasqua e R. Spadea), Crotone, 3-5 marzo 2000, 223-243. Crotone: Comune di Crotone.

Iannelli M.T. 2017. Dall'avvio del progetto di ricerca a Kaulonia al Museo di Monasterace: un percorso complesso. In: *Kaulonía, Caulonia, Stilida (e oltre)* (a cura di M.C. Parra), IV, 321-346. Pisa: Ed. della Normale.

Iannelli M.T., Cuteri F.A. 2014. Kaulonia (Monasterace Marina, Calabria) Il grande mosaico ellenistico rinvenuto nel complesso termale nei pressi della "Casa Matta". In: *Atti del XIX colloquio dell'Associazione italiana per lo studio e la conservazione del mosaico*, Isernia 13-16 marzo 2013, 167-178. Tivoli: Ed. Scripta Manent.

Iannelli M.T., Cuteri F.A., Ferraro G., Grillo E. *et al.* 2016. Monasterace (RC) Antica Caulonia - Note per lo studio preliminare dei sistemi idraulici della *polis* con particolare riferimento all'approvvigionamento idrico mediante i pozzi. In: *Se cerchi la tua strada verso Itaca... Omaggio a Lina Di Stefano* (a cura di E. Lattanzi e R. Spadea), 371-406. Roma: Scienze e Lettere S.r.l.

Iannelli M.T., Cuteri F.A., Minniti B., Sabbione C. *et al.* 2021. Kaulonia: L'edificio termale. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017. 667-741. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Iannelli M.T., Sabbione C. 2021. Kaulonia: l'impianto ellenistico. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 607-646.Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Iannelli M.T., Lepore L., Minniti B. s.d. Ancora qualche nota sul complesso artigianale di contrada Lupa a Caulonia. In: *L'eterna contemporaneità dell'antico: passato e presente, un dialogo inevitabile. Dialoghi sull'Archeologia della Magna Grecia e del Mediterraneo. Atti del VII Convegno Internazionale di Studi*, Paestum 27-29 ottobre 2022. (in corso di stampa).

Lepore L. 2010. Gli scavi in località S. Marco nord-est: dall'*oikos* arcaico alla sistemazione ellenistica. In: *Caulonia tra Crotone e Locri. Atti del Convegno Internazionale Firenze, 30 maggio-1 giugno 2007* (a cura di L. Lepore e P. Turi), 81-113. Firenze: University Press.

Lepore L. 2018. Qualche spunto di riflessione sulle trasformazioni che coinvolgono *Kaulonía* dal periodo ellenistico in poi. In: *La romanizzazione dell'Italía ionica. Aspetti e problemi*. *Atti del Meeting, Università degli Studi di Firenze, 16-17 ottobre 2014* (a cura di L. Lepore e C. Giatti), 211-222. *Thiasos*, Monografie 13. Roma: Ed. Quasar.

Lepore L. 2021. *Kaulonía*: note di topografia e urbanistica. Periodo arcaico-classico. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 559-604. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Lepore L. 2023. *Kaulonía*: i complessi edilizi di S. Marco nord-est. *Thiasos*, 12, 181-196. Roma: Ed. Quasar.

Lepore L., Iannelli M.T. s.d. Il ruolo della ceramica nell'edilizia residenziale di periodo ellenistico a Caulonia. In: *Proceedings of 6th Conference New theories and methods for old pottery: innovating perspectives on Hellenistic ceramics*, Catania-Roma 9-12 ottobre 2023. (in corso di stampa).

Lucore S.K. 2021. Complessi termali greci ellenistici: le terme di Morgantina. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*. Taranto, 28-30 settembre 2017, 745-768, Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Orsi P. 1916. Caulonia. Campagne archeologiche del 1912, 1913 e 1915. In: *MonAnt* XXIII. coll. 699-944. Roma: R. Accademia dei Lincei.

Parra M.C. 2021. Kaulonia. Il santuario urbano. Introduzione: dal tempio dorico di Paolo Orsi al santuario di Punta Stilo. In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 483-509. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Pilz O. 2021. Ricerche nell'abitato dell'antica Kaulonia (2015-2017). In: *Atti del 57° Convegno di Studi sulla Magna Grecia*, Taranto, 28-30 settembre 2017, 649-664. Taranto: Istituto per la Storia e l'Archeologia della Magna Grecia.

Sconfienza R. 1996. Sistemi idraulici in Magna Grecia. Classificazione preliminare e proposte interpretative. Bollettino Storico della Basilicata, XII, 1-44. Venosa: Ed. Osanna.

Stanley J-D., Bernasconi M.P., Toth T., Mariottini S. *et al*. 2004. Kaulonia (Calabria, Italia): sommersione, migrazione laterale e suo sfruttamento come fonte di materiale da costruzione. In *Kaulonía, Caulonia, Stilida (e oltre)* (a cura di M.C. Parra), II, 605-619. Pisa: Ed. della Normale.

Tsiolis V. 2001. Las termas de Fregellae. Arquitectura, tecnologia y cultura balneare en el Lacio durante los siglos III y II a.C. In: *Cuadernos de preistoria y arqueologia*, 27, 85-114. Madrid: Ed. UAM.

Trézyni H. 1989. *Kaulonia I. Sondages sur la fortification nord (1982-1985)*. Naple: Cahiers du Centre Jean Bérard.

Pier Gabriele Molari

Verso la ricostruzione del meccanismo della fontana sonora, che attirò l'attenzione di Leonardo a Rimini nel 1502

Toward the reconstruction of the singing fountain mechanism, which captured the attention of Leonardo visiting Rimini in 1502

Sommario
La fontana principale di Rimini, ora detta "della pigna", è un ingegnoso monumento inserito nella magnifica architettura rinascimentale costruita dalla famiglia Malatesti. Leonardo da Vinci la vide nel 1502 e rimase talmente colpito dal suo canto che ne prese nota per riprodurne la melodia: la fontana, infatti, emetteva musica impiegando una cascata d'acqua. Vari sono stati i tentativi di ricostruirne la funzionalità senza arrivare, a giudizio dello scrivente, a una proposta definitiva. Questo studio, che si è protratto nel tempo con la costruzione di vari modelli, propone una argomentata ricostruzione della fontana del 1400÷1500, considerando la presenza di aria in pressione proveniente dall'acquedotto e da un attuatore ad acqua per produrre il suono collegato a un sistema per la misura del tempo, necessario per ottenere le sequenze sonore a cadenze prestabilite. Il meccanismo proposto è del tutto simile, senza uscire dal mistero dell'arte e del design rinascimentale, a quello utilizzato durante gli spettacoli nei circhi o nelle terme romane, come scritto da Vitruvio.

Abstract
The main fountain of Rimini, now called "della pigna", is an ingenious monument inserted in the magnificent Renaissance architecture built by the Malatesti family. Leonardo da Vinci saw it in 1502 and was so struck by its song that he took note of it to reproduce its melody: in fact, the fountain emitted music using a cascade of water. There have been various attempts to reconstruct its functionality but, in the writer's judgment, none have arrived at a definitive proposal. This study, which has continued over time with the construction of various models, proposes a detailed reconstruction of the fountain active in 1400÷1500, considering the presence of pressurized air coming from the aqueduct and from a water actuator to produce the sound connected to a system for measuring the time, necessary to obtain the sound sequences at pre-established cadences. The proposed mechanism is completely similar, without leaving the mystery of Renaissance art and design, to the one used during shows in circuses or Roman baths, as written by Vitruvius.

Introduzione

La fontana principale di Rimini, in Figura 1, detta "della pigna", per una pigna posta alla sua sommità, fu costruita in corrispondenza di un *castellum* romano, terminale di un acquedotto interrato di acqua risorgiva lungo circa 900 metri. Dotata di 15 cannelle, coronava la magnifica architettura rinascimentale costruita dalla famiglia Malatesti ed è stata di grande utilità per la popolazione, essendo sopravvissuta funzionante fino al 1912 quando fu inaugurato l'acquedotto pubblico. La sua struttura è stata rimaneggiata nel tempo con vari interventi (Avella, 1997; Giuccioli, 2002; Grillini, 2011).

Nel 1475 Gaspare Broglio la descrive nella cronaca delle feste per il matrimonio fra Roberto Malatesti ed Elisabetta di Montefeltro: «la fontana della piazza d'Arimine che sta appresso al palazzo formata in propria forma con 16 puttini intorno di zuccaro fino, la quale gettava acqua rosata» (Broglio, 1982). Leonardo da Vinci, durante un suo viaggio nelle Romagne per conto di Cesare Borgia (Gnola, 2019), annota: «Fassi un'armonia colle diverse cadute d'acqua, come vedesti alla fonte di Rimini, come vedesti addì 8 d'agosto 1502» (cod. L f 78 r). La frase, tanto celebre da essere anche scolpita su marmo, è stata interpretata come se Leonardo alludesse all'azione diretta delle cadute d'acqua per produrre l'armonia e ciò, come si vedrà, condizionò i tentativi di una sua ricostruzione funzionale.

La fontana venne pesantemente danneggiata nel 1540 da una esplosione provocata da fuochi d'artificio in occasione della visita del Cardinal legato Giovanni Maria Ciocchi del Monte, futuro Papa Giulio III, e fu ricostruita, anche con materiale di recupero, nel 1543. Leandro Alberti alla carta 267 v. della sua opera (Alberti, 1553) scrive: «Evvi etiandio quella bella fontana nella piazza da cui escono chiare et dolci acque»: non scrive che emette suoni e forse a quel tempo, dopo il restauro, il suono era già stato soppresso.

Fig. 1 - La fontana della Pigna da entrambi i lati, con le tre vasche sovrapposte e da una cima a forma cilindrica chiusa superiormente da una pigna, da cui il nome.

Fig. 2 - Particolare del bassorilievo detto del Cancro posto nel Tempio Malatestiano di Rimini: la fontana troneggia al centro della piazza. Si vedono le tre vasche, la superiore ha forma di diffusore. Vi è l'immagine della città, del porto e dell'arco romano, con una splendida caracca a vele spiegate.

Successivamente furono asportate parti in bronzo dai soldati francesi di occupazione nel 1799 e si ha notizia di altre ristrutturazioni nel 1807 e nel 2002 (Avella, 1997).

La fontana viene rappresentata all'interno del Tempio Malatestiano nel bassorilievo "Del Cancro", in Figura 2, attribuito ad Agostino di Duccio, attivo a Rimini fino al 1457. È composta da tre vasche sovrapposte, la superiore ha forma di un diffusore che ben si adatta a quanto descritto da Leonardo.

I documenti di riferimento per una ricostruzione

In questo lavoro si vuole argomentare una ricostruzione della fontana nella forma vista da Leonardo attraverso i documenti dell'epoca, partendo dal bassorilievo e dai disegni con gli appunti di Fontana del 1418 (Prager, 1971, ff. 29r, 29v) «*ingenium huius operis est ut veges in tria apatia dividatur et unum extremorum sit aqua plana alterum extremorum sit aere plena*» (29r), «*hoc modo vacere consuevi in meo horologio quia secundum longitudinem tastarum timpanilem fabricavam rotam, quam in tot dividebam portiones, quot tastus*» (29v). Un riferimento d'obbligo è a ciò che scrive Leon Battista Alberti, d'ora in poi citato come Alberti, sempre così presente a Rimini, nel suo *De Re Aedificandi*: «*De Operarum instauratione f. CLXI, Organa motu aquae sonantia- Adiunxere etiam architecti quae ad usus civiles horarum et temporum summa cum rerum illic motarum festivitate facerent: pusilla enim pro fontibus emissarij simulachra ex aere ob ambulantia et ludos triumphique pompam repraesentabant. Audiebantur et musica organa vocumque concinnitates perquam sonorae et suaves movente acqua*» (Alberti, 1485; Alberti, 2010). Nel nostro caso, nasce spontaneo chie-

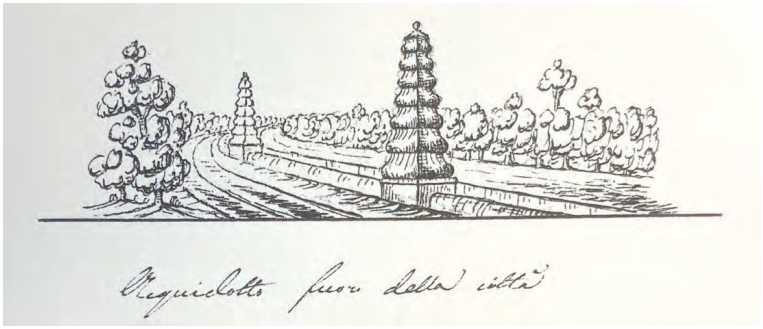


Fig. 3 - I "torrini" o "piramidi" che tagliavano le sovrapressioni e disperdevano l'aria del condotto sotterraneo che alimentava la fontana di Rimini (Bianchi, 1993).

dersi il significato di questo «*ex aere*», dato che non vi sono a Rimini condutture con punti alti nei dintorni della fontana dai quali miscelare aria all'acqua e poi separarla a valle una volta messa in pressione: occorre quindi esaminare i condotti interrati di adduzione delle acque. A questo proposito Vitruvio nella descrizione degli acquedotti sotterranei del *De Architectura* (L 8, VI, 3), che qui non si riporta interamente, scrive «*Puteique ita sint facti uti inter duos sit actus*»; questi *putei*, già esistenti a Rimini, vengono descritti come "torrini" o "piramidi" da Crudomiglia, ingegnere comunale (Crudomiglia, 1832) e disegnati (Bianchi, 1993) come mostrato in Figura 3.

Molto precisa è la descrizione dell'ingegnere fatta nel 1832, alla quale purtroppo oggi mancano le allegate tavole (Crudomiglia, 1832; Lazzarini, 2011). Qui piace riportare la parte che descrive i "torrini" o "piramidi" e la "conserva" terminale: «Nella distanza di metri 177 osservasi uno sfioratojo [....] nel quale a mezzo di un tubo di cotto perpendicolare interno nella piramide (che è in pietra di S. Marino) si rialzano le acque sino al punto del suo equilibrio […]. Anche questa Colonna, o rialzo di Acqua che gonfia sopra la sotteranea corrente metri 2,760 si può sul momento scaricare coll'aprire lo stantuffo X (sezione II-a) e per conseguenza togliere affatto l'Acqua dell'intero condotto. Questo stantuffo chiude il bottino esistente nel basamento di detta piramide in cui vi sono altri due forami dello stesso condotto che servano, uno per estrare, l'altro per sortire detta corrente delle Acque […]: questo recipiente viene cautamente assicurato da un uscio di quercia verniciato con serratura a chiave: verso la cuspide di detta piramide in ij vi sono due buchi, o spiragli di comunicazione col sud/o interno tubo perpendicolare, che non hanno niun riparo, per cui l'acqua viene esposta ad essere imbrattata. Prosseguendo per altri metri 147 trovasi la seconda piramide, o sfioratojo G (sezione III-a) che non diferisce punto dalla prima sud-a B e neppure nel gonfiamento delle acque sopra il corpo di detta Corrente che è similmente di metri 2,760. […]. In seguito di altra distanza di metro 187, incontrasi la terza piramide o sfioratore D costrutto nella stessa guisa per le stesse ragioni (sezione IV-

a) avente pure l'elevazione della colonna d'Acqua di metri 2,760 sopra la corrente in equilibrio coll'antecendente sfioratore come sopra. Dopo queste tre Piramidi co' suoi spiragli si presenta l'ultima conserva in G, detta la Casina matta nell'interno della Città in cui vi è un sebatojo con baccino dè pietra che ha similmente due forami uno dove ascende entrandovi l'Acqua, e l'altro dove discende sortendo: ivi essa è nell'ultima elevazione in seguito dei pendj, e contrapendj che ravvedonsi in detto profilo; la proporzione del suo carico è attualmente di circa solo once 10 compresi tutti i gettidi. Questo serbatojo trovasi sottoterra metri 3 e vi si discende per una scala di cotto; ha il murato sopra terra coperto di pietra d'Istria in qualche parte rotto con uscio, e serratura a chiave. Anche questo serbatojo manca di riparo conveniente per riserbare la pulitezza delle Acque: dal sinistro lato vi è pure un foro con suo turacciolo di legno in h che serve per iscaricare il condotto, e per ripulire il serbatojo stesso in ogni occorrenza». Vi era quindi molta aria miscelata nell'acqua risorgiva e i torrini avevano la funzione di tagliare la sovrapressione al carico piezometrico e di disperdere l'aria presente nel condotto. Si comprende così, sia la necessità di posizionare una conserva vicino al punto di distribuzione, sia le tante sostituzioni della tubatura per rotture dovute all'aria presente nel condotto e alle vibrazioni provocate, soprattutto nella parte del sifone terminale: «i tubi sono di vario diametro, di figure diverse, e di diversi materiali per essere essi parte di cotto, di pietra, di piombo, ed in minore parte anche di legno» (Crudomiglia, 1832). Va anche notato che la distanza fra un torrino e il successivo è qui doppia rispetto ai 70 metri consigliati da Vitruvio.

Le interpretazioni dei fogli di Leonardo e alcune considerazioni di Alberti sulla separazione dell'aria dall'acqua

Per quanto riguarda gli appunti di Leonardo, come sempre capita quando ci si imbatte con una frase di un genio, si cerca di studiare o solo di capire il pensiero (Di Battista, 2017; Molari, 2004). Qui, in particolare, per una eventuale ricostruzione della fontana di Rimini è piacevole perdersi nella mente del Vinciano attraverso i frammenti del suo pensiero, sempre ricordando con Gille «Ci troviamo qui solo allo stadio della derivazione, sia pure mescolata all'immaginazione: un momento fuggitivo, una tappa passeggera del pensiero» e più avanti «Nel momento stesso in cui Leonardo si appropriava di un elemento altrui, lo arricchiva di uno spirito nuovo, di speranze inedite» (Gille, 1964; 1972).

Di macchine che suonano utilizzando l'energia dovuta all'acqua ve ne sono tante, (Latanza, 1995, Barbieri 2004), ma Leonardo si concentra su quella che utilizza diverse cadute d'acqua. È quindi importante analizzare i Codici che trattano il suono (Winternitz, 1982). Nel foglio del Codice Madrid riportato in Figura 4 si può considerare una fase di analisi di ciò che esiste e che attira la curiosità di Leonardo, in alto a sinistra del foglio, che precede la fase di "ipotetica progettazione" di un sistema che emetta suono, non con la caduta dell'acqua ma con un azionamento meccanico,

trasformando, per così dire, la fontana di Rimini in una macchina da usare agendo su una tastiera. Leonardo sembra voler capire il cuore della 'macchina riminese', prima di proporne un progetto alternativo con una macchina più compatta. Con questo approccio, il foglio in Figura 4 (Codice Madrid, II, f 55 r.) rappresenta un appunto per fissare e ricordare l'emozione vissuta al cospetto della fontana di Rimini, con la volontà di ritornarci sopra per analizzarla (codice Arundel, P76 v., f. 175 r; Codice Arundel, 26,3 f. 175 r) e passare poi alla proposizione e alla sintesi (Codice Arundel, 263, f. 136 r) e quindi alla fase esecutiva. Questa ricostruzione è ovviamente resa difficile dall'avvenuto smembramento e, a volte, della successiva disordinata ricomposizione dei vari Codici vinciani e delle loro parti.

Nel foglio 201 del Codice Atlantico, sia nel recto sia nel verso, Leonardo riporta l'indice di un suo studio sugli "Accidenti de' moti delle acque": «Della gocciola che cade e della acqua infra l'aria continua cadente… Delle vaie potenzie che fa l'acqua uscendo per varie altezze e lati del suo bottino; Delle cose percosse dalle acque; Delle cose che percotano l'acque; Della caduta dell'acqua di varie altezze; Della caduta

Fig. 4 - I fogli di Leonardo: serie di risuonatori (timpani) e canne sonore immerse in parte in acqua, a sinistra (Codice Madrid, II, f 55 r.)*, galleggianti, a destra in alto* (foglio Windsor 12688) *e bottini che si riempiono in una giornata e figura umana che percuote una campana, a destra in basso* (Codice Atlantico, f 65).

dell'acque sopra varie obbliquità d'un medesimo obbietto; Della caduta dell'acqua sopra diversi obbietti; Della musica dell'acque; Percussione d'acqua discregante d'angulo; Percussione d'acqua dal cerchio inverso il centro; Percussione d'acqua di verso il centro nella circumferentia», corredato da disegni esplicativi. L'analisi dei disegni e la costruzione di modelli su essi basati dimostrano che la generazione del suono con l'azione diretta dell'acqua non può arrivare ad alcun risultato utile.

Nel Codice Windsor 12688, in Figura 4, Leonardo riporta idee che pensa di utilizzare: per un possibile orologio ad acqua, pensa di sostituire un sifone con un tappo svuotatore che galleggia una volta che l'acqua raggiunge una certa altezza e ne dà le dimensioni di massima. Negli appunti per le fontane di Parigi del foglio 65 del Codice Atlantico, ancora in Figura 4, pensa a una serie di bottini con varie capacità che riempie mano a mano e svuota di colpo, una volta che tutti si siano riempiti a fine giornata; tutto è collegato, non si sa come, a una figura umana che percuote una campana Figura 4 (Taglialagamba, 2016).

La percussione dell'acqua che cade è trattata da Rayleigh (Rayleigh, 1945; Lesser, 1981) che associa alla altezza della caduta la frequenza del suono generato, come Leonardo aveva scritto nel foglio 190 del Codice atlantico: «La gocciola che discende sopra la pelle dell'acqua, retrette tanto dell'altra acqua infra l'aria, quanto è il peso d'essa goccia. La goccia che discende, tanto più acquista di peso, quanto ella acquista di moto infra l'aria».

In conclusione, nel nostro caso occorre pensare che l'acqua cadendo da una altezza così ridotta non ha sufficiente energia per produrre un suono di sufficiente potenza per essere ascoltato a una certa distanza. Questo suono andrebbe amplificato e il modo più semplice potrebbe essere quello di percuotere la membrana di un tamburello (Codice Atlantico, f. 190). La messa a punto richiede tuttavia un difficile *tuning*, modificando l'altezza della caduta dell'acqua per tenere conto della frammentazione e dell'energia trasferita, in relazione alla frequenza di risonanza del tamburo (Breslouer, 2010; Rayleigh, 1945).

Queste difficoltà sono anche oggi messe in evidenza nel difficile *tuning* dei *suikinkutsu* giapponesi, che richiedono un pazientissimo lavoro di specialisti per ottenere negli eco-giardini gli ovattati, melodici e così rilassanti suoni prodotti dalla caduta di acqua all'interno di enormi cavità risonanti. Le difficoltà diventano improponibili quando si deve coprire una sequenza di note.

Un altro concetto importante per comprendere il fenomeno fisico impiegato nella nostra fontana sonante è come separare l'aria dall'acqua. Alberti, così presente a Rimini, lo descrive, appagando la sua grande curiosità che sembra proprio nata dopo aver osservato il funzionamento, o forse partecipato al progetto, della fontana di Rimini, nel libro X del "*De re Aedificandi*" sul restauro delle costruzioni «È bene riportare quelle caratteristiche che constatiamo con i nostri occhi: l'acqua tende per natura verso il basso; non permette mai che ci sia dell'aria sotto di sé; rifiuta di unirsi

con corpi più leggeri o pesanti di lei; ha tendenza a riempire tutte le forme concave in cui si immette; quanto più si contiene la sua forza, tanto più violentemente essa spinge e fa pressione, né si dà pace finché - a seconda delle sue forze - riesce ad ottenere lo stato di quiete che cercava; si compiace di stare in luoghi da lei scelti dove riposare; rifiuta le mescolanze con altre sostanze; la sua superficie è tutta allo stesso livello da un estremo all'altro» (Alberti, 2010).

La ricostruzione di una fontana sonora e di uno strumento musicale basate sui disegni del foglio di Leonardo dove è ricordata la fontana di Rimini (cod. L f 78 r)

Una ricostruzione della funzionalità della fontana, basata sulle ipotesi del Sovrintendente Emiliani, è stata effettuata da Cocchi e Guidorzi in occasione della mostra "Leonardo, Machiavelli e Borgia: arte storia e scienza in Romagna", tenutasi a Rimini nel 2003 (Cocchi e Guidorzi, 2004). In questa ricostruzione, con una bella analisi delle musiche dell'epoca (Mamini, 2007) [1], gli Autori interpretano le annotazioni di Leonardo come la caduta diretta di acqua in canne di diversa altezza, consentita o interrotta mediante valvole azionate da un tamburo a camme fatto ruotare da una piccola turbina, azionata sempre dall'acqua. La macchina, in Figura 5, è composta da 8 canne di rame del diametro di 80 mm ciascuna, di varie altezze sul pelo libero dell'acqua e che generano rumore a frequenze determinate sperimentalmente. Le cannelle dalle quali cade l'acqua sono poste tutte a 1,5 m dal pelo libero. L'intensità del suono prodotto è molto bassa e non udibile in uno spazio ampio e aperto. Sia dalle registrazioni, cortesemente fornite dagli Autori, sia da numerosi modelli costruiti dall'autore del presente lavoro, non si riesce a percepire la melodia prodotta.

Recentemente [2] è stata data una nuova interpretazione di questo foglio del codice di Leonardo. Edoardo Zanon ha costruito uno strumento musicale con canne

Fig. 5 - Vista anteriore e laterale della macchina (Cocchi e Guidorzi, 2004).

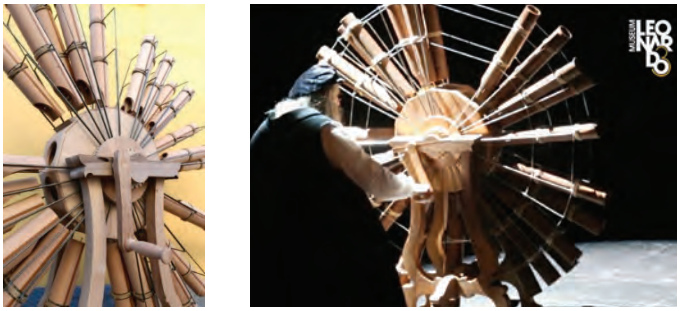


Fig. 6 - Edoardo Zanon, Leonardo da Vinci: Can(n)one Musicale/Musical Can(n)on - Teatro La Fenice/La Fenice opera house [2].

disposte a raggiera, nel quale la vibrazione viene prodotta ruotando la macchina, della quale tuttavia non si hanno dettagli. È solamente visibile in rete la fotografia, che qui si riporta in Figura 6. Si può pensare che una lamina urti una ruota dentata e quindi vibri all'interno del piccolo tamburo centrale, producendo un suono che viene poi amplificato dalle canne. Lo strumento richiama la frase di Leonardo: «10-Tamburo di tacche fregate da rote di molle» (cod. P76 v., f 175 r.). Non sembra che siano concetti applicabili alla fontana ma al pensiero di Leonardo scaturito dalla visita alla fontana stessa. La macchina è stata portata alla Fenice di Venezia e ivi fatta suonare, ma non se ne conoscono i risultati.

La nuova proposta di ricostruzione della fontana sonante

Sulla base di quanto fin qui discusso, si deduce che per spiegare il meccanismo della fontana sonora di Rimini non sembra opportuno partire dagli schizzi di Leonardo riportati nel Codice Madrid, II, f 55 r., ma sembra preferibile riferirsi ai disegni di Fontana, a quanto scritto da Vitruvio, al quale si fa cenno nello stesso foglio, alle note di Alberti e agli schemi riportati, anche se in tempi successivi, da Branca (1629). È stato quindi preso in considerazione di poter disporre di aria in pressione. Sono noti organi che suonano con aria in pressione ottenuta con metodi indiretti che consistono nel miscelare aria all'acqua, separare l'aria dopo avere messo in pressione il miscuglio, di solito impiegando un salto di quota, e quindi immettere questa aria in pressione in canne per produrre suono. L'azionamento dell'organo consiste nell'impiegare un tamburo a camme mosso da un flusso d'acqua con sequenze di tempo prefissate, definite da un orologio ad acqua, per aprire e chiudere le valvole dell'organo [3] o azionare martelletti che battono campane o fanno vibrare lamine o corde per produrre il suono.

Rifacendosi a quanto sopra, tenendo conto delle dimensioni interne della fontana di Rimini, del condotto che la alimentava, degli scritti di Vitruvio, della fantasia progettuale di Leonardo e di quanto scrisse Alberti e tenendo conto che a Rimini durante il ripristino dell'acquedotto che alimentava la fontana si è scoperta una con-

serva interrata dotata di un foro superiore chiuso con un tappo di legno, sembra lecito pensare che la parte superiore di questa conserva servisse da somiere per alimentare le canne suonanti della fontana.

Per arrivare a una proposta concreta di realizzazione partendo da soluzioni note, in Figura 7 a sinistra si riporta lo schema dell'orologio di Ctesibio: da un vaso a sfioro si ottiene, sotto battente tenuto costante, una portata fissa di acqua che riempie un serbatoio che si svuota automaticamente attraverso un sifone; l'acqua fuoriuscita fa muovere una ruota dotata di settori a tasche che a sua volta, tramite ingranaggi, muove un tamburo con indicazione del tempo, per esempio ore e mesi. Questo intervallo temporale, per esempio l'ora, viene sfrazionato da un indice sostenuto dalla figura umana posta su di un galleggiante che sale e scende nel sifone. Nella Figura 7, al centro, piace riportare il disegno dell'orologio ad acqua, cuore della macchina, come proposto nel "Libro del Relogio dell'agua" del XIII sec. (Alfonso di Castiglia, s.d.): l'acqua viene introdotta in un contenitore dall'alto, un tubo verticale mette in comunicazione la parte alta del contenitore in basso con l'esterno e a destra vi è il tubo ripiegato a U che fa svuotare alternativamente l'acqua, una volta superato il livello di innesco del sifone.

Sempre nella Figura 7 a destra è disegnata, in sezione frontale e in pianta, la soluzione proposta per la ricostruzione della "fontana sonante di Rimini". Il meccanismo, semplice e di facile realizzazione, è composto da tre parti: in alto un orologio ad acqua, come sopra descritto, alimentato con una portata costante, derivata da un serbatoio tenuto a livello, mette in rotazione la ruota a settori, la quale, a sua volta,

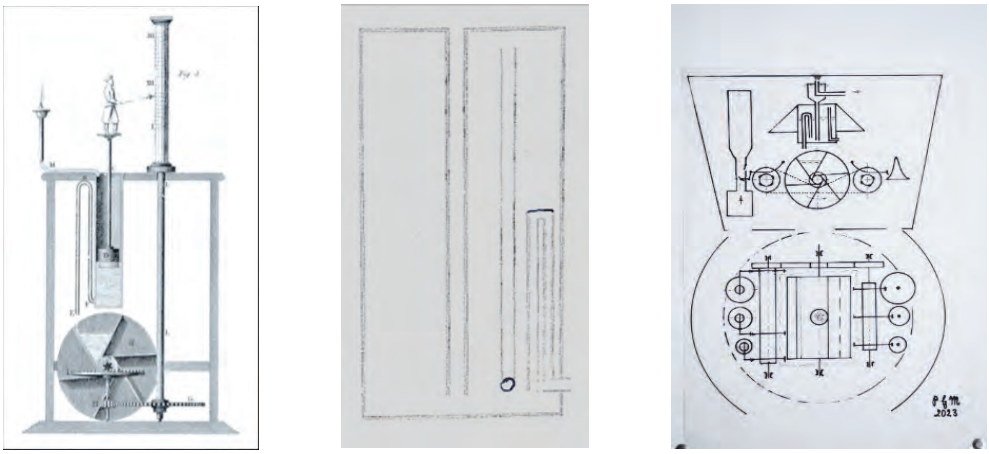


Fig. 7 - Da sinistra: l'orologio ad acqua di Ctesibio (Landels, 1999)*; il cuore dell'orologio del re Alfonso X del XIII sec.* (Alfonso di Castiglia, s.d.)*; uno schema di ricostruzione in sezione frontale e in pianta qui proposto, nella versione più semplice con canne da una parte e campanelle dall'altra.*

muove un tamburo a camme. Le camme aprono valvole per inviare aria in pressione nelle canne sonanti, o azionano martelletti che battono campane. Ovviamente occorre anche prevedere una valvola a peso diretto per mantenere il più possibile costante la pressione nella conserva-somiere.

Conclusioni

L'analisi sui codici di Leonardo, i dettagli del bassorilievo del tempio malatestiano, le frasi di Alberti, i disegni contemporanei e il resoconto dei tecnici comunali del 1800 sui condotti di alimentazione della fontana hanno consentito una analisi filologica-idraulica della macchina e hanno quindi permesso di avanzare argomentate ipotesi per la costruzione di un modello che ha messo ulteriormente a fuoco le peculiarità di questa fontana sonante, che sfrutta aria in pressione derivata dall'acquedotto e che è in parte simile a quella coeva del Quirinale (Barbieri, 1981; Latanza, 1995)o a quelle che Vitruvio afferma essere nei circhi e nelle terme romane..

La costruzione e il posizionamento di una fontana così particolare doveva destare lo stupore e la meraviglia dei visitatori, come attestato dagli appunti di Leonardo, e degli stessi Riminesi nella ammirazione per colui che aveva permesso di realizzarla: il loro Sigismundus Imperator che aveva raccolto attorno a sé le più lucide menti di allora e che solo la spregiudicata politica temporale del papato avrebbe cancellato.

Nella ipotesi proposta non si è voluto corredare la fontana con figure danzanti già descritte dall'Alberti, ma solo presentare un semplice possibile progetto realizzativo.

Fogli delle Opere Vinciane qui considerati

Codice Arundel f. 136 r.; y 137 v.; f. 175 r.
Codice Atlantico f 65 già 20 r.b.; f. 190 r., f. 201 v.
Codice institute de france l. 78 r;
Codice Hammer 27 v., r.;
Codice Madrid II f 55 r.
Disegni Collezione Windsor 12688, 12716, 12480, 12718

Bibliografia

Alberti L.B. 2010. *De re ædificatoria* (a cura di V. Giontella). Torino: Bollati Boringhieri.
Alberti L. 1550. *Descrittione di tutta Italia*. Bologna: per Anselmo Giaccarelli.
Alfonso X de Castilla. s.d. (ma XIII sec), Libro del Relogio dell'agua. In: *Libro del saber de astronomìa*, IV, II, 24-64.
Avella G. 1997. *La Fontana della Pigna a Rimini*. Villa Verucchio: Pazzini.
Barbieri P. 1981. L'Organo idraulico del Quirinale. L'Organo, XIX, 7-61.
Barbieri P. 2004. Ancora sulla fontana dell'organo di Tivoli e altri automata sonori degli Este (1576-1619). L'Organo, XXXVII, 187-221.
Bianchi A. 1993. *Rimini prima dei bagni* (a cura di P. Meldini e G. Rimondini). Rimini: Fondazione cassa di Risparmio di Rimini.
Branca G. 1629. *Le machine*. Roma: Ed. Iacomo Mascardi, Iacomo Manuci.

Breslouer O. *Rayleigh-Plateau Instability: Falling Jet, Analysis and Applications*. MAE 559, 1/08/10, Final Project Report, Princeton University.
Broglio G. 1982. *Cronaca malatestiana del secolo XV* (a cura di Antonio G. Luciani). Rimini: Ghigi.
Cocchi A., Guidorzi P. 2004. Costruzione e analisi sonora dell'organo ad acqua di Leonardo. In: *Atti del 31° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica*, Venezia, 5-7 Maggio 2004. 151-157.
Crudomiglia 1832. Piano di esecuzione dei lavori atti a migliorare l'antichissimo acquedotto della Pubblica fonte ormai resosi inservibile. Arch. Stor. Riminese ASR ASC 1831-1832 b 544, b545.
Di Battista R. 2019. *Accidenti de' moti delle acque. La chiave per ricostruire il trattato di Leonardo da Vinci*. Roma: Il mio Libro Gedi Ed.
Gille B. 1964. Les ingénieurs de la Reinassance. Revue d'histoire des sciences, 17(3),267-275.
Gille B. 1972. *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento* (traduzione di A. Carugo). Milano: Feltrinelli.
Giuccioli M.G. 2002. *Il restauro della Fontana della Pigna in piazza Cavour.* Rimini: Amir Comune di Rimini.
Gnola D. 2019. *Sulle tracce di Leonardo. Il viaggio in Romagna per Cesare Borgia*. Bologna: Minerva Ed.
Grillini G.C., Minguzzi V., Lunederi E. 2011. La fontana della pigna di Rimini. In: *Le fontane storiche: eredità di un passato recente. Restauro, valorizzazione e gestione di un patrimonio complesso* (a cura di M. Pretelli e A. Ugolini), 80-87. Firenze: Alinea.
Landels J.G. 1999. *Music in ancient Greece and Rome*. London: Routledge.
Latanza A. 1995. *Il Ripristino dell'Organo Idraulico del Quirinale*. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
Lazzarini G., Serrau A. 2011. I sistemi di adduzione delle acque della fontana della pigna a Rimini. In: *Le fontane storiche: eredità di un passato recente. Restauro, valorizzazione e gestione di un patrimonio complesso* (a cura di M. Pretelli e A. Ugolini), 294-305. Firenze, Alinea.
Lesser M.B. 1981. *Analytic solutions of liquid-drop impact problems*. Proceedings of the Royal Society A, 377, 289-308.
Mamini M. 2007. *"Udirai melodia del bel sonare" Federico da Montefeltro e la musica*. Urbino: Quattroventi.
Molari L., Molari P.G. 2014. Il "tormento" del progettista, negli appunti di Francesco di Giorgio. Scuola Officina, Museo del Patrimonio Industriale di Bologna, XXXIII, 30-35.
Prager F.D. 1971. Fontana on Fountains. Phisis, XIII, 341-360.
Rayleigh J.W.S. 1945. *The theory of Sound*. II Ed. New York: Dover Publ.
Taglialagamba S. 2016. Facciasi fonti in ciascuna piazza. Congegni idraulici e fontane di Leonardo per i committenti francesi. In: *Nel Laboratorio del Rinascimento. Scienza e arte nei giardini europei tra '500 e '600* (a cura di J. Ferdinand), 62-77. Verona: Zel.
Winternitz E. 1982. *Leonardo da Vinci as a Musician*s. New Haven: Yale University Press.

Sitografia

[1] https://www.youtube.com/watch?v=Wpr0m9k5d_Q
[2] http://www.blogfoolk.com/2014/06/edoardo-zanon-il-mondo-di-leonardo-da_19.html
[3] https://amsacta.unibo.it/id/eprint/5543/

Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari

Guglielmo da Parigi e la torre dell'orologio di Castel Nuovo a Napoli

Guglielmo from Paris and the clock tower of Castel Nuovo in Naples

Sommario
All'interno di Castel Nuovo di Napoli, fra la Grande Sala e la Cappella Palatina si trovava, fino agli interventi di restauro eseguiti negli anni Trenta, una torre con un orologio. In questo contributo si ripercorre la storia di questa struttura, del suo orologio e del suo costruttore, Guglielmo da Parigi: si presentano documenti, alcuni dei quali inediti, che mettono in evidenza il ruolo dell'artefice e si argomenta sulla struttura di questo così significativo monumento, sul meccanismo dell'orologio con la sua campana o le sue campane. Infine, si cercano i motivi della soppressione di questo campanile dalla corte interna del Castel Nuovo e dal panorama di Napoli.

Abstract
Inside Castel Nuovo of Naples between the Great Hall and the Palatine Chapel there was, until the restoration work carried out in the 1930s, a tower with a clock. Here we want to retrace the history of this structure, its clock and its builder William from Paris. This work presents documents (some unpublished) that highlight the role of the craftsman and discusses the structure of this so significant monument, the mechanism of the clock with its bell (or its bells). Finally, the reasons for the suppression of this bell tower from the internal courtyard of the Castel Nuovo and from the panorama of Naples are sought.

Introduzione
Vari sono stati gli interventi attorno a Castel Nuovo che hanno mutato radicalmente il profilo della città, oggetto di una numerosissima bibliografia. Un particolare che colpisce è il campanile che svettava sulle torri di Castel Nuovo dalla fine del 1400, fino a quando fu mozzato alla fine del 1800 per poi scomparire definitivamente durante la cosiddetta monumentalizzazione affidata all'archivista-storico dell'arte Riccardo Filangieri di Candida (Visone, 2916) nel 1930.

Questo contributo vuole fare chiarezza sulla struttura di questo campanile, su ciò che esso conteneva, con particolare riferimento all'orologio e al suo costruttore, e sul motivo dell'abbattimento.

Il campanile

Il campanile, che appare nelle immagini in Figura 1, doveva essere ben visibile all'interno di Castel Nuovo e occupare un posto centrale nella corte interna; i disegni, le stampe e le foto d'epoca, lo mostrano infatti fra la Cappella Palatina e la Gran Sala, o Sala dei Baroni, verso il cortile interno, come mostrato in Figura 2.

Sporgente sulla copertura lato mare del castello, il campanile era a forma di coffa di nave e doveva essere impiegato anche come ulteriore punto di vedetta, data la sua altezza sul mare, con possibilità di allertare direttamente la popolazione contro eventuali aggressioni con il suono della grande campana. Nella forma originaria del manufatto, visibile nella tavola Strozzi (Di Battista e Molari, 2016), e nel disegno di Ferraiolo in Figura 2, è caratteristica la guglia con uncinetti [1] che corrono lungo le quattro generatrici della superficie conica, tipici del gotico fiammeggiante. Questo dettaglio è presente nelle città francesi di origine di Guglielmo Monaco [1], Bruges o Rouen, ma anche a Orvieto [1], come mostrato in Figura 3. In particolare, Orvieto viene così ulteriormente legata al campanile di Castel Nuovo, oltre che per la forma dei pinnacoli del duomo anche per il bassorilievo con il concerto di campane e per la torre dell'orologio, in Figura 4, in cui la musica, intesa come suono delle campane associato al battere delle ore, e la scrittura vengono celebrate come massime scoperte nell'evoluzione della stirpe umana.

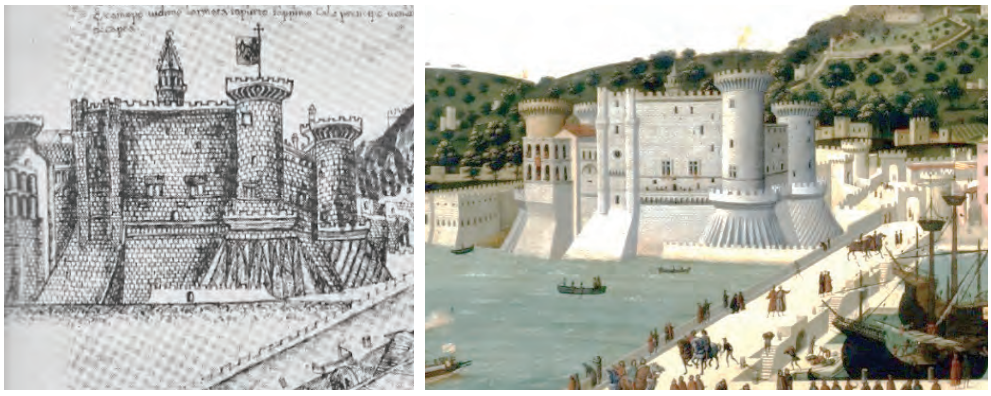


Fig. 1 - Castel Nuovo: come appare nel manoscritto del Ferraiolo il giorno 7.11.1495 con la bandiera di Carlo VIII (Filangieri, 1956, §76)*, a sinistra, e nella Tavola Strozzi, a destra.*

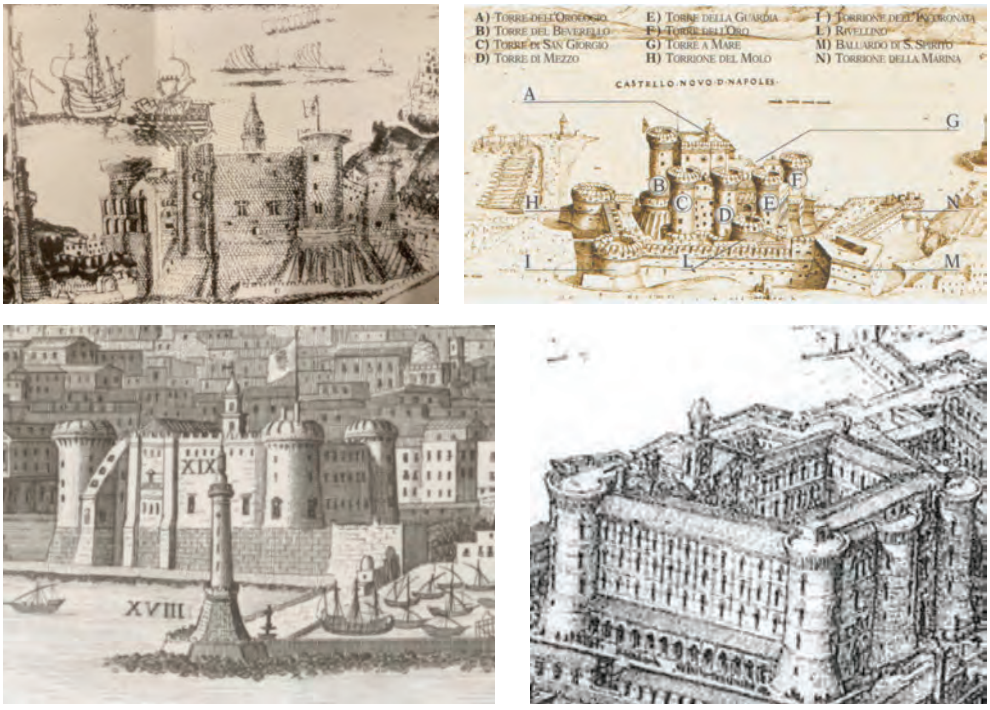


Fig. 2 - Il campanile: nella vista del castello disegnata da Ferraiolo alla fine del 1400, in alto a sinistra (Filangieri, 1956, p. 86), *nel disegno di Franzisco de Hollanda del 1540, in alto a destra* (Di Battista e Molari, 2009), *nel testo di Carafa, in basso a sinistra* (Carafa, 1775) *e nel progetto Giura-Alvino del 1871, in basso a destra* (Rossi, 2008).

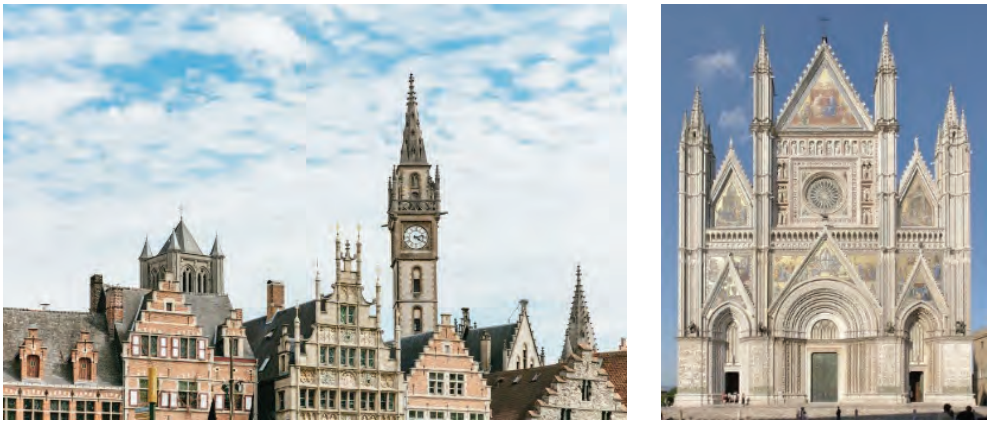


Fig. 3 - Gli uncinetti presenti sulle torri di Bruges, a sinistra, e di Orvieto, a destra.

Fig. 4 - Facciata del duomo di Orvieto: bassorilievo in cui si celebrano la musica e la scrittura, a sinistra, e particolare della rappresentazione della musica, a destra.

Riccardo Filangieri, Soprintendente dell'Archivio di Stato di Napoli dal 1934 al 1956, scrisse: «Sulla facciata sopra l'angolo comune alla gran sala e alla cappella, fu costruito un piccolo campanile di due ordini, con cupoletta conica, rifatto poi nel Seicento, ridotto nel sec. XIX a un solo ordine, ed eliminato negli odierni restauri per la scomparsa dei suoi elementi originari. Nel 1456 Guglielmo Monaco vi fuse una grande campana e due anni dopo cominciò a costruirvi il grande orologio a campane, che suonava le ore, meccanismo ingegnosissimo e forse nuovo qui per quei tempi» (Filangieri, 1934, p. 242). In particolare, il campanile confinava con il tetto a due falde della Cappella Palatina che, con le sovrastanti tegole, venne rimosso durante i discutibili restauri condotti da Riccardo Filangieri e sostituito da un terrazzo posto sullo stesso livello di quello della Gran Sala.

Contro l'eliminazione del campanile insorse Ruocco che in un suo testo trascrisse il documento, fino a quel momento sconosciuto, sugli accordi legali fra Guillermo e Ferrante (Ruocco, 1931). A parziale giustificazione dell'operato di Filangieri si deve registrare l'abbattimento di una parte della torre dovuta, sembra, a un fulmine (Documenti sui restauri di Castel Nuovo, Archivio Centrale di Stato, Roma).

L'orologio meraviglia del tempo

L'orologio meccanico è una delle innovazioni più spettacolari dell'epoca, che permetteva di controllare lo scorrere del tempo (Zollo, 2017)[2]; in Figura 5 è riportato lo schema del meccanismo.

Oltre all'orologio del quale qui si tratta, esempi di questa meraviglia si trovano nelle tarsie coeve dello

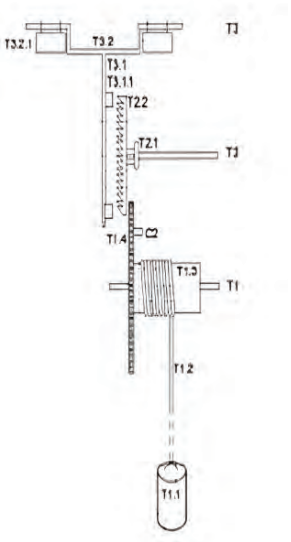


Fig. 5 - Schema del meccanismo del tempo (Brusa, 1982).

Fig. 6 - Esempi di orologi: da sinistra, tarsie nello studiolo del Duca di Urbino, torre dell'orologio di Orvieto con particolare dell'azionamento delle campane.

studiolo del Duca di Urbino e a Orvieto nel bassorilievo sulla facciata del duomo (Brusa, 1982) e nella torre dell'orologio, in Figura 6.

L'orologio della torre fu costruito da Guglielmo Monaco. chiamato anche Guglielmo da Parigi[3], su contratto affidatogli da Alfonso il Magnanimo nel 1452, con un compenso di 1117 ducati. L'inizio dei lavori però subì un arresto per la morte del sovrano e due successivi atti stipulati nel 1459 e 1460, confermano l'importo e la volontà del successore di Alfonso, Ferrante d'Aragona, di portarne a termine la realizzazione dell'opera. Un saldo effettuato nel 1472 registra l'ultimazione della costruzione dell'orologio di Castel Nuovo (Barreto, 2011).

La sua posizione può essere individuata analizzando le piante disponibili. Infatti, nella pianta del livello inferiore della Gran Sala, in Figura 7 risalta la forma quadrata del più importante salone di rappresentanza del castello aragonese e nella pianta del livello superiore, anch'essa in Figura 7, si nota il perimetro della galleria che si affaccia sulla Gran Sala, marcato da otto sostegni angolari che reggono i costoloni della sovrastante volta stellata (Como, 2020), in Figura 8. Dalla sovrapposizione delle piante dei due livelli è possibile individuare lo spazio che presenta le caratteristiche adatte all'alloggiamento del congegno meccanico: sopra i peducci d'imposta della galleria, nell'angolo rivolto verso la corte interna in prossimità della facciata della Cappella Palatina, è posizionato il cavedio evidenziato in Figura 7, che poteva alloggiare sia il meccanismo del tempo, sia quello della suoneria. Per il funzionamento dell'orologio, era necessario, infatti, fare scendere i pesi motori e le funi per suonare le campane evitando di interessare l'interno della Gran Sala, non solo per un fatto estetico, ma, soprattutto, per non interrompere la costolatura. Si comprende

così la necessità di costruire il campanile, avente altezza sufficiente per ricaricare il meccanismo non più di una volta al giorno, collocando in alto un rinvio delle funi.

L'orologio doveva essere dotato di un quadrante visibile dal cortile interno per consentire una lettura agevole delle ore, che sembra apparire nella immagine nel progetto Giura-Alvino del 1871 in Figura 2, mentre in Figura 7, a destra, si può vedere, in un piccolo passaggio verso la corte interna situato poco sopra al livello della impostazione della volta della Gran Sala, la posizione da cui si suppone fuoriuscisse l'albero principale dell'orologio e quindi dove era posizionato il centro del quadrante.

Essendo il quadrante dell'orologio rivolto verso la corte interna e considerato che probabilmente il suono della campana non interessava troppo la popolazione di Napoli che usufruiva del suono delle campane di altri campanili, si ipotizza che l'abbattimento del campanile e la conseguente scomparsa dell'orologio, mai citati nelle cronache, non abbia suscitato reazioni se non quelle del colto canonico di Capri prof. Giobbe Ruocco (Ruocco, 1931).

La meccanica dell'orologio dovrebbe essere simile a quella descritta e rappresentata nella tarsia dello studiolo di Urbino in Figura 6, impiegata in quel preciso momento storico, come presumibilmente confermato anche dalle assidue frequentazioni fra le due corti documentato dalla richiesta del duca Federico di potersi valere della presenza «Mastro Guillermo lo bombardiere» (Archivo de la Corona de Aragón, Cancilleria, reg 2880, f 46). Si tratta di un tamburo mosso da pesi mediante una fune che si svolge su di esso e solidale a una ruota dentata che ingrana con un pignone, a sua volta solidale alla cosiddetta ruota "caterina", chiamata così dalla ruota dentata del martirio di Santa Caterina di Alessandria che mette in movimento alternato un'asta dotata di volano, che oscilla di circa 100° per mezzo di due palette che si impe-

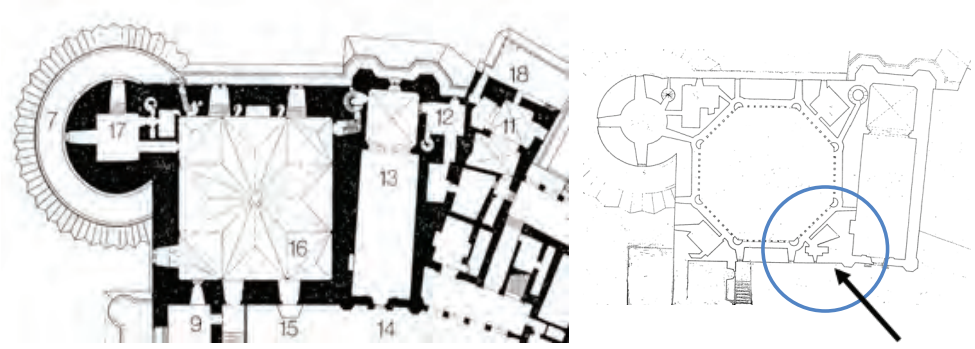


Fig. 7 - La Gran Sala: pianta del livello del pavimento della Gran Sala (16) e della Cappella Palatina (13), a sinistra (Stella, 1928) *e del livello della Galleria, a destra. Il cavedio in cui erano alloggiati l'orologio e le funi di caricamento poteva essere ricavato a livello d'imposta della cupola, nella zona cerchiata nella pianta a destra, dove la freccia indica il piccolo passaggio verso la corte interna* (Di Battista, 1996).

gnano e disimpegnano nella ruota caterina, regolando sostanzialmente lo svolgimento della fune sul tamburo. In particolare, per evitare l'attrito provocato da un cuscinetto reggispinta, l'asta è sospesa tramite un filo di seta. L'asse del tamburo fa ruotare a sua volta l'indicatore o la sfera, oppure le sfere con opportune riduzioni, e può far suonare a rintocchi una o più campane facendole oscillare o battendole con martelli tramite una camma a pioli. Questa seconda parte dell'orologio, detta sistema della suoneria, è dotata di un proprio motore a pesi distinto da quello del sistema del tempo.

Per quanto riguarda le campane, quella nelle tarsie di Urbino viene fatta oscillare perché ha le dimensioni di un campanello, mentre a Napoli, data la mole, è più probabile che la campana venisse suonata tramite un martello battente sul suo bordo, come nella torre dell'orologio di Orvieto. Si sottolinea che Filangieri, nel citato testo del 1934, scrive di campane al plurale, quindi, sembra lecito pensare che l'orologio di Napoli, oltre alla grande campana, avesse all'interno del campanile un giro di campane più piccole, simile a quello del bassorilievo del duomo di Orvieto.

Infine, in riferimento al sistema di regolazione, all'epoca il tempo di oscillazione veniva regolato variando il momento di inerzia del volano, spostando radialmente le due masse che si vedono in alto nel meccanismo di Figura 5.

Alcuni orologi dello stesso periodo, che sembra lecito pensare simili a quello di Castel Nuovo sono:

- l'orologio del Castello di Pavia, sicuramente più antico e più elaborato di quello di Castel Nuovo perché costruito dal Dondi, conosciuto da Guglielmo Monaco che lo restaurò durante la sua attività alla corte di Filippo Maria Visconti; l'orologio per la sua fragilità si trovava in uno spazio interno, precisamente nella Biblioteca del Castello, come confermato da una lettera di Donato Bramante che chiede di poterlo vedere (Caffi, 1876);
- l'orologio della torre di Mantova, del quale si può osservare in movimento il meccanismo del 1473 [2];
- l'orologio di piazza dei Signori a Padova, costruito da Dondi, distrutto nel 1390, ricostruito e tuttora funzionante [3]; proprio a Padova Alfonso il Magnanimo mandò nel 1453 ambasciatori Antonio Panormita e il giovanissimo Pontano per chiedere al Doge i servigi di Donatello;
- l'orologio sul campanile della chiesa di Sant'Andrea a Chioggia, datato da un documento ritrovato per la manutenzione nel 1387 [4];
- l'orologio sulla chiesa di San Giacomo di Rialto a Venezia, che pur rifatto come meccanica, mantiene la struttura esterna originale [5].

Il costruttore e la tecnologia del tempo

Ricostruire la storia dell'orologio formato dal meccanismo e dalla campana di Castel Nuovo (Barreto, 2011) serve a fare chiarezza sull'opera di Guglielmo Monaco alla corte di Napoli e sull'influsso che egli ebbe sull'impiego delle nuove tecnologie in ambito

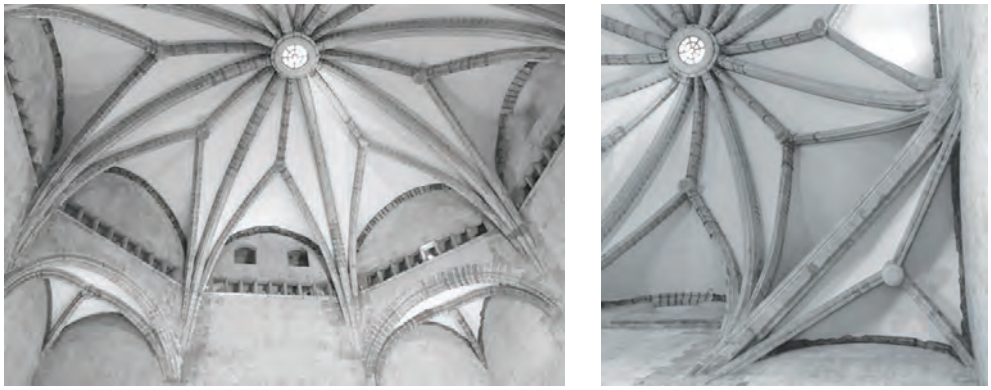


Fig. 8 - La cupola della Gran Sala, a sinistra, e l'angolo della volta interessato, a destra (Como, 2018).

militare e sulle maestranze attive nel cantiere di Castel Nuovo durante il periodo aragonese. Forse non fu un caso che Guglielmo da maestro fonditore divenne gubernator regie artegliarie. Si ricorda infatti che saper fondere campane in bronzo senza difetti segnò un passo fondamentale per ottenere bombarde prima e cannoni poi. In particolare, la bombarda derivava dalle campane, come mostrato in Figura 9, e la culatta era una campana che terminava con una parte filettata sulla quale si avvitava la tromba.

A proposito di Guglielmo Monaco, Filangieri scrisse: «Era costui un noto fonditore di bombarde, parigino. Fu maestro delle artiglierie di Alfonso e poi di Ferrante. Assunto in servizio il 31 dicembre 1452 con provvigione di 400 ducati d'oro all'anno, fuse colossali bombarde, e prese a fare nel gennaio del 1458 il grande orologio a campane del castello per 1117 ducati. Fu molto caro a Ferrante, che lo fece regio consigliere e gli concesse una miniera di allume ad Agnano, con la quale egli si arricchì e acquistò feudi nella provincia e case a Napoli» (Filangieri, 1934).

Alfonso il Magnanimo aveva potuto conoscere e apprezzare Guglielmo Monaco alla corte di Filippo Maria Visconti a Pavia, prima che con quest'ultimo concludesse l'accordo per la conquista del Regno di Napoli, avvenuta nel 1442. Dieci anni dopo, nel 1452, Guglielmo Monaco compare fra i familiares di Alfonso (Biblioteca Vaticana MS Chigi VII, f. 104v), il quale gli concede lo stesso trattamento e prestigio che il Visconti gli aveva riservato. Nel maggio del 1456 l'ambasciatore degli Sforza a Napoli, Antonio da Trezzo, ne richiedeva i servigi per riparare «*l'orologio in la libraria del nostro Castello de Pavia*» in quanto un'altra volta, «[al tempo] *de la bona memoria del Ill. signore passato lo ebbe in le mane et cominciò per fornirlo, e perché ebbe pur opus mirabile*» (Archivio di Stato di Milano, Lettere Ducali 1453-1464, f. 124). Il contributo di Guglielmo come artigliere fu determinante per la vittoria di Ferrante d'Aragona, soprattutto nella battaglia di Troia del 1462, che è raffigurata nei pannel-

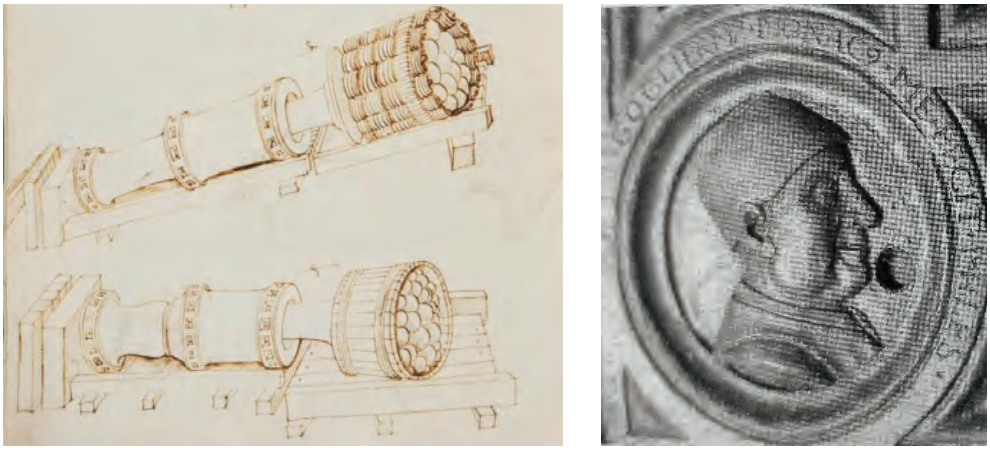


Fig. 9 - La bombarda di Francesco di Giorgio con le due "campane" con le ammorsature per l'avvitamento della tromba sulla culatta (Torriti, 1993)*, a sinistra, e autoritratto di Guglielmo da Parigi nelle porte in bronzo di Castel Nuovo, a destra.*

li della porta bronzea di Castel Nuovo, dove compaiono l'iscrizione *Goglierm[us] Monac[us] me fecit miles* e l'autoritratto di Guglielmo, in Figura 9.

L'importanza della tecnologia introdotta da Guglielmo Monaco è attestata anche dalla richiesta di Federico da Montefeltro a re Ferrante per averlo a Urbino. Di questa finora inedita richiesta si conosce la risposta in data 22 novembre 1457: «*Ill. mo Federico de Montefeltro Comiti Urbini et nostrorum gentium armorum generali capitaneo consiliario nobis plurimi dilecto. Cetera ad quello che scrivite de Mastro Guillermo lo bombardiere perché muy lo avimo cua multo necessario no ne saria possibile mandarlo. Vero ve provederemo de altro se qualcuno se ne trovara et subito ve lo manderemo. Datum in Castellonovo civitate nostre Neapolis die XXII mensis novembris 1457*» (Archivo de la Corona de Aragón, Cancilleria, reg 2880, f 46).

In concomitanza con l'affidamento della costruzione dell'orologio di Castel Nuovo, sempre nel 1456 Guglielmo Monaco ricevette l'incarico di fondere una bombarda di grandi dimensioni, conosciuta come «la napoletana» (Barreto, 2011): un ordigno colossale del peso di 198 cantaia e 22 rotoli[4], che gli fu pagato 773 ducati e che fu portato in Castel Nuovo il 14 settembre 1455. La bombarda, che recava scolpite anteriormente le armi aragonesi e del Regno di Sicilia e ai lati due emblemi, cioè le imprese personali di Alfonso, assunte come suoi simboli (De Negri, 1990), sembra essere quella descritta da Ferraiolo e «*la bombarda de Milana, zoè la grossa, ingigniao a tirare da quisto medesimo dì alla faciata delle camare della sig Riina*» con la quale Francesco di Giorgio lanciò la prima mina in occasione della conquista di Castel Nuovo, in mano ai Francesi di Carlo VIII (Filangieri, 1956, §49; Di Battista *et al*., 2011).

Nei registri della Cancelleria Aragonese risultano annotati compensi a nome di Guglielmo Monaco su ordine di Alfonso negli anni 1451, 1453, 1456 e 1458 e di Ferrante nel 1459 e nel 1460 per la fusione di bombarde, opere edili per la posizione delle bombarde e per le fontane del giardino adiacente a Castel Nuovo (Filangieri, 1891; Ruocco, 1931).

Dopo aver usato e divulgato la tecnologia di fusione delle campane e di costruzione delle bombarde, Guglielmo Monaco intraprese una strada imprenditoriale che lo portò a grandi ricchezze. Infatti, il Re gli concesse nel 1462 l'ordine di avviare a Pozzuoli la nuova industria dell'allume che entrò a regime tre anni dopo con le seguenti modalità: «*Lo dicto Guliermo se contenta che la maestà predicta habia la metate de l'allume se farrano ne la dicta lumera czioè si la dicta lumera faré ducento cantara de alume per ciascuno mese cento ne abiano essere da essa Maestée li restanti cento del dicto Guliermo. E non solo, Guglielmo debia essere franco de dohana et gabella*» (Feniello, 2005).

Si vuole sottolineare che Guglielmo Monaco creò una scuola di tecnologia a Napoli che divenne, nella seconda metà del 1400, un centro di divulgazione e scambio di tecnologie d'avanguardia. Infatti, nel gruppo di fonditori riuniti nel 1492 agli stipendi degli Aragonesi di Napoli, nella fonderia di Castel Nuovo vi erano il francese Patris de La Molle, reduce dal servizio presso i re inglesi Riccardo III e Enrico VIII, il genovese Antonio Gioardi e il catanese Giovanni Carsano. Proprio grazie a questi scambi di informazioni tecnologiche, agli inizi del XVI secolo in Europa quasi tutte le aree produttive erano in grado di fabbricare artiglierie moderne (Ridella, 2009).

Conclusioni

Lo studio della torre dell'orologio ha permesso di ritrovare una importante testimonianza rinascimentale e di riposizionare, nel panorama e nella vita di Napoli della seconda metà del 1400, la figura di Guglielmo Monaco che fu determinante per lo sviluppo e la diffusione della tecnologia meccanica per la costruzione delle macchine belliche, e non solo, di allora. Ha permesso anche di mettere meglio a fuoco uno di questi eclettici maestri, capaci di avere l'abilità di orafo, di orologiaio, di fonditore e di maestro d'artiglieria nonché di grande imprenditore, avendo saputo prevedere con grande lungimiranza lo sviluppo e il conseguente mercato delle nuove tecnologie.

Bibliografia

Ansani F. 2017. Per infinite sperientie. I maestri dell'artiglieria nell'Italia del Quattrocento. Reti Medievali Rivista, 18, 2.

Ansani F. 2021. Imitazione, adattamento, appropriazione. Tecnologia e tattica delle artiglierie «minute» nell'Italia del Quattrocento. Nuova Antologia Militare, Rivista interdisciplinare della Società Italiana di Storia Militare, 5, 265-354.

Barreto J. 2011. Artisan ou artiste entre France et Italie? Le cas de Guglielmo Monaco à la cour de Naples au XVe siècle. Laboratoire italien. Politique et société, 11, 301-328.

Brusa G. 1982. *L'arte dell'orologio in europa-sette secoli di orologi meccanici*. Busto Arsizio: Bramante.

Caffi M. 1876. Il Castello di Pavia. Archivio Storico Lombardo: Giornale della società storica lombarda Serie 1, 3(3). 543-559.

Camporeale E. 2010. Sugli Orologi Pubblici in Italia: presenze e rappresentazioni. La Colombaria, LXXV, Nuova Serie - LXI.

Carafa G. 1775. Mappa topografica della città di Napoli e de' suoi contorni. Napoli

Como M.T. 2018. Inquiring on Structural Identity of Sala dei Baroni Vault. In: *Building Knowledge, Constructing Histories* (I. Wouters, S. Van de Voorde, I. Bertels, B. Espion, K. De Jonge, D. Zastavni, Eds.), I, 493-500. London: CRC Press.

De Negri Felicita. 1990. Guglielmo Dello Monaco. In: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 38. Torino: Treccani.

Di Battista R. 1996. Il cantiere di Castelnuovo a Napoli tra il 1443 e il 1473. Tesi di dottorato, IUAV IX Ciclo (1993-1996).

Di Battista R., Molari P.G. 2016. La tavola Strozzi e Francesco di Giorgio nella Napoli Aragonese. In: *Proceedings of the International Conference on History of Engineering - Atti del VI Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino), II, 599-610. Napoli: Cuzzolin Editore.

Di Battista R., Molari L., Molari P.G. 2009. Castel Nuovo e il lancio della prima mina nel 1495. Architettura Fortificata in Campania, Istituto Italiano dei Castelli, sezione Campania, Napoli, Quaderno N. 2.

Di Battista R., Molari L., Molari P.G.. 2011. The first launching of a mine: Francesco di Giorgio and the capture of Castel Nuovo. In: *Reconstructing Francesco di Giorgio Architect* (B. Hub Berthold, A. Pollali, Eds.), 163-184. Frankfurt am Main: Peter Lang.

di Giorgio Martini F. 1967. Trattati di architettura, BNCF Fondo Nazionale II.I.141 In: *I Trattati* (a cura di Corrado Maltese). Milano: Il Polifilo.

Feniello A. 2005. L'allume di Napoli nel XV secolo. In: *L'alun de Méditerranée* (a cura di F. Borgard, J.P. Brun, M. Picon), 97-103. Napoli: Centre Jean Bérard Collection.

Filangieri G. 1891. *Indice degli artefici delle arti maggiori e minori*. IV(II), 179-182. Napoli: Tipografia dell'Accademia Reale delle Scienze.

Filangieri R. 1934. *Castel Nuovo Reggia Angioina ed Aragonese di Napoli*. Napoli: EPSA Editrice Politecnica.

Filangieri R. 1956. *Una cronaca napoletana figurata del quattrocento*. Napoli: L'Arte Tipografica.

Ridella R. 2009. Fonditori italiani di artiglierie in trasferta nell'Europa del sedicesimo secolo. In: *Storie di Armi* (a cura di N. Labanca, P.P. Poggio). Trezzano sul Naviglio: Unicopli soc. coop.

Roccha A. 1613. *De campanis commentarius a Fr. Angelo Roccha episcopo. Roma:* Apud Guillelmum Facciottum.

Rossi P. 2008. La piazza del Municipio ovvero la definizione degli antichi spazi intorno a Castelnuovo. In: *Valorizzazione e Catalogazione dei Centri Storici - un percorso per la tutela dei beni culturali in Campania* (a cura di P. Rossi e C. Rusciano), 23-50. Napoli: Editoriale Scientifica.

Ruocco G. 1931. *L'odierno scempio della gran sala e un inedito documento del grande orologio di Castel Nuovo di Napoli*. Napoli: Miccoli.

Stella A. 1928. *Castelnuovo di Napoli alla luce dei documenti e della storia*. Napoli: Stab. tip. N. Jovene.

Torriti P. 1993. Francesco di Giorgio Martini. Art Dossier, 77.
Visone M. 2017. Per una bibliografia ragionata su Castel Nuovo. In: *Conoscenza e valorizzazione del patrimonio culturale del Centro Storico di Napoli. 2. Castel Nuovo, un progetto dimostratore* (a cura di M. Campi e M. Losasso), 124-152. Napoli: Clean Edizioni.
Zollo G. 2008. Traiettorie tecnologiche nell'invenzione dell'orologio meccanico nel Medioevo. In: *Atti del II Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino), 449-460. Napoli: Cuzzolin Editore.

Sitografia

[1] https://www.goticomania.it/architettura-gotica/glossario-termini-architettura-gotica.html/amp
[2] Ingranaggio E Movimento a Orologeria Antichi Nella Torre Di Orologio Di Mantova Archivi Video - Video di motore, grunge: 144482379 [dreamstime.com]
[3] https://ilbolive.unipd.it/news/scienza-nascosta-padova-orologio si veda anche: Chiara di Benedetto Leopoldo Benacchio, La scienza nascosta nei luoghi di Padova,
[4] https://m.facebook.com/237867213249658/posts/lorologio-piu-antico-del-mondo-si-trova-in-veneto-sul-campanile-della-chiesa-di-/344824062553972/?locale=ar_AR&_rdr
[5] http://www.veneziamuseo.it/terra/San_Polo/Zuane/zuane_cie_giacometo.htm

Note

[1] «*Supra dictas Campanas extat Horologium cum Campana, quae pulfit horas. Extat etiam superius alia contignatio, in qua pendent Campanae, quae praeludium aliquod, vel, vt mufici aiunt, motedum, in maioribus nempe fcstiuitatibus, anteaquam horas pulfentur, sonant*» (Roccha, 1613).
[2] Un museo degli orologi da torre, si trova a San Marco dei Cavoti (BN).
[3] Guglielmo da Parigi, fu oltre che *magister facienda orlogia, fonditore, artista e ingegnere, mestre maior dela artellaria*. È noto anche come Mastro Guillermo lo bombardiere e Guglielmo Monaco, ma il suo vero nome d'origine è Guillaume Le Moine, originario dal nord della Francia, dalla Normandia o dalla Piccardia (Barreto, 2011).
[4] Una cantaia valeva 100 rotoli, circa 80 kg.

Lucia Barsanti, Mario Calamia, Monica Gherardelli

...e poi fu CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana). Una storia del calcolo numerico elettronico

...and then there was CEP (Pisan Electronic Calculator). A story of the electronic numerical calculation

Sommario

In questi ultimi anni è stata ricordata l'interessante storia della nascita del primo calcolatore elettronico numerico italiano. Una storia di lungimiranza scientifica e industriale che purtroppo non ebbe il riscontro che avrebbe meritato ma che servì, tuttavia, a creare una Scuola che ha costituito un punto di riferimento per la formazione di ricercatori e tecnici nel campo dell'Informatica. In questo contributo, si riportano le sensazioni provate dai testimoni dell'epoca di fronte alla trasformazione rappresentata dall'utilizzo, dapprima timido e poi incontenibile, del calcolo elettronico numerico. Due aspetti vengono messi in evidenza: quello ingegneristico, riguardante essenzialmente il trattamento dei segnali, e quello matematico relativo all'utilizzo delle macchine che si andavano delineando. Il calcolatore numerico, prima meccanico, poi elettronico, era utilizzato per operazioni aritmetiche e successivamente per operazioni sempre più complesse, ma sempre di carattere numerico. La soluzione di equazioni matematiche, espressioni di problemi reali, era affidata a calcolatori analogici capaci di operare direttamente sulle relazioni funzionali. Le operazioni di base utilizzavano solo sommatori e integratori; era possibile risolvere problemi di relativa complessità, purché esprimibili in forma relazionale. La svolta si è avuta quando si è potuto rappresentare una grandezza analogica continua, infiniti valori temporali e infiniti valori di ampiezza, mediante un numero finito di valori temporali, "campionamento nel tempo", e mediante un numero finito di valori in ampiezza, "quantizzazione". Le grandezze analogiche, trasformate in una successione di numeri, poterono essere così trattate con calcolatrici numeriche già molto più veloci delle precedenti e che hanno sempre più incrementato la loro velocità di calcolo fino ai livelli attuali, assolutamente impensabili in una macchina analogica.

Abstract

In recent years, the interesting story of the birth of the first Italian digital electronic computer has been remembered. A story of scientific and industrial foresight that did not unfortunately receive the recognition it deserved. It nevertheless served to create

a School that constituted a reference point for researchers' and technicians' training in the field of IT-Information Technology. In this paper, we report the feelings felt by witnesses of the time when they faced the transformation introduced by the use, initially timid and then irrepressible, of electronic numerical calculation. Two aspects are highlighted: the engineering one essentially concerning the signal processing and the mathematical one relating to the use of the devices that were emerging. The digital computer, initially mechanical, then electronic, was used for arithmetic operations and subsequently for increasingly complex operations, but always of a numerical nature. The solution of mathematical equations, expressions of real problems, was entrusted to analog computers capable of directly operating on functional relations. The basic operations used adders and integrators; it was possible to solve quite complex problems if they could be expressed in a relational form. The turning point came when it was possible to represent a continuous analog quantity (infinite time values and infinite amplitude values) through a finite number of samples in the time, "sampling over time", and through a finite number of amplitude values, "quantization". The analog quantities, transformed into a succession of numbers, could thus be treated with digital computers that were already much faster. The calculation speed of these computers has quickly increased up to the current level, unthinkable in an analog device.

Introduzione

Quando si parla di calcolatori elettronici, è naturale, oggi, riferirsi ai calcolatori numerici. Il calcolo numerico ci è certamente più familiare perché sin da piccoli abbiamo imparato a sommare, sottrarre, moltiplicare e dividere numeri con macchine calcolatrici.

Accanto al calcolo numerico, sia pure per uso principalmente scientifico, c'è da considerare il calcolo analogico, che opera sulle relazioni funzionali tra grandezze. Per esempio, la soluzione di una equazione differenziale si può effettuare entro certi limiti mediante il calcolatore analogico di cui diremo nei paragrafi seguenti.

Tra la seconda metà degli anni Cinquanta e gli anni Sessanta del secolo scorso molto animata era la discussione sulle potenzialità dei due tipi di calcolo.

Con questo contributo vogliamo cercare di rivivere l'atmosfera di quegli anni e quindi il prevalere del calcolo numerico, ormai elettronico, che così profondamente ha inciso sulla nostra vita non solo scientifica.

L'umanità ha infatti, sempre, cercato aiuto in strumenti di calcolo per facilitare la vita propria e di relazione col prossimo. Lasciando da parte i lontanissimi ausili creati dagli antichi popoli, forse è nel XVII secolo che troviamo i precursori del calcolatore moderno.

La nostra storia, però, comincia solo alla fine degli anni Cinquanta del secolo scorso e ci piace citare Albert Jackson e la definizione che nel suo corposo libro *Analog Computation* (Jackson, 1960) fornisce delle due famiglie di computer, analogici

e numerici, all'epoca disponibili: «Ci sono due rami distinti della famiglia dei computer. Un ramo deriva dall'abaco, una estensione meccanica dell'idea di conteggio con le dita. I dispositivi che derivano dall'abaco usano *digits* per esprimere numeri. Sono chiamati *digital computers*. Questo ramo comprende le comuni macchine calcolatrici così come i giganteschi computer elettronici digitali. Il calcolo digitale è numerico o discreto; i.e., solo valori discreti, 0,1,2, etc. sono considerati e manipolati.

L'altro ramo della famiglia dei computer deriva dalla soluzione grafica dei problemi *straight-edge-and-compass* [N.d.R. "riga e compasso", ovvero problemi di geometria Euclidea] ottenuta dagli antichi geometri. Questi dispositivi utilizzano, per analogia, le relazioni esistenti tra le grandezze fisiche associate a un computer e le quantità associate al problema in esame; sono chiamati per questo computer analogici. Poiché le loro risposte sono ottenute dalla misura di alcune grandezze continue, come la lunghezza di una linea o il valore di una tensione, tali dispositivi sono detti anche computer continui».

I calcolatori elettronici, analogici e numerici, avevano, quindi, in quegli anni, pari dignità scientifica e applicativa; anzi, il mondo scientifico riteneva che il calcolatore analogico, per la sua proprietà intrinseca di operare direttamente sulle relazioni funzionali tra grandezze, potesse meglio risolvere le esigenze connesse ai problemi scientifici.

Per precisare questo concetto, vogliamo ricordare che nel 1960 fu attuata la prima grande riforma universitaria delle Facoltà di Ingegneria. Si passò infatti dalla Facoltà di Ingegneria articolata sui tre anni della Scuola di Applicazione, successivi al biennio propedeutico in comune con la Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali, a quella articolata su cinque anni. Il biennio venne finalizzato alle nuove esigenze differenziate; si passava dai due Corsi di laurea, civile con varie sottosezioni e industriale anch'esso con altre varie sottosezioni, fra cui quella elettrotecnica, a più Corsi di laurea distinti, fra i quali quello in Ingegneria elettronica, che recepiva le nuove istanze provenienti dal mondo scientifico, industriale e sociale. Ebbene, il Corso di laurea in Ingegneria elettronica avviato nel 1961 prevedeva nella maggior parte delle Università un indirizzo *Calcolatori*, articolato su due corsi di insegnamento, Macchine calcolatrici analogiche e Macchine calcolatrici numeriche.

Macchine calcolatrici analogiche

Lo scopo di queste note non è descrivere la struttura di una macchina calcolatrice elettronica analogica ma, piuttosto, mettere in evidenza la sua capacità peculiare di risolvere un problema matematico o fisico partendo da quelli che sono i suoi due componenti di base, il sommatore e l'integratore. Entrambi questi dispositivi utilizzano l'amplificatore operazionale, cioè un amplificatore ad altissimo guadagno e banda infinita. Il sommatore è un dispositivo che, date più grandezze in ingresso, fornisce, in uscita, la loro somma pesata secondo opportuni coefficienti, mentre l'integratore è un dispositivo che fornisce in uscita l'integrale della grandezza in

ingresso. La combinazione opportuna di questi due elementi consente di effettuare, tra grandezze analogiche, tutte le operazioni lineari, quali la somma, la differenza, il prodotto, l'integrale e la derivata. Non solo, ma è possibile generare e trattare anche funzioni non lineari utilizzando un elemento non lineare come il diodo.

Tutto ciò è quanto serviva e serve al mondo scientifico. Il limite di questo modo di operare era ed è nella velocità di calcolo, limitata dal largo impiego di condensatori e di induttori.

Vediamo di seguito alcuni semplici esempi utili a farci comprendere il modo di operare di una macchina calcolatrice analogica.

L'amplificatore operazionale

L'amplificatore operazionale, che si è detto essere il cuore di una macchina calcolatrice analogica, è un particolare dispositivo, realizzato dapprima con tubi a vuoto, quindi con transistori, oggi con circuiti integrati, le cui caratteristiche tendono ad avvicinarsi a quello ideale che presenta guadagno infinito, resistenza di ingresso infinita, resistenza di uscita zero e banda infinita. Evidentemente, si tratta di una astrazione fisica, ma si possono assegnare le sue caratteristiche anche a quello reale, semplificando la trattazione della risoluzione dei problemi, senza trascurare l'errore che si commette.

Questo amplificatore è un dispositivo particolarmente versatile; è possibile, infatti, modificare il circuito in ingresso e quello in reazione per ottenere, in uscita, grandezze legate a quelle di ingresso da opportune relazioni lineari o anche non lineari se si impiega, nel circuito di reazione, un componente non lineare.

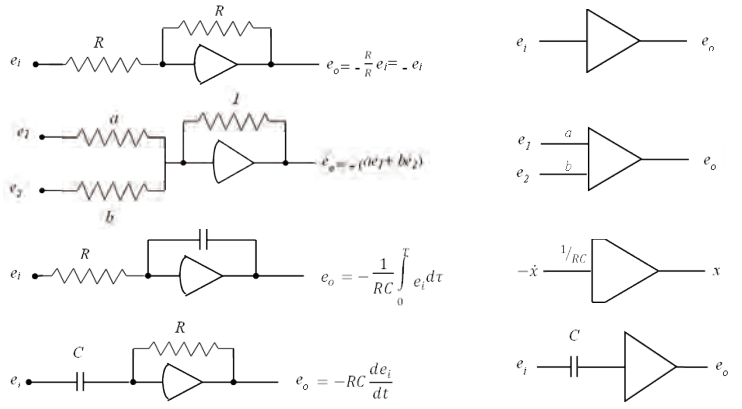


Fig. 1 - Schemi di alcuni operatori realizzati con l'utilizzo dell'amplificatore operazionale. Dall'alto verso il basso: invertitore, sommatore, integratore e differenziatore. Per ciascun operatore, a sinistra è rappresentato il circuito schematico, al centro è riportata la relazione ingresso-uscita e a destra il corrispondente circuito simbolico.

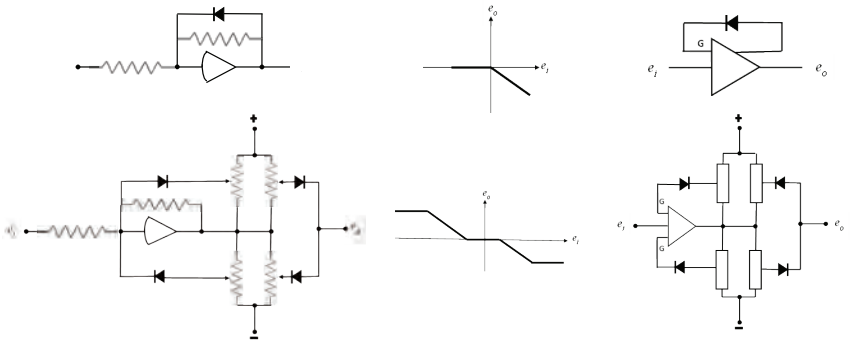


Fig. 2 - Schemi di alcuni operatori non lineari realizzati con l'impiego di un diodo. In alto è rappresentato un sistema più semplice, in basso uno più complesso. Per ciascun sistema, a sinistra è collocato il circuito schematico, al centro è riportata la rappresentazione grafica della relazione ingresso-uscita, detta caratteristica ingresso-uscita, e a destra il corrispondente circuito simbolico.

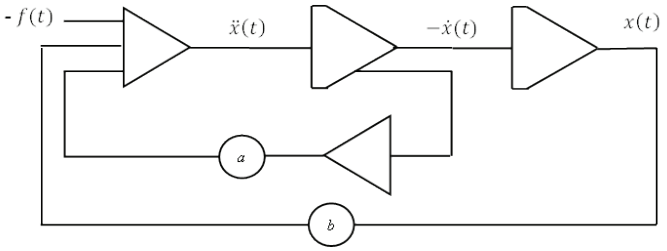


Fig. 3 - Schema per la soluzione di una equazione differenziale di secondo grado.

In Figura 1 sono rappresentati gli schemi di alcuni operatori lineari, in Figura 2 sono riportati gli schemi di due generatori di funzioni non lineari, realizzati ricorrendo all'impiego del diodo.

In Figura 3 è riportato lo schema di soluzione di una equazione differenziale:

Dalle grandezze analogiche alle grandezze numeriche

Come vedremo meglio nel seguito, anticipiamo che lo sviluppo dell'elettronica, già nel passaggio dai tubi a vuoto ai transistor, aveva fatto intravedere grandi possibilità di crescita nella velocità di calcolo per i calcolatori elettronici numerici; in pochi anni si era passati dalle parole numeriche a otto bit, a quelle a 16 bit, a 32 bit e via via a sequenze sempre più lunghe che significavano precisione maggiore, mentre lo sviluppo tecnologico, dai tubi a vuoto ai circuiti integrati, assicurava velocità crescenti.

L'utilizzazione di uno strumento potenzialmente così veloce si pose pertanto in maniera perentoria. Occorreva trasformare il segnale analogico in segnale numerico. La Teoria dei segnali venne in soccorso.

Negli anni Venti del secolo scorso, Harry Nyquist e Ralph Hartley si occuparono della trasmissione di informazioni attraverso un canale telegrafico, stabilendo che se il canale è caratterizzato da una banda B possono essere trasmessi 2B impulsi indipendenti (Nyquist, 1928). Negli anni Quaranta, Claude Shannon sviluppò il concetto di capacità di canale, basato in parte sulle idee di Nyquist e Hartley, e formulò una teoria completa sulla trasmissione dell'informazione (Shannon, 1949).

Oggi parliamo di Teorema del campionamento di Nyquist-Shannon**,** che stabilisce la minima frequenza, detta *Nyquist rate*, necessaria per campionare un segnale analogico senza perdere informazioni e poter quindi ricostruire il segnale analogico originario. In particolare, il teorema consente di definire il numero minimo di campioni temporali necessari nella conversione analogica-digitale per evitare perdita di informazione nella ricostruzione del segnale analogico originario, come anche nella riconversione digitale-analogica.

Dal campionamento nel tempo si passò quindi alla "quantizzazione" in ampiezza: ogni campione ottenuto dalla grandezza analogica, campionata, fu trasformato in quantità discreta rappresentabile mediante un numero che, per l'uso in un calcolatore, veniva espresso in codice binario, che utilizza, cioè, due soli simboli: 0, 1. Tale processo di trasformazione, schematizzato in Figura 4, consta delle seguenti fasi:

– dal segnale analogico, ovvero tempo-continuo, rappresentato dalla funzione del tempo $g(t)$, vengono estratti dei campioni con cadenza Δt;
– il nuovo segnale tempo-discreto, $g_c(t)$, viene quindi sottoposto a quantizzazione: l'intervallo di variazione delle ampiezze viene suddiviso in vari intervalli di ampiezza e a ogni campione del segnale viene attribuito il valore *vi* più prossimo al livello tra quelli prefissati;
– la successiva operazione di "codifica" associa a ogni livello fra quelli disponibili, cioè a ogni valore *vi*, una parola di un opportuno codice; generalmente, così come nella figura proposta, viene usato un codice di tipo binario;
– al temine della conversione si ottiene una sequenza di numeri, costituita dal susseguirsi delle diverse parole rappresentative delle ampiezze dei campioni estratti dal segnale analogico $g(t)$.

Con questa trasformazione si commetteva un errore noto, che poteva tuttavia essere ridotto aumentando il numero di bit di rappresentazione: parole di 16 bit, 32 bit, 64 bit e così via. Il segnale analogico veniva pertanto rappresentato da un numero finito, ancorché elevato, di campioni temporali aventi ampiezza rappresentabile mediante parole numeriche aventi un numero di bit legati alla precisione desiderata, compatibilmente con le possibilità tecnologiche disponibili al momento.

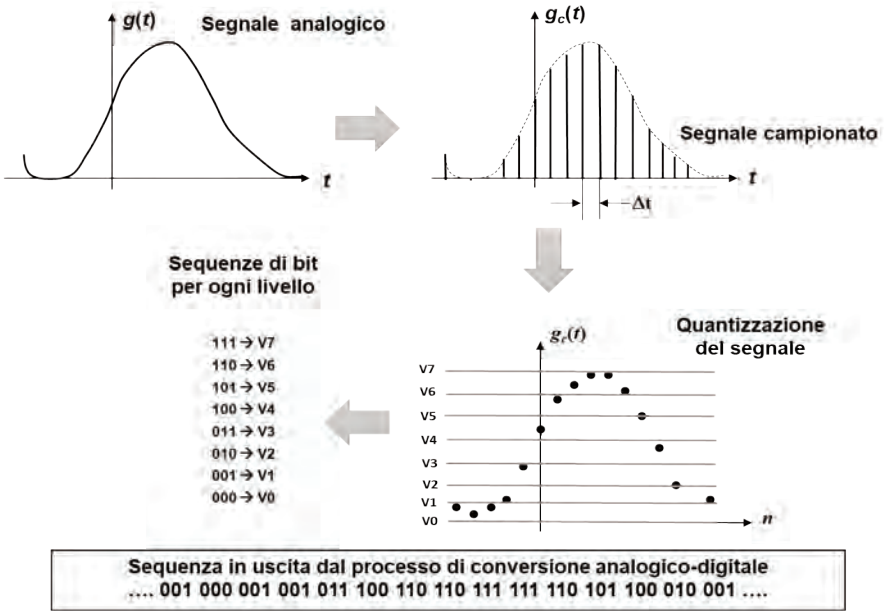


Fig. 4 - Schematizzazione della trasformazione di un segnale analogico in segnale digitale.

Il nuovo sistema di elaborazione prevedeva quindi un convertitore analogico-digitale, una elaborazione affidata alla macchina digitale e un convertitore digitale-analogico per presentare il risultato in forma analogica.

Macchine calcolatrici numeriche

Anche in questo caso non si vuole descrivere un calcolatore elettronico numerico, ma solo individuare il principio e gli elementi base per la sua realizzazione.

Il calcolatore elettronico numerico usa il sistema binario, cioè la numerazione è fatta su base due anziché dieci come siamo abituati quotidianamente a fare.

Si vuole che il sistema binario sia stato inventato da Gottfreid Leibniz all'inizio del Settecento e messo a punto, come Algebra binaria, da George Boole nella prima metà dell'Ottocento, da cui il nome di Algebra booleana.

Il sistema di conteggio binario è particolarmente utile nell'uso dell'elettronica per il calcolo, in quanto sono disponibili circuiti o anche singoli componenti che possono assumere due condizioni stabili e il passaggio dall'una all'altra condizione avviene in assoluta sicurezza.

Un sistema algebrico è tale se consente di fare tutte le operazioni algebriche quali somma, differenza, prodotto e così via. L'algebra binaria definisce, in termini binari,

tutte queste operazioni che possono essere trattate con semplici circuiti elettronici ed elaborati con velocità crescenti con lo sviluppo della tecnologia. Ed è quello che è successo col calcolatore numerico: si è passati in pochi anni a velocità di calcolo sempre più elevate e assolutamente impensabili fino a qualche decennio fa.

Elementi base di un calcolatore numerico

Il flusso di informazioni ha accesso al sistema di elaborazione attraverso l'ingresso. Nel caso di un calcolatore numerico gli insiemi di informazioni, per essere accessibili alla macchina, devono essere espressi in codice binario. La "unità di accesso" del calcolatore esamina le successive posizioni e trasmette le informazioni alla "memoria" del calcolatore, dalla quale le informazioni sono dirette agli altri organi, secondo quanto previsto dalle "istruzioni". I dati possono essere introdotti direttamente, sotto forma di impulsi, oppure mediante supporti di registrazione.

Una memoria consiste di un gran numero di dispositivi elementari. Un certo numero di posizioni binarie sufficiente a rappresentare una significativa quantità di informazione e contenente di solito alcuni caratteri o *bytes*, costituisce una "parola" del calcolatore. Ogni parola occupa una certa posizione numerata da cui viene prelevata secondo quanto previsto dalle istruzioni.

Se il problema da risolvere con il calcolatore implica un numero di istruzioni o di parole troppo elevato, solo parte delle informazioni vengono inserite nella "memoria principale" del calcolatore a ogni istante. La parte rimanente viene conservata in una "memoria secondaria".

La "unità centrale" di un calcolatore comprende una "sezione aritmetica" e una "sezione di controllo". Nella prima, come mostrato in Figura 5, le operazioni, eseguite in aritmetica binaria, sono elementari: somma, differenza, scorrimento, operazioni logiche come AND, OR, NOT. Le parole risultanti sono, a loro volta, conservate nella memoria. La "sezione di controllo", che agisce secondo le istruzioni provenienti, una alla volta, dalla memoria, gestisce tali operazioni.

Infine, i risultati delle operazioni, memorizzati, vengono comunicati all'esterno attraverso la "unità di uscita" verso un osservatore umano, un dispositivo di controllo, un archivio di dati, e così via.

La Calcolatrice Elettronica Pisana-CEP

Nella seconda metà degli anni Quaranta del secolo scorso furono avviate, in particolare negli USA e in Gran Bretagna, attività per la realizzazione di macchine calcolatrici numeriche automatiche realizzate con tubi elettronici: i calcolatori di prima generazione.

Solo a partire dal 1955 fu avviato lo sviluppo di calcolatori di seconda generazione che utilizzarono i nuovi dispositivi, i transistori a giunzione, e introdussero la tecnologia a nuclei magnetici per la memoria principale e quella a nastri magnetici

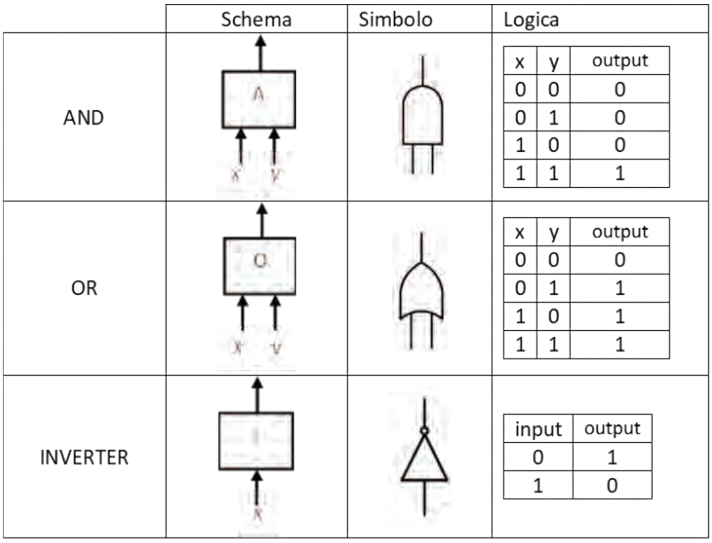


Fig. 5 - Alcuni operatori logici elementari: AND, OR, INVERTER, dall'alto in basso. In ingresso si hanno le tensioni x e y che, se a livello "alto", introducono nel circuito la cifra "1", se a livello "basso" simulano "0". Nell'ultima colonna sono riportate le corrispondenze fra ingressi/o e uscite.

per la memoria secondaria. Comparvero allora sul mercato i primi calcolatori numerici automatici e il primo a dotarsene in Italia fu il Politecnico di Milano. Si trattava di un CRC 102A prodotto dalla Computer Research Corporation e donato dal Governo degli Stati Uniti. Subito dopo fu acquistato dall'INAC-Istituto Nazionale per il Calcolo di Roma un calcolatore MARK 1 STAR prodotto in Gran Bretagna dalla Ferranti (Bodei, 2023).

In quei momenti si discuteva sulla semplicità dell'acquisto di macchine, in ogni caso costose, rispetto all'avventura di impostare un programma di costruzione di una macchina calcolatrice numerica.

L'Università di Pisa scelse la via di impostare un programma di costruzione di un calcolatore in forma autonoma, in collaborazione con un partner industriale, la Società Olivetti.

Molto vivace fu la discussione sull'utilità di tale scelta. Molto è stato scritto in questi anni e il Convegno tenuto a Pisa nel novembre 2011 sulla nascita della CEP lo chiarisce molto bene (Cignoni e Gadducci, 2013).

Si lavorò su due fronti: una macchina con finalità scientifica, sviluppata principalmente dall'Università di Pisa, e una con finalità più commerciali sviluppata dalla Società Olivetti. La collaborazione fu molto stretta e intensa e i risultati molto buoni.

Oggi, ma è il giudizio a posteriori, possiamo affermare che la scelta fu felice. È chiaro che sul piano industriale gli Stati Uniti, e non solo, erano più avanti, ma la CEP servì a formare una classe di ricercatori informatici estremamente validi. Non è un caso che il primo Corso di laurea in Scienza dell'informazione sia nato proprio presso l'Università di Pisa.

Nei primi mesi del 1955 fu costituito il CSCE-Centro Studi Calcolatrici Elettroniche per attuare il progetto definito da un Comitato tecnico *ad hoc*, che prevedeva la costruzione di un prototipo su scala ridotta e semplificato dello schema logico-funzionale, che fu denominato Macchina Ridotta. Gli obiettivi erano verificare la bontà dei criteri generali di progettazione e mettere a punto vari dettagli tecnici, in vista della realizzazione della CEP. La Macchina Ridotta fu completata nel primo trimestre del 1957 e già all'inizio del 1958 iniziò il suo utilizzo per il calcolo scientifico.

Gli incoraggianti risultati ottenuti con la Macchina Ridotta spinsero il CSCE a procedere alla realizzazione della CEP. Si pose il problema della tecnologia da adottare, quella cioè dei tubi a vuoto utilizzati nella Macchina Ridotta, cioè dei calcolatori di prima generazione, o passare direttamente alla tecnologia dei transistori, calcolatori di seconda generazione, che cominciava a essere adottata nei calcolatori in fase di progetto o di realizzazione negli USA e in Gran Bretagna. Si optò per la tecnologia a tubi a vuoto. Tale scelta fu giustificata dall'obiettivo di risparmiare tempo e denaro, due elementi certamente molto validi, ma non va trascurata la valutazione sulle prestazioni dei transistor del tempo. A quel momento il transistor era del tipo a giunzione, cioè un dispositivo a controllo di corrente e di difficile assemblaggio in numero elevato come quello richiesto da un calcolatore. Subito dopo verranno messi a punto i transistor a effetto di campo, i FET, e il panorama cambierà completamente.

Nell'ottica di risparmiare tempo e denaro va inserita l'iniziativa di verificare i programmi che venivano preparati per la CEP destinando risorse alla messa a punto di un "simulatore", cioè uno strumento SW-SoftWare che permetteva di verificare i programmi CEP sulla FINAC-Ferranti INAC, funzionante presso l'Istituto Nazionale per il Calcolo di Roma (Alfieri e Barsanti Calamia, 1961; Bohm e Barsanti Calamia, 1961). Al momento in cui la CEP fosse entrata in funzione, i relativi programmi sarebbero stati già verificati. I risultati furono eccellenti, così, quando nel 1961 la CEP fu inaugurata, alla presenza del Presidente della Repubblica, era già pronta a dare il suo contributo operativo alla risoluzione di problemi scientifici.

Tutti quanti parteciparono a quell'avventura, sentivano di fare qualcosa di straordinario. L'entusiasmo dominava l'ambiente. Si era fatto qualcosa di importante e anche se poi i risultati industriali non registrarono il successo che avrebbero meritato, era nata una Scuola nella quale si sarebbero formate molte generazioni di ricercatori.

Per fare riflettere su quanto è successo negli ultimi sessant'anni, nelle Tabelle 1 e 2 è riportato un confronto delle prestazioni fra varie macchine. Non ha senso confrontare le prestazioni della CEP con quelle del più piccolo computer attuale.

Tab. 1 - Principali caratteristiche della CEP confrontate con quelle di altre calcolatrici numeriche dell'epoca (Cignoni e Gadducci, 2013).

	CEP	ELEA 9003	MARK I STAR	CRC 102A
Lunghezza parola	36 bit	Variabile	20bit	42 bit
Memoria principale	Nuclei magnetici, 8000 parole	Nuclei magnetici, 20.000 caratteri	Tubi Williams 832 parole	Tamburo magnetico 1000 parole
Memoria secondaria	Tamburo magnetico 33k parole. Nastro magnetico 1536k parole	Tamburo magnetico 360.000 caratteri- Nastro magnetico 13000k caratteri	Tamburo magnetico 32k parole	Nastro magnetico 117k parole
Addizioni/sec	67000	5000	1041	100
Tecnologia	Tubi elettronici, diodi al germanio, transistori	Diodi al germanio, transistori	Tubi elettronici	Tubi elettronici, diodi al germanio.
Potenza elettrica	25 kW	4,5 kW	35 kW	20 kW
Esemplari costruiti	1	40	9	20

Tab. 2 - Caratteristiche della Macchina Ridotta confrontate con quelle della CEP (Cignoni e Gadducci, 2013).

Caratteristiche	Macchina ridotta	CEP
Lunghezza parola	18 bit	36 bit
Istruzioni	32 istruzioni	128 istruzioni; 128 pseudoistruzioni
Aritmetica	In virgola fissa	In virgola fissa e mobile
Memoria di lavoro	A nuclei magnetici; 1024 parole di 18 bit	A nuclei magnetici; 8192 parole di 36 bit
Memoria ausiliaria	Assente	Tamburo magnetico; nastri magnetici dopo 1962
Dispositivi di ingresso	Lettore nastro perforato	Lettore nastro perforato
Dispositivi di uscita	Telescrivente	Perforatori di nastro; stampante parallela
Velocità	70k addizioni/s; 500 moltiplicazioni/s	70k addizioni/s; 7k moltiplicazioni/s

Conclusioni

Quella qui raccontata è una storia del calcolo numerico elettronico. La storia raccontata da chi si è trovato testimone di eventi che in pochi decenni hanno completamente trasformato la società scientifica e quella civile.

Ripensare quegli eventi alla luce di riflessioni fatte con le conoscenze attuali è stato esaltante. Può sembrare facile, oggi, scorrere le immagini dei tanti avvenimenti scientifici e tecnologici che si sono succeduti in meno di settanta anni.

Negli anni Cinquanta del secolo scorso le macchine calcolatrici più accreditate erano quelle analogiche, più capaci di interpretare il modo di operare umano; le macchine calcolatrici numeriche erano utilizzate per operazioni numeriche; però la loro velocità di operare diventò sempre più elevata, in particolare con l'utilizzo di componenti elettronici, e questo aspetto fece rivedere molte convinzioni.

Per ampliare il loro utilizzo alla soluzione di problemi diversi dalle semplici operazioni numeriche, nei primi calcolatori numerici si adottò il "linguaggio macchina"; le istruzioni, per esempio, venivano immesse in codice binario.

Dalle macchine calcolatrici analogiche e dalle macchine calcolatrici numeriche si giunse alla loro sintesi utilizzando il teorema di campionamento e la quantizzazione, messi a disposizione dalla Teoria dei segnali.

Quando, negli anni Cinquanta del secolo scorso, anche in Italia si pose il problema di dotarsi di sistemi numerici di calcolo, l'Università di Pisa scelse la strada di impostare la costruzione di una nuova Macchina, la CEP-Calcolatrice Elettronica Pisana. Fu una scelta difficile, ma aveva le sue ragioni che abbiamo cercato di ricordare. Non si può non essere soddisfatti perché i risultati sono stati quanto mai positivi. La costruzione di una macchina calcolatrice elettronica numerica ebbe un significato più che sul piano industriale, le cui ricadute comunque ci sono state, sul piano della formazione e della creazione di una Scuola capace di educare molte generazioni di giovani alle nuove discipline.

Le recenti discussioni sull'Intelligenza Artificiale, non solo tecnologiche ma anche etiche, devono farci riflettere sulle conseguenze di quanto iniziato in quegli anni, lontani più che per il tempo trascorso, per il cammino scientifico e tecnologico percorso.

Bibliografia

Alfieri L., Barsanti Calamia L. 1961. La simulazione della CEP sulla FINAC. In: *Atti del VI Convegno – Mostra dell'Automazione e Strumentazione*. Milano.

Bodei C. 2023. *Le calcolatrici pisane. Il diritto di contare da Immagini femminili nell'arte pisana*. Pisa: Edizioni ETS.

Bohm C., Barsanti Calamia L. 1961. Ricerca di una misura di efficienza negli algoritmi grafici. In: *Atti Convegno Nazionale di Logica*. Torino.

Cignoni G.A., Gadducci F. 2013. La CEP prima della CEP: storia dell'informatica: divulgazione scientifica e didattica sperimentale. In: *Atti del convegno* «*La CEP prima della CEP*», Pisa, 11-12 novembre 2011. 1-155.

Gazzarri M. 2019. *I ragazzi che scalarono il futuro*. Pisa: Edizioni ETS

Jackson A.S. 1960. *Analog computation*. New York: McGraw-Hill.

Nyquist H. 1928. Certain topics in telegraph transmission theory. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 47(2), 617-644.

Shannon C.E. 1949. Communication in the presence of noise. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*. 3(1), 10-21.

Federica Castiglione, Francesca Bilotta, Brunella Canonaco

Le tecniche costruttive antisismiche "spontanee" attraverso i documenti d'archivio: il caso della città di Cosenza

"Spontaneous" anti-seismic building techniques through archival documents: the case of the city of Cosenza

Sommario

Il contributo proposto vuole ripercorre l'evoluzione dello sviluppo delle tecniche costruttive antisismiche definibili "spontanee" nella città di Cosenza in Calabria, più volte martoriata da eventi tellurici in ricorsi di distruzione e ricostruzione. Rilevando come l'influenza territoriale del contesto geografico e la tradizione costruttiva locale abbiano, tramandandosi nei secoli, condizionato le scelte strutturali e l'utilizzo delle tecnologie costruttive antiche, il contributo vuole delineare un'evoluzione diacronica delle tecniche antisismiche spontanee utilizzate nel centro storico della città calabra attraverso l'incrocio di dati derivanti dall'osservazione autoptica degli edifici con quanto riportato nei documenti d'archivio. Le fonti documentarie d'archivio e bibliografiche forniscono, infatti, dati e informazioni circa le modalità di prevenzione attuate e le tecnologie introdotte nelle fasi di ricostruzione a valle dei principali eventi sismici. Tale profilo storico-evolutivo viene messo in relazione con i terremoti che hanno afflitto la città nei secoli e con i Regolamenti storici emanati nel Regno delle Due Sicilie, con particolare riferimento a quello borbonico. Il saggio, inoltre, vuole sottolineare come l'utilizzo diversificato e successivo nel tempo di presidi antisismici quali cantonali, catene, muri a scarpa, case baraccate e telai di legno rappresenti un'evoluzione matura dell'ingegneria e delle tecniche antisismiche, evidenziando come l'esperienza e la cultura costruttiva orale di un tempo abbiano, in alcuni casi, superato la tecnica odierna. La conoscenza preliminare dei beni e la loro anamnesi storico-costruttiva, quindi, si rivela punto fondamentale per delineare un'evoluzione delle strategie e dei provvedimenti per la riduzione dei rischi ambientali nel tempo.

Abstract

This paper aims to trace the development of earthquake-resistant building techniques termed "spontaneous" in the city of Cosenza in Calabria, which has been repeatedly affected by seismic events leading to cycles of destruction and reconstruction. Not-

ing how the territorial influence of the geographical context and the local building tradition has, over the centuries, conditioned structural choices and ancient building technologies, the paper aims to outline, through the intersection of data derived from on-site observation of buildings and information reported in archival documents, a diachronic evolution of spontaneous anti-seismic techniques used in the historic centre of the sampled city. Indeed, archival and bibliographic sources will provide peculiarities and information regarding the prevention methods implemented and introduced in the reconstruction phases following major seismic events. This historical-evolutionary profile will, then be related to the earthquakes that have plagued the city over the centuries and to historical Regulations issued in the Kingdom of the Two Sicilies, with reference to the bourbon kingdom. The paper also aims to emphasize how the diversified and successive use over time of earthquake-resistant principals such as cantonments, chains, scarp walls, shanty houses, and wooden frames represents a mature evolution of earthquake-resistant engineering and techniques, highlighting how the experience and oral building culture of the past have, in some cases, surpassed modern techniques. Preliminary knowledge of assets and their historical-constructive history, therefore, proves to be a key point in outlining the evolution of strategies and measures for environmental risk reduction over time.

Introduzione

Il territorio italiano è stato, da sempre, interessato da eventi sismici di rilevante importanza che hanno apportato modifiche sostanziali alle città, al paesaggio, ai territori e alla società.

L'analisi degli eventi tellurici che nella storia hanno colpito un sito costituisce un indicatore in grado di fornire informazioni sui condizionamenti che l'evento può aver prodotto sulle tecniche costruttive locali, per esempio con l'emanazione di regolamenti edilizi con valenza antisismica o con l'evoluzione delle tecniche di rinforzo. Tale analisi rappresenta, quindi, un indispensabile riferimento per la comprensione di alcune caratteristiche del costruito. Se, in taluni casi, il livello di distruzione è tale da costituire semplicemente un punto di partenza per la nuova riedificazione, come per il disastroso terremoto di Messina del 1908, in altri casi sono sufficienti interventi di consolidamento e, più in generale, lo sviluppo, da parte delle maestranze locali, di accorgimenti costruttivi spontanei, finalizzati a migliorare la risposta alle azioni orizzontali dei manufatti, alla luce della rinata coscienza sulla sismicità del luogo. In tal senso si può evidenziare come, in una determinata area geografica, la cultura costruttiva antisismica sia influenzata dal livello di pericolosità tellurica e dalla ricorrenza dei terremoti oltre che da fattori di natura economica. In particolare, in aree ad alta sismicità, caratterizzate dalla possibilità di frequenti terremoti violenti e significativi, l'esperienza ha portato a mettere a punto soluzioni costruttive efficaci per la riduzione della vulnerabilità, che diventano parte integrante delle regole di esecuzione.

All’interno del processo di conoscenza del costruito antico, quindi, lo studio dei terremoti storici rappresenta una fase importante al fine di comprenderne meglio le stratificazioni e le logiche costruttive.

I terremoti nella storia di Cosenza

Una prima essenziale azione da compiere per la conoscenza della storia sismica di un luogo è, dunque, quella relativa alla ricerca dei documenti storici che attestino i terremoti avvenuti e l’anamnesi delle descrizioni dei danni che questi hanno provocato sul tessuto storico. I dati raccolti nei cataloghi sismici [1] e la lettura delle fonti documentali rappresentano un punto di partenza essenziale per comprendere i terremoti e i loro effetti. Attraverso tale anamnesi si perviene alla redazione di un puntuale dossier di note e dati sull’evoluzione del tessuto urbano e sulle successive stratificazioni, sui sistemi costruttivi, sulla qualità dei materiali utilizzati e sulle differenze tra questi, sulle tipologie strutturali, sullo stato di consistenza dei beni.

Un esempio emblematico nel sud dell’Italia può essere considerata la città di Cosenza, ripetutamente colpita, nei secoli, da eventi tellurici disastrosi che ne hanno condizionato l’assetto urbano e determinato l’evoluzione architettonica e costruttiva. Erta sul colle Pancrazio nella valle del Crati, precisamente alla confluenza dei fiumi Crati e Busento, la città è stata con frequenza interessata da terremoti d’intensità importante, tanto che i danni causati alle vite umane e all’edificato hanno nei secoli indotto la popolazione a ripensare alle aree di primo impianto.

Il primo terremoto di cui si ha memoria storica, se pur scarsamente documentato, è quello del 24 maggio del 1184, di magnitudo stimata 6.0 e intensità 9, con epicentro nella valle del Crati ad ovest di Luzzi. La città, che al tempo era posta sul vertice del colle Pancrazio, contratta nella rocca bruzia con la presenza del Castello e della Cattedrale, fu completamente rasa al suolo. La bibliografia riporta che furono fortemente colpiti la chiesa di San Pancrazio, completamente distrutta, il castello, il monastero dei Benedettini, il convento dei Riformati, il quartiere Motta, l’area di Capopiazza, la chiesa di San Michele Arcangelo, il convento di San Francesco d’Assisi (Andreotti, 1978, I, pp. 450-451). Cosenza, fortemente ferita dal terremoto, mutò profondamente: fu infatti ricostruita riedificando a mezzo colle i quartieri più antichi, costruendo a ridosso dei fiumi l’edificato di base e ponendo la Cattedrale, nel luogo dove oggi si vede, quale centro virtuale di una struttura piramidale.

Maggiormente documentato è, invece, l’altro evento disastroso che mutò la fisionomia della città, cioè la sequenza sismica di marzo 1638, di magnitudo stimata 7.0 e intensità tra le più elevate della storia sismica italiana: 8÷9 per la città di Cosenza, raggiunse 11 nelle località più prossime all’epicentro. Il terremoto fu devastante e dalle cronache storiche si legge che la città non scomparve «giovando che si trovasse nel basso dei fiumi, mentre se si fusse ritrovata nel castello dove era prima si saria rovinata tutta, come si rovinò cinquecento anni or sono con un altro tremendo terre-

moto dove morirono più di centinaja d'uomini» (Andreotti 1978, II, pp. 378-379). L'evento fu talmente devastante che, in un documento del 1642 si legge «La detta città per il terremoto è tutta conquassata, essendo cascati molti palazzi et il castello intieramente, come molte chiese e resi inhabitati monasteri di monache»[1].

Fonte inestimabile di informazioni è un documento rogato dal notaio Francesco Maria Scavello nel 1639, redatto per la stima dei danni provocati sulle strutture dal sisma: «palazzi case chiese et monasterij di questa Città che nelli passati terremoti delli ventisette di marzo et otto di giugno dell'anno passato 1638 patirono in questa Città […] tutte per detta causa parte si aprirono et parte si rovinarono […] perché il primo danno causato dallo terremoto delli 27 marzo si raddoppiò et fece molto maggiore co li due terremoti che seguirono appresso alli 8 di giugno»[2]. In un'altra fonte storica si legge che il terremoto stravolse il volto della città, la terra «tornò a tremar da un capo all'altro del Regno, e alle ore 22, giorno di sabato, Cosenza atterrita dal nuovo flagello, rovinata nelle case e nei migliori edifici, ritornava ad esser cacciata tra gli spaventi e le lagrime […] Il terribile fenomeno […] si ripeté per dieci volte in un solo giorno; poscia si riprodusse per tre anni interi. […] il Campanile della Cattedrale cadde, rovinò la torre maggiore del castello, e tutti i migliori edifici furono scossi, devastati e l'intera città rovinata» (Andreotti, 1978, II, p. 382). Le cronache, dunque, restituiscono uno scenario di danno diffuso e grave: perirono sia l'edilizia di base che i palazzi nobiliari e i conventi; molti furono i danni riportati nell'area del Castello e nei quartieri a ridosso, anche se questa volta ripercussioni si ebbero anche nella parte a valle della città.

Nell'*excursus* storico dei terremoti che hanno colpito la città di Cosenza si ricorda, poi, il terremoto del 5 febbraio del 1783, considerato la calamità più incisiva della storia della Calabria, stimato di magnitudo momento 6.9 con epicentro vicino ad Oppido Mamertina (RC). L'evento fu il primo di una vera e propria crisi sismica che coinvolse anche la città di Messina e che si replicò con altre due forti scosse, il 7 febbraio e il 28 marzo dello stesso anno, con epicentri differenti lungo la faglia interessata. Il sisma causò profondi mutamenti nell'orografia e nell'idrografia dell'intera regione: scrive Vivenzio (Vivenzio, 1783) che la terra si squarciò, le montagne si spaccarono, fiumi e torrenti deviarono il corso, sorsero laghi e vulcani di fango. Nonostante gli epicentri furono a grande distanza dalla città di Cosenza, la città comunque fu colpita, mutando fisionomia: il colle Pancrazio «smotta sia verso il Savuto che verso il Busento, lì cancellando i resti della città romana e qui seriamente compromettendo il tessuto urbano intorno al convento di San Francesco d'Assisi» (Martirano, 1988, p. 172). Secondo il catalogo storico dell'INGV, ventuno case risultarono pericolanti e alcune di esse vennero demolite, mentre altre dodici abitazioni subirono lesioni riparabili; riportarono danni anche gli edifici religiosi, come i monasteri di Donne di Costantinopoli e quello delle Vergini, e ancora quelli delle Cappuccinelle, dei Carmelitani, dei Riformati, degli Osservanti e del Terzo Ordine

di San Francesco; subirono danni le torri di avvistamento sparse nelle campagne. Si ricorda che, a seguito di tale evento sismico, si ebbe l’avvio di un sostanziale progresso delle conoscenze in campo sismico e delle tecniche antisismiche ma, soprattutto, si iniziò ad applicare un approccio scientifico, probabilmente favorito dalla rinnovata vitalità intellettuale e culturale illuministica. Il governo borbonico inviò sul posto il maresciallo di campo Francesco Pignatelli, delegato quale Vicario Generale delle due provincie delle Calabrie, che promosse un programma di ricostruzione interessante sotto molti punti di vista, riguardante sia la riorganizzazione urbanistica dei centri colpiti dal sisma, sia le modalità costruttive della riedificazione e riparazione, sia le modalità di finanziamento. Tali soluzioni confluirono, nel 1786, in un documento ufficiale: le Istruzioni per gli Ingegneri commissionati nella Calabria Ulteriore[3].

Dal 10 ottobre del 1835 al 1839 un’altra serie di eventi tellurici colpì la Valle del Crati e la città di Cosenza, ma sicuramente l’evento più significativo dell’Ottocento fu quello del 1854, con epicentro nei pressi di Donnici, magnitudo momento stimata 6.1 e intensità massima 9. Sant’Ippolito, Paterno e Rende andarono distrutti, mentre in città: «l’antico castello, le chiese del Carmine, di San Francesco d’Assisi, il Collegio dei R. P. Gesuiti di recente aperto ed abbellito, i Conventi de’ Mendicanti, la Cattedrale, il Seminario Diocesano, l’Episcopio, il Palazzo dei Tribunali, Santa Teresa, Caserma di Gendarmeria, il Palazzo d’Intendenza, l’Orfanotrofio e tutti gli altri edifizi, che lungo sarebbe enumerare, palazzi e case più solide di opulenti Cittadini venivano in tutte o in parte crollate ed abbattute»[4].

Dopo circa vent’anni, il 4 ottobre del 1870 si registrò un altro terremoto di magnitudo stimata 6.1 e con epicentro a Cellara, che ebbe ripercussioni anche nella valle del Savuto. I centri più colpiti furono Longobucco, Mangone, Aprigliano, Rossano, Lazzaro, Figline, Rovella, Castiglione e Rovito. La città di Cosenza, in particolare, subì considerevoli danni e gli elementi a forte rischio furono il castello, le coperture di moltissimi edifici e caddero i palazzi dei Barracco e dei Cosentini «solidi come castelli» (Conti, 1871). La Cattedrale subì danni nella navata sinistra e nel palazzo di Giustizia si distrussero le antiche volte.

Dal 1870 nel cosentino si registrarono sismi di intensità moderata che causarono lievi danni, tra i quali si ricordano quelli del 21 maggio del 1877, del 6 marzo del 1886, del 3 dicembre del 1877, del 22 giugno del 1902.

L’ultimo evento significativo che si vuole ricordare è quello dell’8 settembre 1905 di magnitudo 6.9, che ridestò il panico nella popolazione. Si registrarono lievi danni per la cittadinanza ma non per il tessuto urbano: si riscontrarono lesioni nella Caserma dei Carabinieri, crollò un muro del castello, riportarono danni il palazzo della Prefettura, la cappella del Rosario, la chiesa dello Spirito Santo, il palazzo Cosentino, l’Ospizio delle Vergini, l’Ospedale, l’Ospizio Umberto I (ex convento dei Cappuccini), la casa Falco a Portapiana, il Palazzo Spada, il Palazzo Grisolia

(Giannantonio, 1912, pp. 14-43). Da questa data in poi Cosenza fu soggetta a vari altri eventi sismici, di lieve entità, che causarono danni moderati.

Da questa rassegna si comprende bene che i dati estrapolati dalla lettura delle fonti permettono di definire il carattere del terremoto in relazione al costruito e di estrarre una serie di dati che afferiscono a differenti ambiti.

Presidi antisismici "spontanei" a Cosenza

Le calamità naturali, come detto, hanno nel tempo influenzato le tecnologie costruttive e architettoniche della città di Cosenza. Nel tessuto edilizio, infatti, si ritrovano spesso tracce di rimedi antisismici, alcuni noti sin dal medioevo, come i contrafforti a contrastare la spinta sismica, gli archi sopra strada o supportici che rendono solidale e collaborante il comportamento di più edifici limitrofi rispetto alle azioni orizzontali, le catene e i radiciamenti, si veda la Figura 1. Tali sistemi costruttivi, definibili spontanei, dettati da osservazioni dirette e da regole tramandate oralmente, mostrano una specificità locale, frutto di un progressivo affinamento nell'uso dei materiali disponibili in zona, e un'affidabilità dettata dal collaudo della storia, di cui la stessa esistenza della costruzione ci fornisce testimonianza. I terremoti, infatti, hanno sicuramente contribuito a perfezionare le tecniche costruttive con metodi empirici e con l'esperienza che, dall'antichità fino all'età moderna, hanno segnato le tappe fondamentali di un processo evolutivo delle costruzioni in muratura mai concluso, supportato dallo sviluppo tecnologico oltre che dall'intuizione e dal senso pratico che hanno guidato generazioni di mastri muratori.

Fig. 1 - Cosenza: archi sopra strada e contrafforti nei quartieri medievali di Santa Lucia e San Francesco d'Assisi.

Le fonti storiche e di archivio, in tal senso, forniscono ulteriori testimonianze significative non solo sui danni, come visto, ma anche sui sistemi costruttivi e i materiali utilizzati. Nell’atto rogato dal notaio Francesco Maria Scavello a seguito del terremoto del 1638[2] si evidenzia una caratteristica importante del centro storico di Cosenza relativa ai materiali da costruzione utilizzati: essendo tutte le fabbriche di detta Città fatte di pietra viva et molto pesante come comincia una a levarse dal suo loco tutte le altre poi vengono a rovinare così per il suo peso come per la mala lega che fanno con la calce». Gli edifici dell’antico centro presentano, infatti, tutti partiti murari costituiti da materiale povero, reperito nel letto dei fiumi, raramente inframmezzato da listature di mattoni per un migliore alloggiamento. Lo stesso documento fornisce anche note importanti circa le tecniche di rinforzo e di consolidamento messe in atto a seguito dell’evento, sottolineando l’erudizione della cultura sismica locale già a metà del Seicento: «incatinatura con travi et resarcimento di mura; far diversi spontoni seu pilieri; vi bisognano per resarcimento dui spontoni et dui archi; per resarcirle con travi incatenate et pileri di tufi; fare lo spontone dalla parte di fora; incatinare l’airi; ha bisogno di molte catene». L’anamnesi dell’atto notarile, quindi, mette in luce come fossero già conosciute e utilizzate diffusamente molte tecniche antisismiche: catene, radiciamenti, contrafforti facevano parte di un’erudizione frutto dell’esperienza e della tradizione. Si evidenzia, inoltre, come i mastri del tempo avessero capito l’importanza del ruolo delle masse capendo, finanche, l’importanza dell’utilizzo della pietra di tufo, la più pregiata e resistente conosciuta, per realizzare pilastri di rinforzo. Nel centro storico di Cosenza, infatti, il tufo di Mendicino, in realtà una calcarenite, era utilizzato come paramento nelle case “palaziate” e, anche, come mostrato in Figura 2, nei cantonali delle fabbriche al fine di assolvere alla funzione portante, irrigidire gli angoli e consentire un maggior collegamento fra i muri ortogonali. In una delle descrizioni più estese relativa agli interventi si legge, poi, «il palazzo di Filippo Molli è rovinato dalla parte di fora et ci vogliono una scarpa et spiconi et di dentro incatinato» evidenziando l’importanza di applicare rinforzi simultanei e, soprattutto, quella del comportamento scatolare degli edifici in muratura, garantito, nel centro storico, dall’impiego diffuso di catene, utilizzate con capochiave a paletto, a griglia o, in alcuni casi, con forme più articolate, in Figura 3.

Il confronto con altre realtà geografiche, poi, ha messo in evidenza come la conformazione del capochiave è da relazionarsi strettamente alla tecnica costruttiva diffusa per le murature: essendo in presenza di ciottoli di fiume e malta, disomogenei così come evidenziava il notaio Scavello già nel 1639, l’utilizzo di ritegni più larghi, che interessavano una porzione più ampia di superficie muraria, ne garantiva una maggiore funzionalità. Interessante è, infine, sottolineare che le tecniche descritte all’interno dell’atto notarile appaiono più diffuse nei quartieri a ridosso dei fiumi, dove la presenza di un terreno di fondazione poco stabile ha

Fig. 2 - Cosenza: alcuni cantonali del centro storico: soluzioni tecnologiche e decorative.

Fig. 3 - Cosenza: particolari soluzioni di catene nel centro storico.

evidentemente accentuato gli effetti del sisma, portando a numerosi fuori piombo e crolli. Ancora oggi, queste aree sono ricche di speroni e contrafforti, costruiti per lo più con pietra squadrata e possente. Uno di questi, in Figura 4, timidamente decorato con un piccolo fiore, conserva ancora incisa la data del restauro, il 1695, a testimonianza dei tempi passati.

Fig. 4 - Cosenza: un contrafforte nel quartiere Spirito Santo con incisa la data di edificazione.

Per quanto riguarda il terremoto del 1783, le Istruzioni del governo Borbonico precedentemente menzionate, prescrivevano la demolizione dei piani oltre il secondo: «solo nelle case che faranno fronte alle strade più ampie o alle piazze si permetterà che resti, oltre i detti due piani, un mezzano di 9 o 10 palmi di altezza», il rafforzamento mediante ampliamento della sezione muraria o con contrafforti, l’eliminazione di ogni aggetto e dei balconi e l’ancoraggio delle travi dei solai con appositi elementi metallici. Tutti rimedi, a ben vedere, già noti da più di un secolo e mezzo prima. Per i nuovi edifici, invece, veniva prescritta la tipologia baraccata, con intelaiatura lignea affogata nella muratura, volte al solo piano interrato, solaio ligneo e tetto con travature ancorate alle murature di appoggio.

Tali norme, che videro una maggiore applicazione nelle aree del reggino, trovano diffusione anche nella città di Cosenza in cui, in particolare, la tecnica dei muri baraccati fu applicata a lungo, così come testimoniato da una stima dei lavori datata 1854: «Intelajate tessite con listoni di legname castagno […] lasciando gli spazi tra gli stessi di palmi 5 in quadro […] compreso ammicciatura, chiodi ed i quadri col corrente agli angoli delle riquadrature […] fabbrica di mattoni da eseguirsi nei spazi del descritto armaggio di listoni per le intelajate»[5]. Non molti sono i casi noti; un esempio è stato evidenziato nei lavori di restauro di casa Falvo e maggiori studi andrebbero condotti. È sicuramente testimoniato, però, che il legno, quale materiale da costruzione delle pareti, era ampiamente adoperato anche per i tramezzi interni che, in favore di una maggiore leggerezza, venivano spesso realizzati con la tecnica dell’incannucciato inserito in una intelaiatura di legno, come visibile in Figura 5.

Fig. 5 - Cosenza: muro baraccato in casa Falvo, in alto a sinistra, e confronto col palazzo vescovile a Mileto (VV), in alto a destra; esempio di muro intelaiato con incannucciato, in basso.

Molte annotazioni inerenti ai materiali ed ai presidi antisismici utilizzati a valle di eventi sismici, infine, sono rintracciabili nelle perizie ottocentesche in cui si documenta spesso anche la messa in opera, da parte del mastro muratore, degli elementi lapidei, la composizione delle murature e le dimensioni, le pratiche costruttive.

Il susseguirsi degli eventi del 1835, 1839 e 1854, quest'ultimo, come visto, molto forte, hanno portato alla stesura di corposi incartamenti circa gli interventi di restauro e consolidamento degli edifici, favoriti dalla presenza dell'Intendenza e degli enti preposti quale, per esempio, il Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade.

Alla metà dell'Ottocento la consapevolezza tecnica e costruttiva oramai era ampia, anche nell'identificare i maggiori fattori di rischio del costruito. Nel palazzo dell'Intendenza «la considerevole altezza delle masse murali, il difetto di loro costruzione per esser costituite di pietre fluviali non dimazzate, l'eccedente peso delle armature dei tetti, alcune delle quali anche spingenti sulle mura esterne, sono state

le cagioni che i piani superiori dell’intero edifizio avessero più che ogni altra parte risentito l’effetto del moto ondulatorio della scossa; di modo che ebbero luogo si forti distacchi e strapiombi»[6].

La maestria dei tecnici del tempo si evince, poi, nella descrizione degli interventi resisi necessari. Nell’incartamento relativo alla ricostruzione del convento di Santa Teresa, infatti si legge: «Nell’interno poi ove è uopo la demolizione di volte gravemente lesionate, si praticheranno coperture con travi onde diminuire il peso e le spinte ai muri esterni, nonché nella considerazione che simile copertura di travi sono meno pericolose in caso di tremuoto […] ricostruzione dell’angolo orientale con fabbrica a mattoni portata a scarpa […] n° 300 pietre di tufo del luogo da porsi in opera negli angoli sporgenti delle soprannotate porzioni di fabbrica […] copertura della stanza verso l’angolo con 4 travi colle tenute […] occorre fermare con catene di ferro i muri esterni con spranghe rettangolari di dimensione palmi 0,25 per 0,06 in modo che nel muro verso l’ingresso occorrono n. 7 catene […]»[7].

Le consapevolezze tecniche, quindi, rimanevano immutate ma si evolvevano i materiali e le tecniche, così per la «lesione nella volta […] si è tolto il riempimento di calcinacci che esisteva nella sua ingusciatura […] quindi si è praticato un beverone di malta e dopo si è eseguito il tutto con la fabbrica dei mattoni»[8].

Conclusioni

Dalle procedure analitiche e dalla lettura esegetica delle fonti documentali si può giungere a una conoscenza documentata dell’ambito storico considerato, non solo in relazione agli effetti sismici e ai danni subiti da beni architettonici di interesse e da particolari aree urbane ma anche rispetto alle tecniche costruttive e ai materiali di rinforzo utilizzati.

Le fonti documentarie d’archivio e bibliografiche analizzate nel caso di studio qui esposto, infatti, hanno fornito peculiarità e informazioni circa le modalità di prevenzione attuate e le tecnologie introdotte nelle fasi di ricostruzione a valle dei principali eventi sismici che hanno afflitto la città di Cosenza. Tali dati, poi, hanno trovato effettivo riscontro in quanto ancora oggi diffusamente visibile all’interno del centro storico, a testimonianza degli eventi passati e del sapere maturato dai mastri muratori, pur sulla base dell’osservazione e di una cultura empirica.

L’utilizzo diversificato e successivo nel tempo di presidi antisismici quali cantonali, catene, muri a scarpa, muri baraccati e telai di legno rappresenta una evoluzione matura dell’ingegneria e delle tecniche antisismiche e l’esperienza e la cultura costruttiva orale di un tempo hanno, in alcuni casi, superato la tecnica odierna, soprattutto se si mettono a confronto le risorse modeste di un tempo.

La conoscenza preliminare dei beni e la loro anamnesi storico-costruttiva, quindi, si rivela punto fondamentale per delineare un’evoluzione delle strategie e dei provvedimenti per la riduzione dei rischi sismici nel tempo.

Bibliografia

Andreotti D. 1978. *Storia dei cosentini*. Cosenza: Pellegrini editore.

Canonaco B., Bilotta F., Castiglione F. 2015. Earthquakes and knowledge: comparison between two realities. In: *Diagnosis for the conservation and valorization of Cultural Heritage* (a cura di L. Campanella e C. Piccioli), 1-10. Roma: Aracne Editrice.

Castiglione F., Canonaco B. 2018. I terremoti nella storia: pratiche di ricostruzioni nell'Italia Meridionale. In: *La Città Altra. Storia e immagine della diversità urbana: luoghi e paesaggi dei privilegi e del benessere, dell'isolamento, del disagio, della multiculturalità* (a cura di F. Capano, M.I. Pascariello e M. Visone), 423-430. Napoli: fedOA Press.

Conti D. 1870. *Memoria e statistica sui terremoti della provincia di Cosenza nell'anno.* Cosenza: Edité par Tip. Municipale.

Giannantonio O. 1912. *La Città di Cosenza immune dai tristi effetti del terremoto.* Catanzaro: La piccola Tipografia della Provvidenza.

Martirano C. 1988. *Storia di Cosenza*. Cosenza: MIT.

Naccarato S. 1977. *Cosenza nel terremoto del 1638*. Cosenza: Satem.

Niglio O. 2009. La casa baraccata nella storia dell'architettura antisismica. L'esperienza calabrese dopo il terremoto del 1783. In: Parducci A., *L'evoluzione delle concezioni antisismiche fra inerzie e incomprensioni. Dalle case baraccate del periodo borbonico alle nuove tecniche dell'Isolamento Sismico*. Città di Castello: Quaderni di Ingegneria dell'Università degli Studi eCampus.

Vivenzio G. 1783. *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina del MDCCLXXXIII*. Napoli: Stamperia Regale.

Sitografia

[1] http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/

Note

[1] Firenze, Archivio di Stato, Mediceo, filza 3371, Relazione della città di Cosenza al granduca di Toscana per dissuaderlo dall'accettare i suoi redditi fiscali in assegnamento, 1642.

[2] Cosenza, Archivio di Stato, fondo notarile, notaio Francesco Maria Scavello, n. 243, c. 843-856, 1639.

[3] Napoli, Biblioteca Nazionale, MS66 sezione manoscritti e rari, 1786.

[4] Cosenza, Archivio di Stato, fondo notarile, notaio Carmine Mazzei, n. 785, 1854.

[5] Cosenza, Archivio di Stato, Corpo degli Ingegneri di ponti e strade, B. 41, F. 25g, 1854.

[6] Cosenza, Archivio di Stato, Corpo degli Ingegneri di ponti e strade, B. 55, F. 6, 1854.

[7] Cosenza, Archivio di Stato, Corpo degli Ingegneri di ponti e strade, B. 41, F. 25g, 1854.

[8] Cosenza, Archivio di Stato, Corpo degli Ingegneri di ponti e strade, B. 44, F. 26i, 1854.

Giorgio Frunzio, Luigi Massaro, Luciana Di Gennaro

Le capriate in legno della Reggia di Caserta

The wooden trusses of the Caserta Royal Palace

Sommario
Il legno è uno dei più antichi materiali da costruzione, utilizzato sia per la realizzazione di unità abitative di modesta entità sia per la realizzazione di alcuni elementi portanti di grandi opere monumentali. Il sistema di copertura della reggia di Caserta, in Campania, è un chiaro esempio di queste ultime. Un sistema molto complesso che copre una superficie di circa 27.000 m^2. La capriata è lo schema statico più ricorrente e le connessioni degli elementi lignei che la costituiscono sono realizzate tramite intagli ed elementi metallici. Nel tempo, le infiltrazioni piovane e le azioni fungine hanno fortemente danneggiato diversi elementi lignei di questa copertura. Gli elementi ammalorati sono stati sostituiti con altrettanti elementi in legno massello di eguale essenza, così come imposto dalle norme della Soprintendenza, e connesse alla struttura esistente attraverso elementi metallici. In passato, le connessioni delle strutture in legno venivano realizzate a secco, legno-legno, e il trasferimento degli sforzi avveniva solo tramite la superficie di contatto; il loro corretto funzionamento dipendeva principalmente della bravura degli artigiani. Oggi, la perfetta unione delle superfici di contatto è facilmente ottenibile grazie all'ausilio delle macchine a controllo numerico. Il lavoro si pone la duplice finalità di effettuare la modellazione e l'analisi di una capriata e di una connessione legno-legno di due o più elementi della capriata in funzione dei parametri di intaglio, anche ipotizzando la necessità di sostituire altri elementi lignei della copertura della reggia ma con connessioni a secco.

Abstract
Wood is one of the oldest building materials, used both for the construction of housing units of small size and for the construction of some of the main elements of significant monumental works. The roof system of the Royal Palace of Caserta, in Campania, is a clear example of the latter; a very complex system covering an area of about 27,000 square meters. The truss is the most recurring static pattern, and

notches and metal elements connect the wooden elements that constitute it. Over time, rainwater infiltrations and fungal actions have severely damaged several wooden elements of this roof. The damaged elements have been replaced with solid wood elements of equal essence and connected to the existing structure by metal elements. In the past, the only connections of the wooden structures were wood-wood connections, and the transfer of the stress happened only through the contact surface. Their correct functioning depended mainly on the skill of the artisans. Today, the perfect union of contact surfaces is easily achieved thanks to CNC machines. This work has a dual purpose: (i) carry out the modeling and analyze a truss of the Caserta Palace; (ii) design and analyze a wood-wood connection of two or more elements of the truss according to the notch parameters, starting from the need to replace wooden elements of the roof with wood-wood connections, without metal elements and glues.

Introduzione

La capriata in legno è uno schema strutturale usato da secoli. Si ritiene che la più antica sia la struttura portante del Monastero di Santa Caterina, ai piedi del Monte Sinai, costruita nel VI secolo d.C. (Ceraldi *et al*., 2002). Diversi autori (Lauffray, 1998; Valeriani, 2005) ritengono, invece, che l'uso di tale schema strutturale possa essere collocato al periodo tardo antico. A ogni modo, si individuano storicamente due macrocategorie di capriate (Rondelet, 1834; Serlio, 1600): aperta, con monaco e catena non collegati, e chiusa, con monaco e catena collegati. Partendo da questa macro-distinzione, (Valeriani, 2005) ha presentato una interessante indagine storica sulla diffusione di varianti di capriate aperte dalla tarda antichità al XIX secolo.

In Italia sono presenti innumerevoli esempi sia di capriate a nodo aperto che a nodo chiuso. In particolare, in Campania un esempio di capriata storica a nodo chiuso mostrata in Figura 1; si trova al Cimitero di Santa Maria del Popolo, detto il cimitero delle 366 fosse, progettato da Ferdinando Fuga nella seconda metà del '700 (Giordano, 2021) e situato a Napoli nel quartiere Poggioreale. Sempre in Campania, alla Reggia di Caserta, si trova un esempio di capriata a nodo aperto, riportata in Figura 2.

Molti autori del passato hanno investigato sul comportamento statico della capriata (di Giorgio Martini, 1500; Valeriani, 2005; Vasari, 1550) prediligendola in opere di grande valore culturale.

Le tipologie di Capriate nel Palazzo reale di Caserta

Il sistema di copertura del Palazzo è molto complesso e copre una superficie di circa 27.000 m^2. La capriata è lo schema statico più ricorrente. La scelta della tipologia di capriata era dettata sia dalle esigenze strutturali sia dalla destinazione d'uso degli ambienti reali sottostanti.

La pianta delle coperture, in Figura 3, nella sua armoniosa doppia simmetria, presenta complessità strutturali nei nodi di intersezione tra i corpi di fabbrica (Van-

Fig. 1 - Cimitero di Santa Maria del Popolo, detto "delle 366 fosse" a Napoli: capriata a nodo chiuso (foto di L. Massaro).

Fig. 2 - Palazzo Reale di Caserta: capriata a nodo aperto (foto di L. Massaro).

vitelli, 1756). Infatti, è costituito da ben centottanta capriate riconducibili a 5 tipi, identificati con le lettere A, B, C, D ed E (Barlozzini, 2005) e mostrati nelle immagini riportate nelle Figure 4 e 5.

Le tipologie di connessioni legno-legno nelle capriate del Palazzo reale di Caserta
Le centottanta capriate presenti nella copertura del Palazzo mostrano chiaramente il ruolo fondamentale delle connessioni tra gli elementi costituenti la singola capriata. In particolare, si individuano connessioni tra due o più elementi con l'ausilio di ele-

Fig. 3 - Palazzo Reale di Caserta: pianta della copertura (Barlozzini, 2005).

menti metallici, come nel caso della capriata di tipo A nelle Figure 4, 5 e 6, e alcune prive di questi ultimi, come quella di tipo E, sempre in Figura 4, che trasmettono le sollecitazioni solo attraverso le superfici di contatto.

Le capriate del Palazzo coprono ampie luci, con punte fino a 23 metri lineari, grazie alla composizione articolata degli elementi lignei opportunemente uniti. All'epoca della costruzione, durata circa cent'anni, gli intagli delle connesioni venivano realizzati *in situ*, garantendo un quasi perfetto contatto tra le superficie così come la simmetria degli elementi, laddove possibile. Oggi, gli attuali mezzi di analisi strutturale, congiunti alle moderne tecnologie del legno, quali il legno lamellare, porterebbero a soluzioni differenti.

Il Palazzo è ancora in pieno esercizio e soggetto a costante manutenzione, ma nonostante ciò, diverse capriate presentanto ammaloramenti. Dalle immagini in Figura 7 è evidente che i collegamenti metallici non sono più in esercizio e ciò anticipa il risultato del presente studio: la trasmissione delle sollecitazioni tra gli elementi della capriata avviene attraverso le superfici di contatto degli elementi lignei (Massaro *et al.*, 2023), mentre gli elementi metallici sono deputati principalmente a garantire una stabilità nel piano e a facilitare le operazioni di messa in opera. Gli elementi lignei ammalorati vengono sostituiti con analoghi sani di eguale specie legnosa, prevalentemente castagno e abete, e connessi alla struttura esistente con elementi metallici. In questo modo non si altera la natura della struttura iniziale e si valorizzano le risorse locali, infatti il legno di castagno è facilmente reperibile nel Italia Meridionale, più dell'abete.

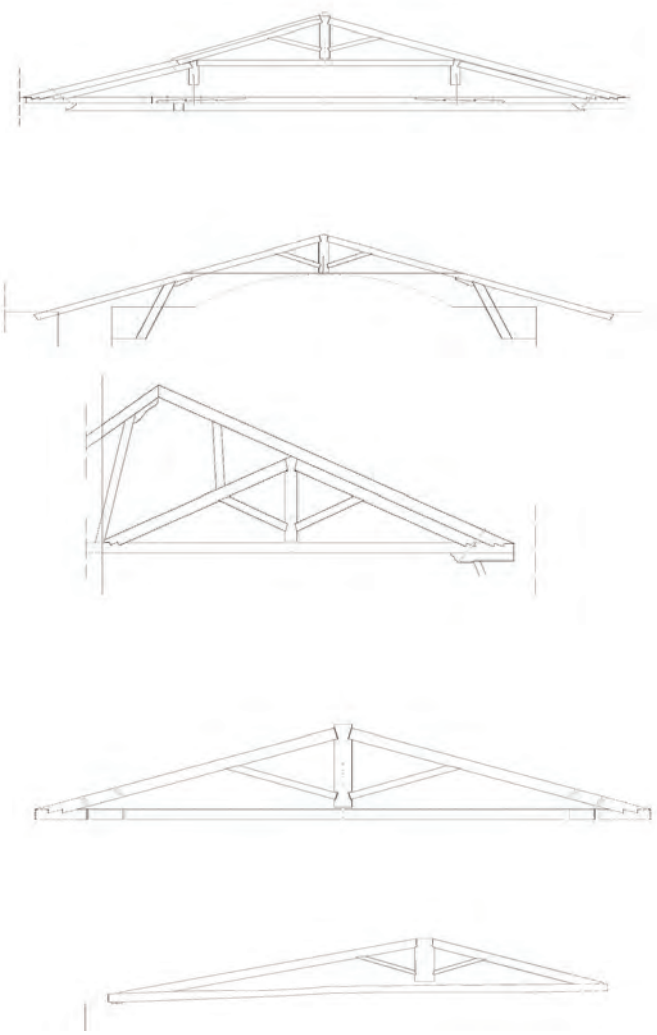


Fig. 4 - Palazzo Reale di Caserta: tipologie di capriata. Dall'alto: tipo A, palladiana semplice, 156 esemplari; tipo B, impiegata nello spazio compreso tra le falde del tetto e l'estradosso della volta a botte della cappella, 12 esemplari; tipo C, con struttura asimmetrica per assecondare le esigenze strutturali legate al Teatro della Corte, 9 esemplari; tipo D, classica caratterizzata da monaco, saettoni, puntoni e catena, 1 esemplare; tipo E, situata nel nodo nord-est della reggia, con nodi sono assemblati con incastri senza ritegni metallici, 2 esemplari (Barlozzini, 2005).

Fig. 5 - Palazzo Reale di Caserta: rappresentazione in scala 1:25 della capriata di tipo A, luce 23 x 6,5 m - Napoli (1993) a cura di "studio EMME" (foto di L. Massaro).

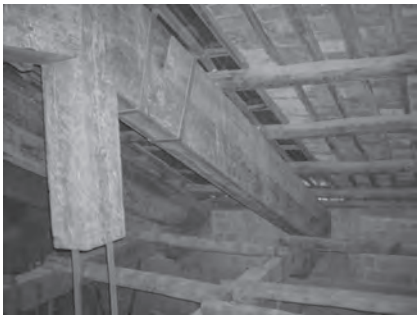


Fig. 6 - Palazzo Reale di Caserta: connessione monaco-puntone di una capriata tipo A (foto di L. Massaro).

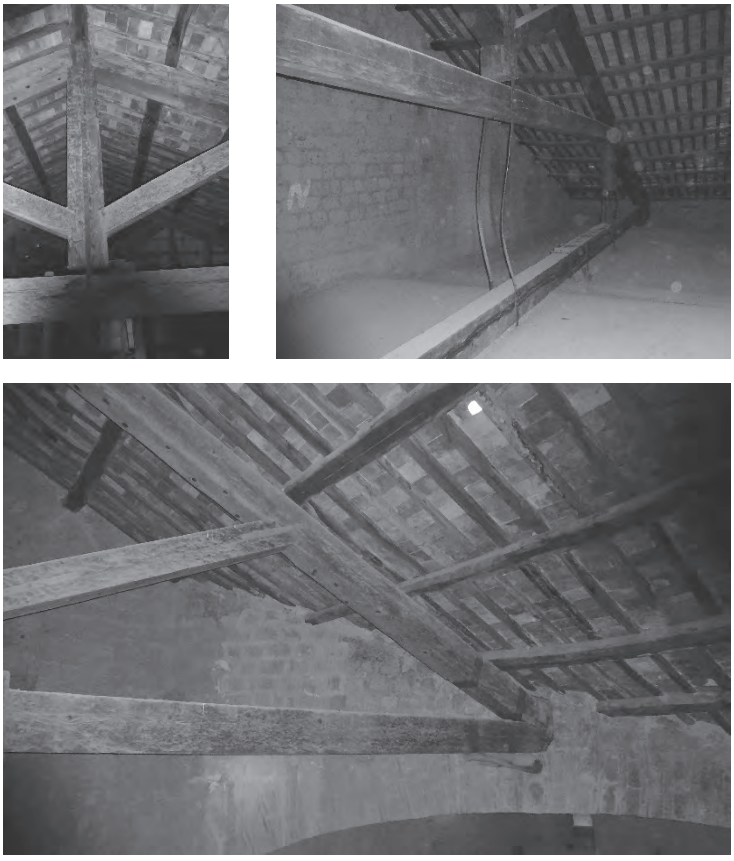


Fig. 7 - Palazzo Reale di Caserta: connessioni metalliche ammalorate (foto di L. Massaro).

Analisi e modellazione di una capriata della Reggia di Caserta

Nell'ipotesi di sostituzione di un elemento di una capriata connesso ad altri senza elementi metallici, le considerazioni sopra esposte hanno spinto gli Autori a eseguire la modellazione e l'analisi della capriata di tipo D in Figura 8, che rappresenta lo schema più utilizzato e più antico, tenendo conto dei parametri di intaglio nonché delle proprietà meccaniche del legno (Brunetti *et al*., 2013; Price, 1929). Si precisa che oggi, anche a seguito di successivi interventi, le sole capriate di tipo E non presentano ritegni metallici ma si può ipotizzare che originariamente anche altre avessero questa caratteristica.

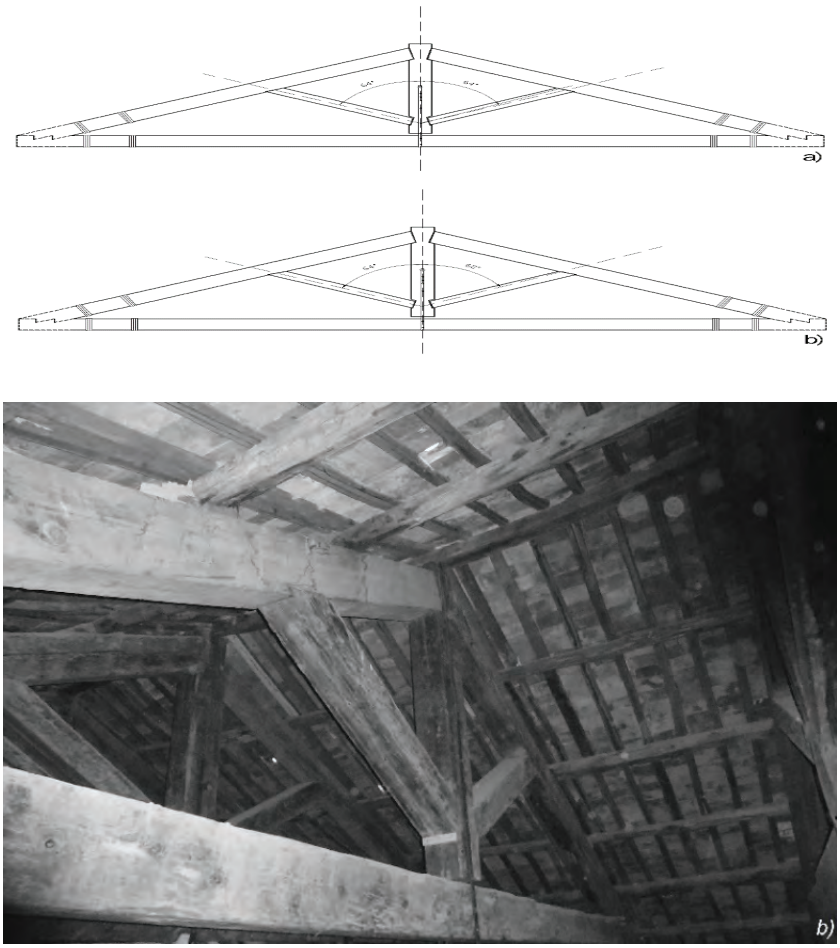


Fig. 8 - Palazzo Reale di Caserta: la capriata di tipo D analizzata. Rappresentazione in CAD, in alto, e rappresentazione fotografica, in basso (foto di L. Massaro).

Caratteristiche geometriche e azioni considerate

La lunghezza della catena è di 13,16 m, quella dei puntoni di 7,30 m; questi ultimi hanno entrambi sezione di 0,4 m · 0,3 m. Il monaco ha l'altezza pari a 2,48 m e la sezione di 0,38 m · 0,30 m. Le saette, invece, presentano lunghezza pari a 2,80 m e sezione di 0,3 m · 0,3 m. L'essenza legnosa è il castagno. Sono state considerate le caratteristiche meccanche di letteratura (Brunetti *et al*., 2013), sebbene sia opportuno conoscere quelle degli elementi esistenti, determinate prediligendo le prove non distruttive (Faggiano *et al*., 2011; Verre *et al*., 2023).

I carichi dinamici che si ritengono significativi per la potenziale attivazione di un meccanismo di collasso sono identificati solo nei carichi sismici, poiché il dimensionamento dei carichi del vento basato sulle NTC 2018 sezione 3.3 (MIT, 2018) porta ad azioni molto più basse e trascurabili. Il carico gravitazionale, il carico sismico orizzontale e il carico sismico verticale sono stati essenzialmente determinati sulla base delle NTC 2018 (MIT, 2018) e sono modellati come forze distribuite sopra i puntoni del tetto. Relativamente ai vincoli esterni, per semplicità di calcolo, sono stati considerati un'appoggio semplice a sinistra e una cerniera a destra.

Caratteristiche della sollecitazione

In Figura 9 sono mostrati solo alcuni dei diagrammi delle caratteristiche della sollecitazione: il diagramma dello sforzo e la deformata per effetto dei carichi gravitazionali. I risultati mostrano che le sollecitazioni possono trasferirsi tra gli elementi lignei della capriata per solo contatto legno-legno e che il ruolo principale degli elementi metallici, invece, è quello di garantire la stabilità nel piano e, come già detto, di facilitare le operazioni di messa in opera della capriata. Infatti, considerato il forte stato di degrado degli elementi metalli della capriata mostrata in Figura 7, si può ritenere che il loro contributo strutturale sia nullo, per cui quella capriata risulta perfettamente in esercizio in assenza di elementi metallici. Tale meccanismo era già noto a Vanvitelli, come dimostrato sia dallo suo pregresso studio sulle capriate (di Giorgio Martini, 1500; Vasari, 1550). sia dalla scelta di realizzare alcune capriate di tipo E, con nodo a incastro legno-legno.

Conclusioni

Oggi, il formalismo matematico, le forti potenze di calcolo nonché la possibilità di realizzare elementi strutturali con le macchine a controllo numerico permettono di determinare con precisione le sollecitazioni cui è soggetta una struttura e al contempo metterla in opera minimizzando sia l'errore produttivo che quello costruttivo. Con l'ausilio di questi strumenti, questo lavoro mostra come fossero in realtà avanzate le conoscenze tecniche di Vanvitelli, che trovavano le loro basi nella "statistica" esperienziale dei secoli precedenti. Infatti, lo stesso Vanvitelli previde nella sua opera iconica le connessioni legno-legno senza ritegni metallici, scegliendo opportunamente gli angoli di intaglio.

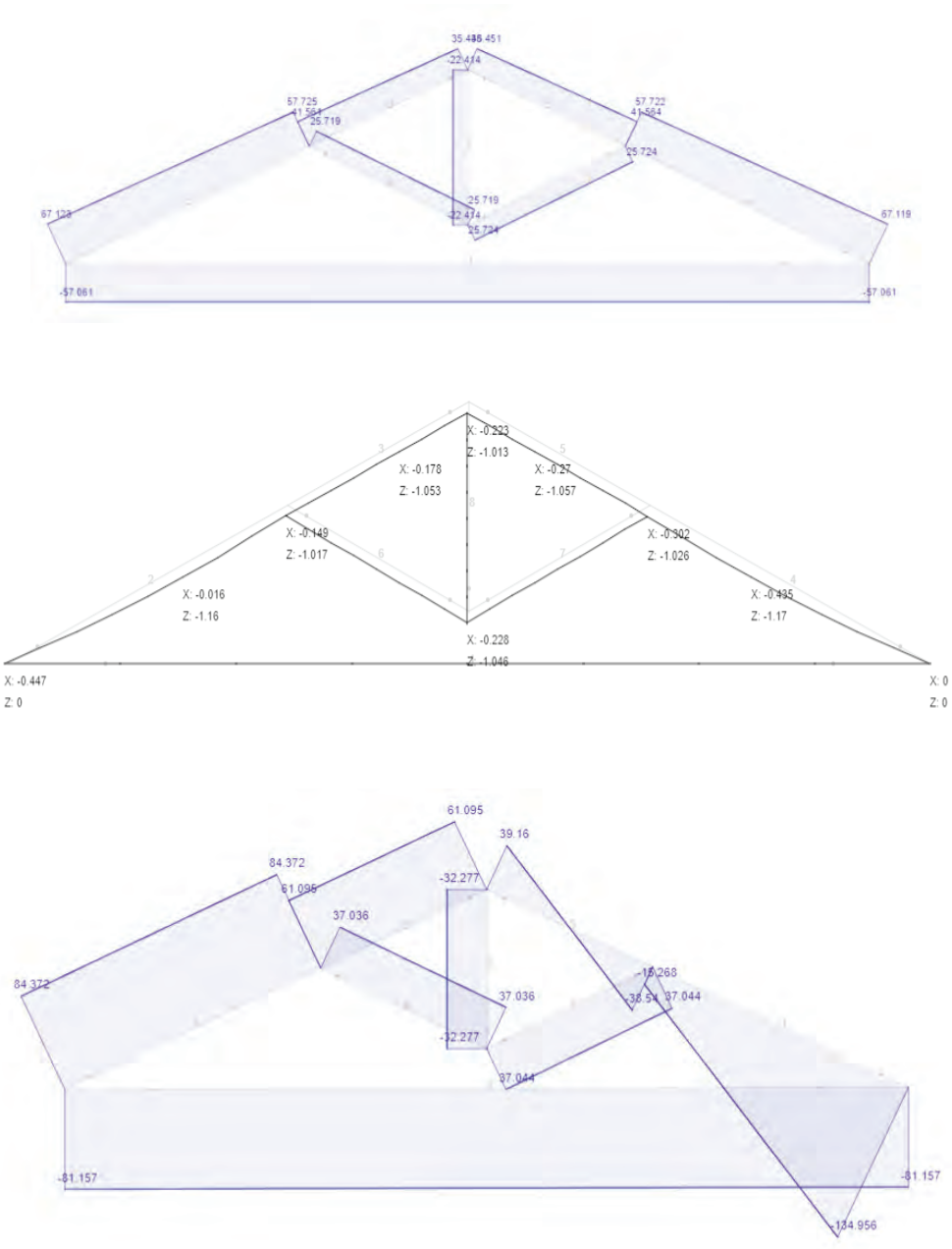


Fig. 9 - Palazzo Reale di Caserta: dall'alto: diagramma dello sforzo normale per effetto dei soli carichi gravitazionali, deformata dello sforzo normale per effetto dei soli carichi gravitazionali e diagramma dello sforzo normale per effetto del sisma da sinistra

Bibliografia

Barlozzini P. 2005. Il Piano delle Capriate. In: *Il Palazzo Reale di Caserta. Immagini e Rilievi* (a cura di C. Cundari). Roma: Edizioni Kappa.

Brunetti M., Nocetti M., Burato P. 2013. Strength Properties of Chestnut Structural Timber with Wane. Advanced Materials Research, 778, 377-384.

Ceraldi, C., Mormone, V., Russo E. 2022. Evoluzione della capriata lignea dalle origini al XIX sec. In: *Costruzioni Voltate in Muratura* (a cura di S. Di Pasquale), 183-197. Firenze: Libreria Alfani.

Faggiano B., Grippa M.R., Marzo A., Mazzolani, F.M. 2011. Experimental study for non-destructive mechanical evaluation of ancient chestnut timber. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 13-4, 103-112.

di Giorgio Martini F. 1500. *Trattati di architettura ingegneria e arte militare*. s.l.: s.e.

Giordano P. 2021. Il restauro e la riconfigurazione architettonica del Cimitero delle 366 Fosse e del Sepolcreto dei Colerici a Napoli. Festival Dell'Architettura Magazine, 57-58, 42-49.

Lauffray J. 1998. Contribution à l'Histoire de la Charpenterie - une représentation de ferme à poinçon suspendu en Syrie du nord au VI siècle. Syria. Archéologie, Art et Histoire, 75, 225-230.

Massaro L., Serpieri R., Frunzio G., Di Gennaro L. 2023. Timber carpentry without steel connectors. Engineering Structures, in press.

MIT. 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». Decreto 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale, Supplemento n. 42 del 20 febbraio 2018. Roma: Poligrafico dello Stato.

Price A.T. 1929. A mathematical discussion on the structure of wood in relation to its elastic properties. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, 228659-669, 1-62.

Rondelet J. 1834. *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare.* Tomo I. Mantova: Società Editrice.

Serlio S. 1584. *Il settimo libro di Sebastiano Serlio Bolognese*. s.l.: Appresso Francesco de' Franceschi Senese.

Valeriani S. 2005. Monaci, dardi e colonnelli: genesi e caratteristiche delle capriate italiane. In: *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (S. Huerta ed.), 1039-1049. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Vanvitelli L. 1756. *Dichiarazione dei disegni del Reale Palazzo di Caserta*. Napoli: Reale Stamperia.

Vasari G. 1550. *Le vite de' più eccellenti pittori, scultori e architettori*. Firenze: Giunti.

Verre S., Cauteruccio G.F., Fortunato G., Zappani A.A., Ombres L., Brunetti M., Nocetti M., Ruggieri N., Togni M., Marranzini D., Iovane G., Faggiano B. 2023. Assessment of mechanical properties for ancient timber through visual and ND methods. In: *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems.* 3920-3926. Boca Raton: CRC Press.

Stefano Chiarenza, Barbara Messina

Peter Nicholson e il metodo pratico-descrittivo per la costruzione degli archi obliqui nell'Inghilterra dell'Ottocento

Peter Nicholson and the Practical-Descriptive Method for the Construction of Oblique Arches in Nineteenth Century England

Sommario
Tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento, si assiste in Inghilterra a un fiorente sviluppo commerciale e manifatturiero che richiede, come necessaria conseguenza, l'ampliamento delle reti per il trasporto ferroviario. Ciò impone una attenta riflessione di ordine teorico-pratico destinata a segnare la storia dell'ingegneria inglese ed europea. Agli inizi dell'800 videro infatti la luce le prime ricerche moderne sulla costruzione di ponti obliqui in muratura, in cui calcolo e rappresentazione grafica evidenziano una efficace e inusuale ambivalenza. Partendo da tali considerazioni, questo contributo si sofferma sull'apporto teorico e pratico di Peter Nicholson, ingegnere, architetto e matematico scozzese. Nei suoi numerosi scritti sul tema, accanto a considerazioni di natura teorica, egli pose grande attenzione alla pratica costruttiva, verso la quale orientò buona parte del suo lavoro. In particolare, Nicholson ebbe il merito di descrivere, con metodo, il problema costruttivo dei ponti obliqui, realizzando a uso degli ingegneri e degli operai una serie di tavole grafiche, rivelatesi poi di grande efficacia. Ripercorrendo dunque le tavole esemplificative degli assunti teorici di Nicholson, gli autori mettono in evidenza l'utilità pratica del metodo descrittivo da lui proposto e il ruolo della rappresentazione grafica quale chiave risolutiva dei problemi di natura costruttiva, in grado di rendere in modo chiaro non solo questioni concettuali legate alla progettazione, ma soprattutto aspetti pratici a uso delle maestranze, quali ad esempio le modalità per il corretto taglio delle pietre.

Abstract
Throughout the late 18th and early 19th centuries, England experienced significant commercial and manufacturing growth, leading to the expansion of railway transportation networks. This expansion required a careful theoretical-practical reflection destined to leave a mark on the history of English and European engineering. In the early 1800s, the first modern research on the construction of oblique masonry bridges began, emphasizing effective and unusual ambivalence through calculation

and graphic representation. Building upon these considerations, the paper focuses on the theoretical and practical contribution of Peter Nicholson, a Scottish engineer, architect and mathematician. In his numerous writings on the subject, alongside theoretical considerations, he paid great attention to construction practice, towards which he oriented much of his work. In particular, Nicholson deserved credit for systematically describing the construction problem of oblique bridges, creating a series of graphic tables for use of engineers and workers, which later proved to be highly effective. Therefore, reviewing the illustrative tables of Nicholson's theoretical assumptions, the authors intend to highlight the practical utility of the descriptive method he proposed and the role of graphic representation as the key to solving problems of a construction nature. This method, they argue, makes clear not only conceptual issues related to design but above all practical aspects for use by construction workers, such as the correct cutting procedure for stones.

Introduzione

La rapida crescita di commercio e manifattura registrata nel Regno Unito tra fine Settecento e inizio Ottocento rese necessario, in breve tempo, lo sviluppo di nuove vie di comunicazione. Se in un primo momento la soluzione adottata fu l'ampliamento della rete di canali navigabili, ben presto, con l'evolversi delle tecniche e delle soluzioni progettuali messe a punto nel campo dell'ingegneria ferroviaria, si preferì realizzare nuove strutture viarie ferrate.

Ciò comportò l'evidente necessità di una attenta valutazione sul disegno dei tracciati a farsi, specie in corrispondenza di attraversamenti fluviali o di altri impedimenti naturali o antropici, per i quali diventava prioritario contemplare esigenze economiche e tecniche al tempo stesso. La necessità di ridurre i tempi di collegamento e i costi di costruzione, da un lato, e, ancor più, la velocità raggiunta dai nuovi convogli locomotori, dall'altro, mettevano di fatto in crisi la logica fino ad allora consolidata di adeguare il tracciato viario alle caratteristiche orografiche del territorio e imponevano la rinuncia a curvature di percorso funzionali ad attraversamenti ortogonali agli assi da oltrepassare (Dobson, 1865, pp. 26-27). Si cominciarono quindi a sperimentare soluzioni progettuali di ponti ad arco obliquo in muratura in grado di svincolare il disegno del tracciato da esigenze "geometriche" stringenti e contingenti.

In assoluto, non si trattò di una questione completamente inedita, se si considera che la trattatistica europea, soprattutto quella francese, aveva già iniziato ad affrontare la teoria degli archi obliqui e la relativa costruzione dalla metà circa del XVIII secolo. E in effetti, le prime sperimentazioni costruttive si erano avute già a partire dagli ultimi anni del Settecento[1]. Tuttavia, le nuove esigenze intercorse modificarono la scala dimensionale degli oggetti ai quali questi studi erano riferiti (De Paola e Minenna, 2009), rendendo quindi più complicato il disegno e la progettazione di siffatti ponti. La riflessione teorica sulla edificazione degli archi obliqui accomunò

dunque tutti gli operatori del settore delle costruzioni dell'epoca, dai matematici agli ingegneri, dagli architetti agli addetti al cantiere, con il fine di affrontare e risolvere problemi che si mostravano sempre più complessi. In particolare, nel Regno Unito si cominciò a ragionare sulla questione in maniera sistematica e con grande pragmatismo, cercando la giusta sintesi tra teoria ingegneristica e pratica operativa. Videro la luce, in questo periodo, le prime ricerche moderne sulla costruzione di ponti obliqui in muratura, in cui calcolo e rappresentazione grafica evidenziano una efficace e inusuale ambivalenza (Chiarenza, 2018).

La teoria degli archi obliqui nella trattatistica del Regno Unito

Volendo dunque ripercorrere, in un breve *excursus*, le tappe più significative della produzione teorica anglosassone in materia di ponti murari ad archi obliqui, il primo riferimento è rappresentato dalla "Rees Cyclopoedia" del 1819 (Rees, 1819). In essa alla voce "Oblique Arches", a cura dell'ingegnere William Chapman (1749-1832), viene delineata la logica progettuale di tali elementi. Il testo è accompagnato da disegni che, per quanto schematici, illustrano in maniera chiara ed efficace le problematiche, di natura teorica e pratica, inerenti alla realizzazione dei cosiddetti *skew bridges*, per i quali vengono descritte diverse soluzioni geometrico-costruttive, in Figura 1.

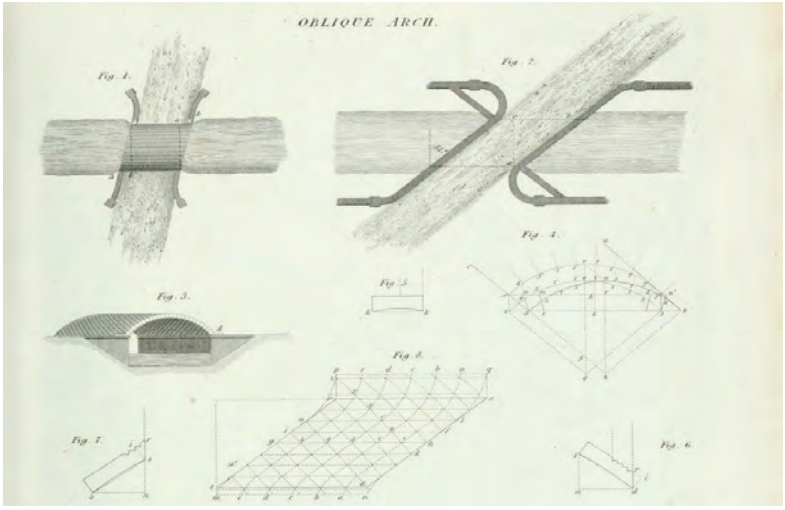


Fig. 1 - W. Chapman: soluzioni costruttive proposte per la realizzazione di ponti obliqui, pubblicati nella Rees Cyclopoedia, plates vol. 6, plate 39 (Rees, 1819-1820). *In alto a sinistra vengono rappresentate in pianta, nello stesso grafico, la soluzione con corsi paralleli alle spalle o con archi a queste perpendicolari, quest'ultima con linea a tratti. In basso invece lo schema geometrico della soluzione a sviluppo "elicoidale".*

La prima di esse, la più usuale secondo l'autore, consiste nel disporre i corsi di pietre o mattoni parallelamente alle spalle del ponte e all'asse del letto del fiume o di altra via da superare, ossia con una data inclinazione rispetto ai piani dei parapetti che delimitano la struttura e contengono gli archi di profilo; tale scelta determina quindi la necessità di smussare le estremità dei conci terminali per garantire i necessari allineamenti tra gli archi di profilo della volta obliqua e i margini della via soprastante in costruzione. Si tratta di una soluzione che, pur semplice in termini esecutivi, non garantisce una elevata stabilità alla struttura: soltanto una parte degli sforzi viene infatti in questo caso sostenuta dagli appoggi del ponte, mentre l'assorbimento di alcune forze è demandata alla malta interposta tra i conci[2].

La seconda soluzione costruttiva, proposta in alternativa alla prima per superarne alcuni limiti, prevede che l'arco sia perpendicolare alle spalle del ponte, mentre i parapetti corrono obliqui rispetto a queste ultime, in modo da seguire la linea della carreggiata. Tale scelta lascia evidentemente alle estremità della strada due "triangoli alternati" di fatto privi di un sostegno strutturale, conferendo inoltre alla struttura un aspetto poco gradevole. Per questo, come osservato da Chapman, si ricorre raramente a questa opzione costruttiva, preferendo piuttosto deviare l'asse stradale in modo da consentire un passaggio perpendicolare dell'attraversamento, spesso però a scapito della comodità e della sicurezza dei viaggiatori (Chapman, 1819, p. 275).

La terza soluzione porta infine a considerare la struttura voltata non come sequenza di archi affiancati, ma guardandola nella sua interezza spaziale. L'attenzione viene infatti concentrata sulla disposizione complessiva di conci e giunti, progettati per essere non più paralleli a se stessi, ma per svilupparsi progressivamente lungo la superficie cilindrica cui è assimilabile la volta. I giunti, dunque, vengono pensati come linee dall'andamento elicoidale, e le pietre che disegnano l'apparecchiatura muraria devono assecondare tale geometria, tanto in intradosso ed estradosso, quanto nelle altre facce. Ne consegue che ciascuna pietra che disegna l'apparecchiatura muraria del ponte deve essere "deformata" rispetto alla volumetria teorica di un parallelepipedo, ossia, come osservato da Chapman, «*the different sides of the same voissoir must form different angles of elevation or depression from the rectangle with its head*» (Chapman, 1819, p. 276).

Aspetto veramente innovativo di tale contributo è dunque la capacità di intendere per la prima volta gli archi obliqui come strutture tridimensionali: tale deduzione stimolerà l'interesse di numerosi studiosi e ingegneri che, a partire da questo momento, approfondiranno questa teoria.

Tralasciando per ora l'apporto fondamentale di Peter Nicholson[3] (1765-1844), grazie al quale di fatto si formalizza in maniera compiuta la trattazione dei ponti obliqui con tessitura elicoidale nel Regno Unito, un interessante approfondimento si avrà ad opera di Charles Fox (1810-1847), autore di un articolo pubblicato nel 1836 su una rivista britannica (Fox, 1836). In particolare, rielaborando quanto in-

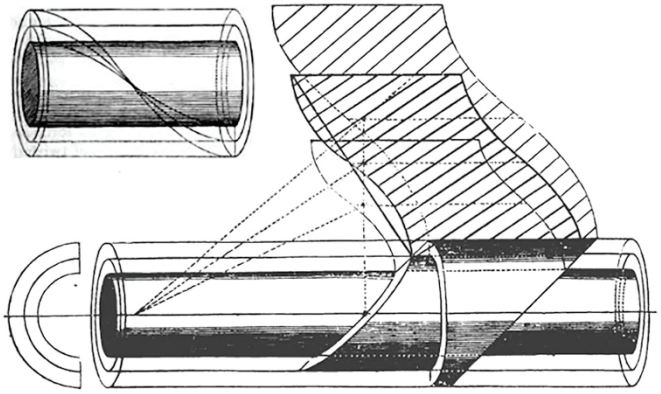


Fig. 2 - C. Fox: alcune immagini tratte dal suo studio sugli archi obliqui in cui viene esemplificata graficamente la geometria dei filari, anche con riferimento a strutture murarie a più "teste" (Fox, 1836, figg. 102, 107).

trodotto da Nicholson, Fox si sofferma sulla genesi geometrica delle superfici di intradosso ed estradosso dei conci che compongono la volta obliqua, correttamente interpretate e rappresentate come porzioni di due cilindri coassiali. Le considerazioni sviluppate, supportate da grafici semplici ma efficaci, come mostrato in Figura 2, permettono da un lato di pervenire a una descrizione più precisa della forma elicoidale dei singoli conci, di cui vengono conseguentemente individuati allineamenti specifici e di facile definizione, dall'altro di fornire gli strumenti operativi per disegnare superfici intermedie che, nel rispetto della geometria complessiva della volta, siano di aiuto per la progettazione e la realizzazione di strutture con spessori murari composti da più filari. Ciò consente un più semplice impiego di elementi unitari di dimensioni contenute, si pensi ai mattoni di laterizio, con evidenti vantaggi economici in fase esecutiva.

Un approccio più pratico sarà proposto nel 1836 da John Hart il cui trattato, piuttosto che come scritto scientifico, viene concepito dall'autore come manuale operativo: i disegni a corredo del testo devono infatti agevolare la comprensione delle strutture progettate e servire come guida per una corretta esecuzione dei ponti obliqui, nella convinzione che gran parte della efficacia e della bellezza di un progetto dipende dal fatto che gli operai conoscano i principi della costruzione su cui sono impegnati. Se dunque questo trattato aiuterà a trasmettere le intenzioni del disegnatore all'intelletto dell'operaio risponderà, secondo Hart, allo scopo che si è prefissato (Hart, 1836, Preface).

Di vedute completamente diverse è invece George Watson Buck (1789-1854) che nel 1839 pubblicherà un lavoro indirizzato non agli operai, le cui ridotte conoscenze teoriche appaiono all'autore poco adeguate a una trattazione completa dell'argomen-

to, ma a ingegneri e architetti chiamati in causa nei processi progettuali ed esecutivi. In tale ottica, Buck affronta i problemi legati alla costruzione dei ponti obliqui in termini sia geometrico-descrittivi che matematici, preferendo però formule trigonometriche a elaborati grafici esplicativi degli elementi costitutivi delle opere. A suo dire, infatti, le prime forniscono una soluzione più rapida e corretta rispetto ai disegni che sono soltanto un'approssimazione dei risultati da gestire poi in cantiere (Buck, 1839, Introduction, pp. IV-V). In concreto, però, il ricorso ai procedimenti matematici trova spazio prevalentemente per la soluzione di problemi puntuali, mentre per la descrizione di questioni più complesse l'autore ricorre alla proiezione grafica delle superfici e degli elementi descritti[4].

Parallelamente alla teoria delle volte oblique con apparecchiatura elicoidale, va affermandosi in quegli stessi anni, e sempre nel Regno Unito, un diverso sistema costruttivo che diverrà noto come modello logaritmico. Tale formulazione si deve al matematico scozzese Edward Sang che, alla ricerca di un metodo ortogonale "tecnicamente puro" propone, tra il 1835 e il 1836, un approccio in cui la posa dei conci in corsi possa avvenire secondo linee che corrono perpendicolari alle facce dell'arco a ogni quota. La considerazione alla base di tale trattazione è la necessità di preservare la stabilità della struttura, garantendo la perpendicolarità tra le linee di pressione dell'arco e le superfici cui le pressioni vengono trasmesse, al fine di ottenere una struttura più "equilibrata" e resistente. In termini geometrici questo si traduce nel proiettare i giunti dell'arco circolare obliquo su un piano orizzontale, generando una nuova curva, che Sang chiama «doppia logaritmica» (Sang, 1840).

Le intuizioni di Sang, formalizzate e sistematizzate solo nel 1840 (Sang, 1840) vengono messe in pratica per la prima volta dall'ingegnere Alexandre James Adie (1808-1879), che nel 1839 presenta alla *Institution of Civil Engineering* il progetto di un ponte corredato da grafici che propongono questa soluzione. A questa prima applicazione ne seguiranno molte altre, che travalicando i confini del mondo britannico, troveranno una teorizzazione nella trattatistica specialistica. In Figura 3 sono riportati alcuni esempi di grafici.

L'approccio di Peter Nicholson alla costruzione degli skew bridges

Nel panorama delineato, un ruolo particolarmente significativo è rivestito da Peter Nicholson che, nell'ambito della sua ampia produzione, affronta anche il problema della progettazione degli *skew bridges*.

Architetto, ingegnere, matematico, nonché docente e profondo conoscitore dell'arte della carpenteria, Nicholson pubblica a partire dal 1792 numerosi scritti e manuali indirizzati agli "addetti ai lavori"[5]. Filo conduttore della sua produzione è la capacità di proporre una serie di informazioni e di espedienti concreti utili per la soluzione di problemi di natura costruttiva. Contenuti difficili da rinvenire nella trattatistica dell'epoca e che si fondano, evidentemente, sulla profonda competenza

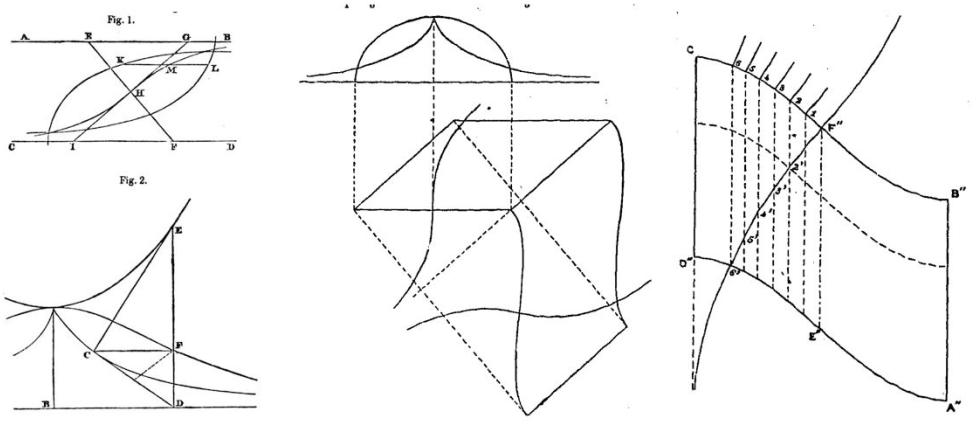


Fig. 3 - Grafici di studio della "doppia logaritmica" (Sang, 1840*), a sinistra; due immagini tratte da un trattato francese in cui è esplicito il ricorso alla costruzione della curva del matematico inglese nel disegno della tessitura ad "apparecchiatura ortogonale"* (Degrand e Résal, 1887)*, al centro e a destra.*

pratica guadagnata da Nicholson sul campo e consolidata, nel tempo, dalla costante esperienza di cantiere derivata dalla sua attività professionale.

Parallelamente, però, la personale riflessione teorica lo porta a sviluppare una serie di studi di carattere matematico-ingegneristico: in essi, le sue conoscenze analitiche, geometriche e trigonometriche lungi dal restare puramente speculative vengono messe al servizio di sperimentazioni concrete, esplicitando ancora una volta la capacità di tradurre il sapere teorico in esperienza applicativa[6].

Pensiero speculativo e rigore teorico, da un lato, capacità di sperimentazione e approccio pratico dall'altro, trovano una perfetta sintesi nel suo "A Popular and Practical Treatise on Masonry and Stone-cutting" (Nicholson, 1828), prima pubblicazione britannica sulle costruzioni in muratura e la stereotomia a essa connessa. In questo trattato Nicholson affronta, infatti, un tema che lega inevitabilmente considerazioni di tipo concettuale con esigenze di ordine pratico. Aspetti, questi ultimi, tipicamente interconnessi nel disegno e nella progettazione delle apparecchiature murarie, per le quali la rigorosa logica aggregativa dei conci, in composizioni modulari, deve tenere in considerazione al tempo stesso molte questioni, tra le quali particolarmente stringenti sono quelle relative al calcolo strutturale, quali stati di tensione, analisi e verifica di carichi, e agli aspetti costruttivi, ad esempio geometria dei conci, sfalsamento dei giunti, ammorsatura di cantoni e incroci murari. Consapevole della complessità dell'argomento, la cui piena comprensione richiederebbe una combinazione non comune di competenze e di saperi, l'autore dichiara di non voler produrre un'opera esaustiva sul tema. Il suo interesse è piuttosto rivolto a fornire un supporto pratico a

coloro che, a vario titolo, sono coinvolti in quella che lui stesso definirà "arte della muratura", illustrando casi reali e soluzioni esemplificative spesso non trattate nella manualistica francese[7], all'epoca già consolidata. A tale scopo introduce prioritariamente problemi di "geometria pratica", come da lui stesso definiti, rivisitati secondo un approccio grafico personale e declinati in maniera da agevolare la comprensione di questioni più complesse, proprie dell'arte muraria e della stereotomia. Nei primi capitoli, dunque, incentrati sulla geometria piana, le considerazioni generali sugli enti geometrici elementari sono finalizzate alla costruzione delle principali curve, prima, e al disegno di archi e volte, poi. Segue un approfondimento sulla geometria solida, in cui le riflessioni si spostano dagli iniziali ragionamenti sulle intersezioni tra rette e piani nello spazio a considerazioni spaziali più approfondite, per le quali inevitabili sono i richiami a principi geometrici proiettivi e descrittivi, necessari per introdurre le maestranze alla corretta esecuzione di forme anche complesse. Dedica quindi spazio alla definizione dei vari elementi della costruzione muraria fermandosi, con singolare originalità e metodo, sulle costruzioni degli archi obliqui per i quali appare essere il primo a enunciare in modo chiaro e comprensibile un metodo efficace per determinare la forma e la posizione dei conci necessarie per una solida costruzione, permettendone una precisa preparazione fuori opera. In particolare, definito lo sviluppo orizzontale del cilindro obliquo, il disegno dei giunti prescinde dalle sinusoidi, sviluppo degli archi, che ne individuano il contorno, in Figura 4 rispettivamente *MQ* e *NS*, relazionandosi piuttosto alle corde, ossia a segmenti di rette, comprese tra i punti che delimitano le sinusoidi stesse, in un caso *M*-*Q* e nell'altro *N*-*S*. Più precisamente i giunti sono rappresentati da una serie di normali alle corde appena tracciate, e corrispondono sul cilindro ad altrettante eliche parallele: ne consegue che i singoli conci dei filari della volta, a eccezione di quelli che formano le due corone frontali, sono tra loro tutti uguali e che le facce che li determinano sono assimilabili a porzioni di superfici elicoidali a piano direttore comprese tra quattro eliche, parallele a due a due, la cui proiezione orizzontale è un rettangolo.

Il ricorso a una simile tessitura muraria, di cui Nicholson comprende chiaramente la struttura compositiva, spiegata con grande efficacia grazie all'aiuto di grafici incisivi e utili a tradurre principi geometrici in costruzioni pratiche, presenta indubbi vantaggi, innanzitutto perché il disegno esecutivo risulta semplice e poi perché la messa in opera dei giunti, tutti con lo stesso andamento, richiede l'impiego di un unico supporto-guida, comportando minori costi, in termini di tempi e spese, e soprattutto una maggiore precisione nella realizzazione della struttura.

Sull'argomento Nicholson ritornerà approfonditamente qualche anno dopo, nel "The Guide to Railway Masonry Containing a Complete Treatise on the Oblique Arch", un trattato specifico sulle strutture ferroviarie in muratura (Nicholson, 1839). Dopo una introduzione storica sul tema, il testo è organizzato in tre parti: la prima affronta problemi di geometria euclidea e proiettiva, suddivisi in 11 sezioni; la se-

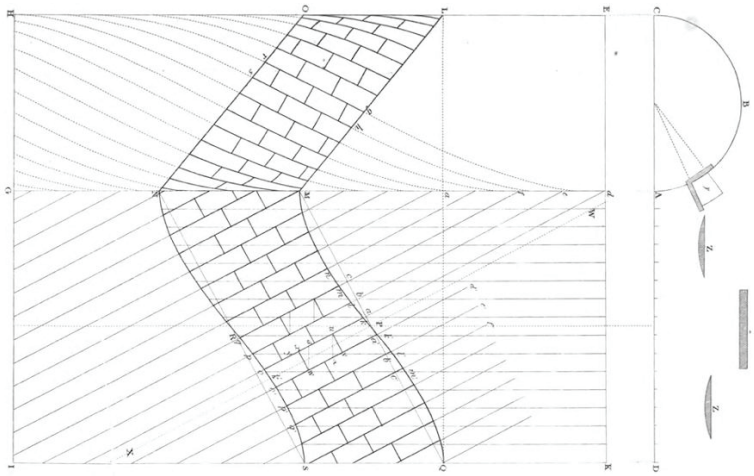


Fig. 4 - P. Nicholson: rappresentazione dello sviluppo e della definizione della tessitura elicoidale della superficie di intradosso di un ponte obliquo (Nicholson, 1828, ch. III, plate 17).

conda è specificamente dedicata agli archi obliqui con giunti elicoidali, ma con un taglio applicativo; la terza, ancora sugli archi obliqui, propone invece una trattazione matematico-analitica; conclude il volume un'appendice, in cui sono raccolti diversi articoli scientifici di interesse per la trattazione, pubblicati nel corso degli anni da Nicholson. Nel testo ritorna evidente l'approccio didascalico con cui il lettore viene guidato gradualmente, e per approfondimenti successivi, alla completa comprensione di ogni fase sottesa al processo costruttivo di forme complesse in muratura. Intento dichiarato già nella prefazione, in cui l'autore precisa che, essendo richiesta a tale scopo una certa conoscenza della geometria descrittiva, i problemi maggiormente ricorrenti nella pratica costruttiva verranno affrontati in maniera compiuta, ovvero sia in termini di calcoli matematici, che con costruzioni geometriche di tipo grafico, così da rendere non necessaria la consultazione di altri testi. Tuttavia, la struttura del libro prevede che le due trattazioni siano indipendenti e in sé concluse, in modo da consentire un approccio anche solo pratico, laddove l'approfondimento teorico non sia alla portata del lettore. Pur riconoscendo dunque l'utilità delle argomentazioni algebriche, che rendono rapida e agevole la soluzione di tutti i problemi inerenti agli archi obliqui, egli ritiene comunque che i soli grafici e diagrammi, di cui un esempio è riportato in Figura 5, ne possano guidare operativamente la costruzione. Appare ancora interessante sottolineare come Nicholson, ponendosi controcorrente rispetto agli autori dell'epoca, ritenga fondamentale ricorrere a definizioni e spiegazioni testuali che, ripercorrendo passo dopo passo le costruzioni illustrate, rendano più semplice la lettura dei grafici.

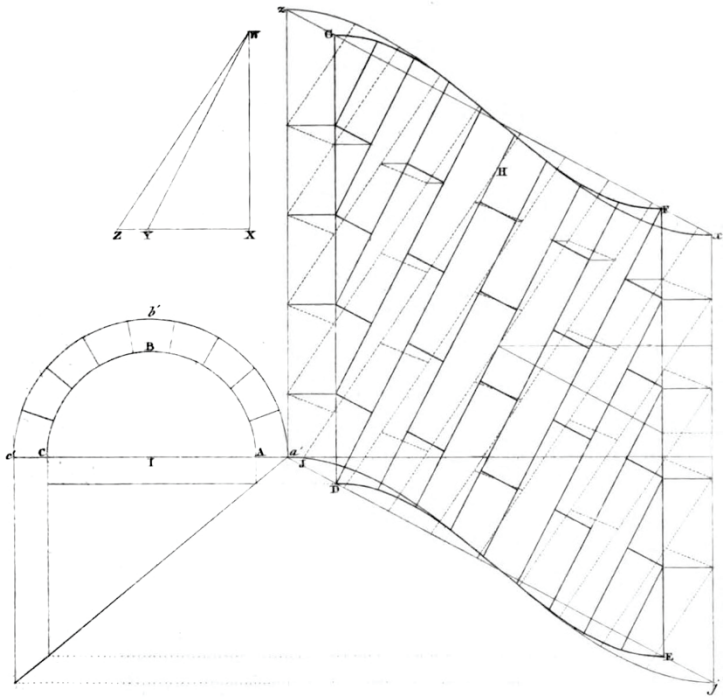


Fig. 5 - P. Nicholson: rappresentazione dei conci che compongono la tessitura muraria elicoidale di un ponte obliquo (Nicholson, 1839, plate 21).

Rispetto al suo precedente trattato, per la concreta esecuzione dell'arco obliquo Nicholson propone qui un processo inverso. Nel "Practical Treatise on Masonry and Stone-cutting" si riteneva, infatti, necessario realizzare prioritariamente la superficie cilindrica, per ottenere poi a partire da questa gli allettamenti elicoidali dei conci, che dovevano rispettare tale curvatura. Tuttavia, l'esperienza vissuta porterà evidenza di una maggiore propensione, da parte delle maestranze impegnate nell'esecuzione degli archi obliqui, a rettificare gli allettamenti dei singoli conci e, conseguentemente, a ricavare la superficie dei giunti dopo la messa in opera degli elementi che la compongono, di cui occorre calcolare l'angolo di torsione. Utilizzando conci parallelepipedi di piccole dimensioni, lo scarto che intercorre tra la superficie teorica e quella reale diventa trascurabile.

È infine importante sottolineare come lo stesso Nicholson, pur conscio di non aver ideato la teoria degli archi obliqui, sottolinei il suo ruolo esclusivo nell'aver inventato il metodo per produrre le sagome che consentono il taglio accurato delle pietre conci utilizzate in tutti i ponti obliqui costruiti tra gli anni 1828 e 1836.

Conclusioni

Il rapido *excursus* sulla trattazione della teoria degli archi obliqui nel mondo britannico, sviluppata tra fine Settecento e inizio Ottocento, evidenzia quanto importante sia stato il contributo di Peter Nicholson per la storia dell'ingegneria britannica, e non solo. A partire dalle sue considerazioni, ulteriori ricerche e studi significativi emergeranno nel corso del secolo, mostrando come egli abbia influenzato direttamente il panorama culturale del suo tempo e contribuito a definire nuove prospettive e soluzioni ingegneristiche.

Il suo approccio, teorico e pratico al tempo stesso, che, con grande sagacia, integra speculazioni colte con questioni applicative legate alle esigenze del cantiere, costituirà in ogni caso un modello senza precedenti, messo a servizio degli addetti ai lavori per la soluzione di problemi costruttivi complessi.

La sua riflessione scientifica, intrisa di sapere pratico trova un perfetto strumento comunicativo nel disegno che, in modo sintetico ma efficace, è in grado di descrivere e illustrare le soluzioni progettuali più adeguate e le metodologie costruttive da impiegarsi per la realizzazione dei ponti obliqui.

Bibliografia

Buck G.W. 1839. *A practical and Theoretical Essay on Oblique Bridges*. London: John Weale.

Chapman W. 1819. Oblique Arches. In: Rees A. 1819-1820. *The Cyclopoedia, or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature*, XXV, 275-278.

Chiarenza S. 2018. Representation and Construction of Skewed Masonry Arch Bridges in England Between 18th and 19th Century. In: Marcos C.L. 2018. *Graphic Imprints. The Influence of Representation and Ideation Tools in Architecture*, 451-464. Cham: Springer.

Degrand E., Résal J. 1887. *Encyclopédie des travaux publics. Ponts en maçonnerie*, 1. Parigi: Baudry.

De Paola S., Minenna V. 2009. Oblique vaults. In: *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*, Cottbus 20th-24th May 2009, 53-458. Berlin: Neonplus1.

Dobson E. 1856. *A rudimentary Treatise on Masonry & Stonecutting*. 2nd ed. London: John Weale.

Fox C. 1836. On the Construction of Skew Arches. Architectural Magazine, III, 251-260.

Hart J. 1836. *A Practical Treatise on the Construction of Oblique Arches*. London: Longman & Weale.

Nicholson P. 1792. *The Carpenter's New Guide.* London: I. & J. Taylor.

Nicholson P. 1795-1809. *The Principles of Architecture*. London: J. Barfield.

Nicholson P. 1812-1819. *An architectural dictionary: containing a correct nomenclature and derivation of the terms of art with a full display of their technical meaning and application, as used by architects, builders, and workmen*. London: J. Barfield.

Nicholson P. 1817. *An Introduction to the Method of Increments*. London: Davis & Dickson.

Nicholson P. 1820. *Essay on Involution and Evolution: particularly applied to the Operation of Extracting the Roots of Equations and Numbers*. London: Davis & Dickson.

Nicholson P. 1821. *Analytical and Arithmetical Essays*. London: Davis & Dickson.

Nicholson P. 1828. *A Popular and Practical Treatise on Masonry and Stone-cutting*. London: Thomas Hurst, Edward Chance & Co.
Nicholson P. 1839. *The Guide to Railway Masonry: Comprising a Complete Treatise on the Oblique Arch, in Three Parts*. London: John Weale.
Rees A. 1819-1820. *The Cyclopoedia, or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature*. London: Longman, Hurst, Rees, Horme, & Brown.
Sang E. 1840. Essay on the construction of Oblique arches. The Civil Engineer and Architect's Journal, Scientific and Railway Gazette, III, 232-236.

Note

[1] Nel Regno Unito, per rimanere nell'ambito oggetto di studio, i più significativi esempi settecenteschi di strutture ad arco obliquo sono il ponte di William Chapman, sul *Kildar Canal* presso la città di Naas in Irlanda, con inclinazione di 39°, del 1787; il *March Barn bridge* progettato da William Jessop nel 1797 per l'attraversamento del *Rochdale Canal*, presso Castleton in Inghilterra; l'arco obliquo disegnato da Benjamin Outram, *sull'Ashton Canal* a Manchester, per la costruzione di un acquedotto, con inclinazione di 45°. Esempi, tutti, di dimensioni abbastanza contenute che fungono da sperimentazione e apripista nella costruzione delle più significative strutture ottocentesche.

[2] Proprio in virtù di questi motivi Chapman suggerisce di impiegare tale soluzione quando l'inclinazione dell'arco obliquo non superi i 15°.

[3] Sull'argomento Peter Nicholson pubblica nel 1828 un primo trattato incentrato sulla stereotomia delle strutture in muratura, comprese quelle oblique (Nicholson, 1828), e nel 1839 uno studio specifico ed esaustivo sugli *skew bridges* (Nicholson, 1839).

[4] Il lavoro di Buck, non semplice nella trattazione, sarà ripreso nel 1845 da un suo allievo, William Henry Barlow (1812-1902); l'apporto di quest'ultimo consisterà in una integrazione del testo mediante l'inserimento di un diagramma grazie al quale poter ricavare, in maniera semplice e diretta, le principali informazioni metriche per l'esecuzione dei ponti obliqui.

[5] Tra i vari scritti, per citare solo quelli più rilevanti, si ricordano (Nicholson, 1792; Nicholson, 1795-1809; Nicholson, 1812-1819).

[6] Al di là di testi matematici puramente teorici, quali (Nicholson, 1817; Nicholson, 1820; Nicholson, 1821), Peter Nicholson tra gli anni '20 e '30 dell'Ottocento pubblica alcuni saggi che trovano nella geometria e nella trigonometria la base per applicazioni concrete nel campo delle costruzioni. Interessante è ad esempio il ricorso a formule derivate dal triedro agli angoli delle piramidi, ai solidi regolari e ai tetti.

[7] A tale riguardo, nella Prefazione del trattato, Nicholson ribadisce che, per la maggior parte, gli esempi descritti nelle pubblicazioni francesi sono tali che l'operaio inglese non li incontrerebbe mai nel corso della sua pratica (Nicholson, 1828, p. vi).

Luca Guardigli, Davide Prati

Teoria e prassi. Per una storia degli errori nell'ingegneria delle costruzioni

Theory and practice. For a history of errors in construction engineering

Sommario
L'errore, inteso come fatto riconosciuto che comporta una disfunzionalità non attesa di un prodotto della costruzione, normalmente costituisce un esempio paradigmatico per evitare errori successivi e migliorare lo standard di progettazione. L'articolo analizza alcuni casi di studio nel campo della storia della costruzione ed evidenzia i modi in cui gli ingegneri, intervenendo nella manutenzione straordinaria di fabbriche antiche, abbiano riconosciuto i difetti e interpretato i potenziali errori originari. Si vuole operare una riflessione sul cambiamento della concezione dell'opera "a regola d'arte" nel corso del tempo, da un approccio alla costruzione per tentativo ed errore, a un approccio sempre più legato alla verifica di progetto o di processo. In termini filosofici l'approccio positivista all'errore fa rientrare quest'ultimo in una logica di contenimento delle probabilità di accadimento nel campo delle conoscenze acquisite. Nella valutazione delle costruzioni esistenti le lacune della conoscenza devono, invece, essere considerate come epistemiche, cioè gli errori sono dovuti esclusivamente alla nostra incapacità di ottenere le informazioni necessarie, di gestire gli errori umani o di applicare i metodi di conoscenza corretti. Il contributo si fonda su alcune recenti ricerche svolte su strutture lignee seicentesche e settecentesche a grande luce in area emiliana.

Abstract
Error, intended as a fact involving an unanticipated malfunction of a construction product, typically provides a paradigmatic example for avoiding future errors and improving design standards. This article analyzes a few case studies in the field of construction history and highlights how engineers have identified defects and interpreted potential errors while working on the extraordinary maintenance of old buildings. It aims to reflect on the shift in the very conception of the "workmanlike" construction over time, from an approach to construction by trial and error towards an approach increasingly linked to design or process verification. In philosophical terms, the positiv-

ist approach to error brings it within a logic of containing the probability of occurrence in the field of acquired knowledge. In the evaluation of existing constructions, knowledge gaps must, instead, be treated as epistemic, i.e., errors are due merely to our inability to gain the necessary information, handle human error, or apply the correct knowledge methods. This contribution is based on some recent research carried out on 17th- and 18th-century large-span timber structures in the Emilia-Romagna area.

Introduzione

Sebbene la nostra sia un'epoca di alta tecnologia, l'essenza di ciò che è l'ingegneria e di ciò che gli ingegneri fanno non è di dominio comune. Persino i principi più elementari su cui si costruiscono grandi ponti, jumbo jet o super computer sono concetti estranei a molti. Questo accade in parte perché l'ingegneria come impresa umana è ancora scarsamente integrata nella nostra cultura e nella nostra tradizione intellettuale. Le idee dell'ingegneria sono in realtà indissolubilmente connesse alla nostra natura ed esperienza quotidiana. La comprensione e l'apprezzamento del ruolo degli ingegneri e dell'ingegneria possono essere ottenuti anche senza una formazione ingegneristica o tecnica. Attualmente però, l'opinione pubblica si focalizza negativamente sugli ingegneri e sul loro operato soprattutto in occasione di accadimenti catastrofici, che non sempre sono evitabili, contrariamente al convincimento diffuso. La riflessione su crolli e disastri è stata, da sempre, il più efficace motore del progresso e del superamento dei limiti della conoscenza in campo tecnologico e scientifico. Tragico e paradigmatico è il caso del viadotto Polcevera, che ha suscitato grandissimo clamore nel momento del crollo, con il risultato di mettere subito in discussione la competenza e la capacità del suo progettista Riccardo Morandi. Un'analisi più attenta e ponderata ha poi portato alla reale comprensione delle cause del disastro, da imputare, secondo le perizie giurate dei tecnici, alla mancanza e all'inadeguatezza dei controlli (Arena *et al.*, 2020).

Interpretazione degli errori nella storia delle costruzioni

Il concetto di errore è antico. L'etimologia della parola latina *error* conferma, fin dalla radice greca *ερρειν*, il significato di errare, vagare conservato in quasi tutte le lingue occidentali, cioè quello, di sbagliare. L'errore, definito come una deviazione imprevista dal corretto funzionamento di una costruzione riscontrata a valle della sua concezione, ha sempre stimolato il progresso e prevenuto gli errori successivi. I costruttori hanno sempre dovuto lottare con questioni di conoscenza e ignoranza e i problemi intellettuali della progettazione non erano meno complessi in passato di quanto lo siano oggi. Anzi, si potrebbe affermare che in un ambiente con una minore comprensione analitica e un minore potenziale computazionale la sfida intellettuale della progettazione fosse allora più grande di oggi. Alcuni dei noti costruttori del passato hanno lasciato non solo gli artefatti che hanno ideato, ma anche una traccia

intellettuale di come li hanno progettati e costruiti. Analizzando il passato si evidenzia la "causa delle cose", che viene prima della Norma, la quale non è che un compromesso tra saperi pratici, interessi privati e interessi pubblici. Quale che sia il criterio adottato nel progettare, gli ingegneri sono sempre stati guidati dalla teoria e dalla prassi, che devono far parte a pari titolo degli strumenti progettuali (Gulli, 2000). La storia dell'ingegneria, o delle costruzioni, non si occupa solo degli oggetti, ma soprattutto delle teorie e delle pratiche, dove il termine costruzione è inteso non solo come esito, ma anche come processo, in cui obiettivi e le finalità del lavoro risiedono proprio nell'acquisizione di maggiore consapevolezza (Poretti, 2008). Nel suo trattato, pubblicato postumo nel 1767, il matematico, filosofo e critico del manierismo architettonico T. Gallaccini cercava di sistematizzare la conoscenza dei fallimenti nelle costruzioni e indicava già con spirito scientifico come «gli errori si commettono o prima di fabbricare o nel fabbricare o si scuoprono dopo che si è fabbricato» (Maderna, 2000). I primi «sono i più importanti che possano accadere in qualunque ragion di fabbrica per cagione de' grandissimi pericoli che ne succedono: si perché vengono da mancamento di providenza, la quale è la prima regola che conduce a buon fine ogni pratica operazione […]» (Gallaccini, 1767). La "providenza" è evidentemente intesa come arte del saper prevedere e provvedere con saggezza e avvedutezza. L'approccio positivista dell'ingegnere, a partire da Galileo fino alla sua affermazione a metà del XIX secolo, ha fondato le proprie radici sulla fiducia nel progresso scientifico-tecnologico, ottenuto mediante la ricerca che parte dall'osservazione di fenomeni empirici. Il concetto di errore è divenuto quindi centrale nella pratica dell'ingegneria, poiché la progettazione ingegneristica degli ultimi secoli ha avuto da sempre come primo e principale obiettivo la sua scientifica eliminazione. Il che non vuol dire pensare di poter evitare ogni evento nefasto, ma di evitarne l'accadimento per cause derivanti da errori nel processo di ideazione o costruzione. I colossali disastri che si sono verificati nella storia delle costruzioni sono soprattutto fallimenti della progettazione. Invero, le lezioni apprese da questi disastri hanno fatto progredire le conoscenze ingegneristiche più di tutte le opere realizzate con successo. Per capire cos'è l'ingegneria e cosa fanno gli ingegneri bisogna avere chiaro che i fallimenti possono verificarsi e che possono contribuire più dei successi al progresso della tecnologia (Petroski, 1994). Le analisi che si sono concentrate solo sul successo delle opere realizzate hanno forse perduto alcuni aspetti fondamentali del processo di progettazione, che contenevano elementi di debolezza o di crisi potenziale. Per contro, ogniqualvolta i progettisti hanno cercato di riflettere criticamente sul processo di progettazione, hanno potuto riconoscere il ruolo importante che il fallimento svolge in esso, spesso in chiave proattiva. Costruzioni dichiarate di successo durante decenni di servizio senza problemi e poi improvvisamente crollate hanno fatto scoprire che difetti di progettazione erano presenti da sempre. Si possono citare come paradigmatici gli esempi dell'Hyatt Regency Hotel di Kansas City (Marshall

et al., 1982), le cui passerelle sopraelevate crollarono rovinosamente nel 1981, o il Tacoma Narrow Bridge (Billah e Scanlan, 1991), crollato per effetto della risonanza del vento nel 1940. Tali errori sono stati messi in risalto in letteratura in quanto macroscopici e con effetti eclatanti. In realtà, nelle opere di ingegneria gli errori sono molto frequenti e spesso non comportano grosse disfunzioni, perlomeno non così grandi da suscitare stupore o scandalo. Sono proprio gli errori tecnici minori a indurre la maggior parte delle azioni giudiziarie, in quanto considerati dalla legge "essenziali" e "riconoscibili" (art. 1428, C.C. Titolo IV), con conseguenti spese per la riparazione o per la riduzione dei loro effetti negativi.

Natura degli errori umani in ingegneria

Nella letteratura tecnica (Ballio, 2017) gli errori umani vengono correlati a deviazioni da prassi comunemente accettate: distrazione, superficialità o mancanza di conoscenza; mancanza di condivisione delle informazioni; influenze e condizionamenti dovuti a fattori estranei al problema tecnico. La mancanza di conoscenza, l'adesione acritica alla Norma come criterio progettuale e la sovraconfidenza nei supporti digitali hanno condotto negli ultimi decenni a un aumento degli errori umani legati alle attività di progettazione. L'eccessiva fiducia nel computer e il diffuso abbandono delle attività di controllo critico rispetto alla concezione complessiva del risultato hanno a volte prodotto errori banali, laddove anche una virgola al posto sbagliato è in grado di generare una catena di errori incontrollabile. Parimenti si è verificato un incremento degli errori umani nella fase di costruzione, legato a una minore esperienza degli operatori e delle maestranze, e alla minor cura nella realizzazione e nel montaggio. Infine, si è manifestata una certa incuria nella gestione delle costruzioni e una decisa mancanza di sensibilità per la manutenzione. Nei fallimenti sono spesso state rilevate sommatorie di errori, secondo la cosiddetta "teoria del formaggio svizzero" di James Reason: gli eventi avversi si manifestano inaspettatamente secondo una combinazione sequenziale di errori, come se si creasse una traiettoria rettilinea attraverso buchi normalmente non allineati in un pezzo di formaggio (Reason, 2000). Alcune preoccupazioni furono evidenziate da Piero Pozzati nell'ultima lezione ufficiale all'Università di Bologna su "Proliferazione delle normative e tecnicismo" (3 giugno 1992). Nel discorso egli evidenziava come l'introduzione del metodo semiprobabilistico agli stati limite attuato con gli Eurocodici avesse portato con sé alcuni aspetti critici. In primo luogo, il rischio di smorzare la fede nell'intuizione, nell'apporto concettuale del progettista, ovvero «la ricerca (ma anche la progettazione) intesa come rincorsa continua dell'intuizione con l'esperienza»; tutto il contrario di quello che si fa oggigiorno in cui ci si affida quasi esclusivamente a espedienti numerici o strumentali. In secondo luogo, le sue preoccupazioni riguardavano le dimensioni delle Norme, che dovrebbero essere compatte ed essenziali. Un numero di regole eccessivo ha comportato, per Pozzati, vari inconvenienti: l'impoverimento dell'autonomia e della creatività, la difficoltà

di discernere ciò che veramente conta; la sensazione di avere, al riparo delle norme, responsabilità alleviate e la difficoltà a rendersi conto dei ragionamenti che giustificano certe regole, rischiando di considerare queste alla stregua di algoritmi che, una volta appresi, il pensiero non è più chiamato a giustificare. Secondo il paradigma tecnicistico l'errore non sarebbe più contemplato: la tecnica tende, per istintiva volontà, ad ampliare il proprio predominio, a cancellare ciò che a esso si oppone, ossia la tradizione della civiltà e della cultura, allentando ogni rigida separazione tra attività teorica e pratica. La consapevolezza dell'errore non dovrebbe quindi fare affidamento solo sulla disponibilità di metodi di calcolo più evoluti o su capacità computazionali illimitate, poiché l'errore è di fatto di natura umana (Blockley e Henderson, 1980). È chiaro che si ha la netta sensazione che una maggiore affidabilità nella progettazione si otterrà solo quando i nostri strumenti di progettazione analitici saranno ben integrati con le questioni pratiche e operative della fase di costruzione.

Giudizio critico

L'intelligenza artificiale-IA e i sistemi esperti sono stati promessi come soluzione al problema dell'errore. Tuttavia, la IA non raggiungerà mai il livello concettuale del sapere. Essa, infatti, non ha alcun accesso a orizzonti che si lasciano più intuire che delineare con nettezza (Heidegger, 1978). Ogni cosa sembra calcolabile, prevedibile e influenzabile, ma il data-mining mette a nudo correlazioni che rappresentano la forma più bassa di sapere e non danno ancora accesso alla comprensione: «Se ci si limita a considerare un contenuto dato soltanto dal punto di vista dell'azione reciproca, in effetti si segue un procedimento dal quale il *concetto* è assente» (Hegel, 1924). È solo il "concetto" (sintesi o giudizio) a cogliere il nesso tra causa ed effetto. Big Data è additivo e mette a disposizione solo un sapere rudimentale che resta limitato a correlazioni e riconoscimenti di schemi, senza consentire la comprensione di alcunché (Dreyfus, 1988), non comprende i risultati che calcola. Il calcolo si distingue dal pensiero in quanto non forma concetti e non è in grado di avanzare da una conclusione all'altra. Attualmente, l'uso e l'applicazione di moderne tecniche digitali deve essere inteso come funzionale a quello che si vuole delineare come approccio "epistemologico" alla costruzione, ovvero un approccio che possa mediare tra quello ontologico/tipologico e quello scientifico/tecnicistico, arrivando a meglio comprendere e spiegare il funzionamento degli elementi costruttivi o degli organismi edilizi sulla base di un corretto giudizio tecnico (Ferraris, 2018). È il giudizio ingegneristico e progettuale che non solo fa partire i progetti nella giusta direzione, in accordo con la teoria, ma mantiene anche un occhio critico sui loro progressi e sulla loro esecuzione. È il giudizio che separa i dettagli significativi da quelli insignificanti, che coglie gli errori di analisi. Il giudizio ingegneristico è il fattore di qualità tra le innumerevoli quantità che hanno dominato la progettazione nell'era post-computer. Il giudizio, in breve, è ciò che evita o cattura gli errori, rileva i difetti, anticipa ed

evita i fallimenti. La fonte di giudizio più importante consiste nell'imparare dai propri errori e da quelli degli altri. Anche una maggiore padronanza degli strumenti di calcolo, associata alla sempre più elevata potenza degli hardware, può riuscire solo a ridurre asintoticamente la manifestazione dell'errore senza mai eliminarlo del tutto.

Tre casi di studio

Una storia delle costruzioni che utilizzi gli errori come metodo per la comprensione dei fatti avvenuti potrebbe essere di una qualche utilità e forse anche originale, reinterpretando situazioni e accadimenti costruttivi con maggiore obiettività. In questo contributo si cerca di individuare e interpretare alcuni errori minori, quindi non facilmente riconoscibili, legati alla vita di tre strutture di legno costruite nel XVII secolo in Emilia-Romagna. L'assunto è che tali errori abbiano riguardato non solo le opere originarie, ma anche e soprattutto i successivi interventi di riparazione, effettuati con la visione, il metodo e l'interpretazione dell'ingegnere moderno. È emersa una scarsa considerazione per le ipotesi elaborate all'atto della costruzione ed è venuto alla luce un diverso giudizio critico nei confronti delle vecchie opere di ingegneria, con una verosimile nascita di errore.

Il Teatro Farnese di Parma

Il vecchio tetto del teatro di Parma, della luce di 32,10 m, era probabilmente il più ampio d'Europa all'epoca della sua costruzione. Venti incavallature di forma complessa, a coprire una sala d'armi, poi convertita in teatro. Ogni incavallatura era caratterizzata da un disegno del tutto originale e innovativo: elementi traversali disposti ad arco, connessi da colonnelli verticali in pezzo unico e da diagonali, formati da più elementi uniti per mezzo di intagli, così come rappresentato dell'architetto bolognese Floriano Ambrosini (Ricci, 2009), in Figura 1 e in una sezione dell'architetto francese Louis-Auguste Feneulle (Feneulle, 1782). Non si conosce l'ideatore di queste strutture di copertura. La costruzione della copertura della sala d'armi dentro la quale il teatro si andava a inserire potrebbe risalire al 1607 (Gandolfi, 1980) e sarebbe quindi antecedente alla realizzazione del teatro e non attribuibile a G.B. Aleotti, detto Argenta, responsabile delle sole strutture lignee a uso teatrale. Tra i numerosi disegni di progetto a disposizione nessuno rappresenta la copertura, fermandosi tutt'al più al terzo ordine del loggiato. Nelle note riportate da Adorni (Adorni, 1974) sono presenti numerose lettere e memorie riguardanti la costruzione della Pilotta datate dal 1559 al 1611; in esse mai compare il nome di Argenta. Lo schema parmigiano richiama quello delle incavallature della cattedrale di S. Pietro a Bologna, con controcatena spezzata a forma d'arco, e anche quelli più complessi dei ponti svizzeri, disegnati da John Soane nel Settecento (Maggi e Navone, 2003).

Sicuramente la copertura fu costruita "senza errori", se resistette per oltre 250 anni senza crolli e avrebbe resistito ancora di più se il teatro nei secoli fosse stato

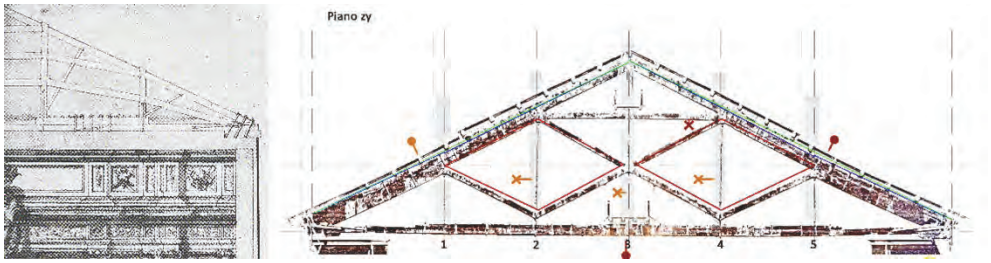


Fig. 1 - Parma, Teatro Farnese: dettaglio della capriata originale disegnato da Ambrosini (Ricci, 2009)*, a sinistra, e schema del 1868, tuttora in funzione* (ortofoto da TLS, @autori, 2022)*, a destra.*

usato più assiduamente e con costante manutenzione. A metà Ottocento le capriate apparivano instabili con alcune membrature fuori dal loro piano per la rotazione intorno ai singoli nodi; la "riforma" fu affidata nel 1868 all'ingegner G. Savoja sotto la guida dell'ingegner F. Lucca, capo dei servizi Demaniali di Milano (s.a., 1868). Le strutture vennero ricomposte utilizzando i 2/3 del legno originale e il nuovo schema, in Figura 1, tuttora in funzione, derivò dall'unione concettuale di più capriate miste legno-metallo, tra loro parzialmente sovrapposte con un comportamento globale fortemente iperstatico. Confrontando il comportamento strutturale dei due modelli d'incavallatura, la struttura più antica sfruttava verosimilmente i concetti propri dell'arco, differentemente da quella di metà Ottocento, in cui prevale il concetto di struttura reticolare. Dalla comparazione dei disegni storici analizzati con la relazione e il rilievo del Genio Civile, si evince che nella struttura seicentesca venne impiegato legno di rovere per un totale di 288,24 m^3 e 20 cavalletti, mentre nel caso delle capriate del 1.868 il volume totale di legno impiegato per la realizzazione dei 20 cavalletti fu di 378,25 m^3, con l'uso aggiuntivo di 1.756 kg di ferro per ogni capriata. La struttura seicentesca era quindi più efficiente rispetto a quella di oggi, intendendo con tale termine il rapporto tra la massa del materiale impiegato e la luce coperta. In realtà, l'errore dell'intervento ottocentesco, se di errore si può parlare, è stato considerare che un problema della rovina fosse lo schema statico originale e non invece la mancata manutenzione dell'immenso manto di copertura con ripetute infiltrazioni d'acqua. Si sarebbe potuto riproporre lo schema originario, con grosso risparmio economico. Inoltre, l'innovazione ottocentesca, pur prolungando la vita di gran parte degli elementi costruttivi, ha causato la perdita di un patrimonio di conoscenze che avevano reso il tetto un'opera magistrale. Recentemente si è dovuto peraltro ricorrere a consolidare con mensole metalliche l'appoggio di alcune capriate (Guardigli *et al.*, 2022). Oggi la vista della struttura del tetto ligneo è scenografica e restauri recenti si sono concentrati sul consolidamento degli elementi di laterizio del manto,

sperando che nuove tecniche di fissaggio con reti e resine sintetiche risultino poi compatibili con i movimenti delle nuove capriate. Il problema del manto si è dunque ripresentato. Il teatro non è in uso per questioni legate alla sicurezza antincendio.

Il Teatro Comunale di Bologna

La copertura del Teatro Comunale di Bologna è sorretta da 6 capriate a nodo aperto risalenti al 1760 circa, disposte con un interasse variabile tra 4,00 m e 4,30 m e aventi luce pari a circa 25 m. Esse hanno sicuramente subito degli interventi e dei rimaneggiamenti, in un primo momento a cavallo fra il XVIII e l XIX secolo, quando si lamentarono alcuni problemi strutturali, e successivamente negli anni 1980-1981, quando furono richiesti consistenti lavori di consolidamento del sottotetto. Lo schema statico A in Figura 2 può essere considerato come quello originario; consiste nel disegno di una capriata palladiana classica con l'aggiunta di due ulteriori aste in prossimità di puntoni inferiori. Lo schema B invece consiste in una sorta di evoluzione dello schema A, cui sono state aggiunte delle aste diagonali con funzione di sostegno e controventamento. Le capriate dotate di aste aggiuntive sono quelle centrali, ovvero quelle più vicine al lampadario della grande sala.

Secondo quanto emerso dalla ricerca storica, la realizzazione del Teatro Comunale e del coperto si concluse nell'arco di pochi anni e dovette affrontare difficoltà economiche. In prima analisi si potrebbe affermare che, vista l'imponente luce da coprire, pari a circa 25 m, e visto il grande interasse con cui sono disposte le capriate che è compreso tra 4 m e 4,5 m, gli elementi che compongono le capriate con schema A appaiono eccessivamente snelli per i carichi che devono sopportare. Il disegno sembra troppo "vuoto" in termini di rapporto fra pieni e vuoti della struttura. Un'ipotesi può essere che tale assetto sia dovuto alla scarsità delle risorse economiche in gioco, che hanno spinto verso uno schema con sezioni strutturali ridotte, pur se ottimizzato nella disposizione degli elementi. L'aggiunta degli elementi nello schema B emerge come soluzione tampone, adottata pochi anni dopo il completamento del tetto e del teatro. Questa "correzione" emerge dalla relazione degli ingegneri Pozzati e Diotallevi, cui venne affidato il moderno intervento di consolidamento degli anni '80 (Pozzati *et al*., 1982). La relazione riscontrò infatti che sulle catene delle capriate 3 e 4 si appoggiava un grande soppalco, che venne subito rimosso, e che numerose aste presentavano inoltre grosse fessure. Il materiale era in condizioni generalmente buone ma le catene mostravano una situazione molto precaria poiché sottoposte «allo sforzo di oltre 20 tonnellate per effetto dei soli carichi permanenti» (Pozzati *et al*., 1982). Non è facile dire se in questo caso ci si trovi di fronte a una scelta iniziale consapevole, dettata dalle circostanze economiche, quindi a una debolezza forzata, o a un errore iniziale, dovuto all'eccezionalità dell'opera (Massafra *et al*., 2020) e quindi alla difficoltà nel trovare sezioni dei tronchi adeguate. É un fatto che la struttura originale del 1760, dopo i primi interventi a breve distanza dalla costruzione,

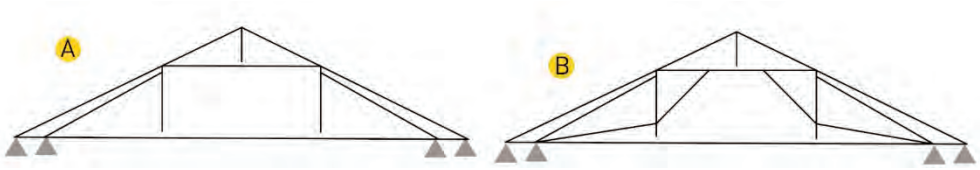


Fig. 1 - Bologna, Teatro Comunale: schema A delle capriate 2 e 5, a sinistra, e B delle capriate 3 e 4, a destra (@ autori, 2023).

quando il problema di eccessiva snellezza fu probabilmente identificato, ha avuto una vita utile di 200 anni senza che le cronache attestassero problematiche ulteriori. Oggi l'aumento dei carichi e l'esigenza di nuovi livelli di sicurezza hanno imposto interventi di consolidamento delle strutture che, pur conservando interamente i materiali originali, hanno a essi affiancato soluzioni compatibili e reversibili realizzate con l'inserimento di piastre e tiranti metallici.

La chiesa di San Salvatore a Bologna

Il sottotetto della chiesa di San Salvatore a Bologna è costituito da 10 capriate costruite in legno di abete rosso, riconducibili alla configurazione palladiana composta, con una luce prossima a 18 m. Si tratta di capriate a nodo aperto, con puntone interrotto dai monaci laterali, realizzate con elementi dal profilo variabile, compreso tra i 20 cm delle saette superiori e i 30 cm dei puntoni. La parte centrale della catena è sorretta da una sottocatena connessa a un cavalletto di scarico, usato in fase di montaggio. L'architetto Mazenta era stato incaricato del progetto dell'intera fabbrica, ma non è possibile attribuirgli anche l'ideazione e la costruzione del sottotetto poiché non risultano disegni recanti la sua firma e i documenti riportano l'incarico a un maestro segantino di predisporre i legni che erano stati trasportati sino alla fabbrica da Ferrara (Ranaldi, 2006). Dallo schema delle capriate si osserva che il puntone è interrotto e che il triangolo superiore, formato da puntone superiore, saette e monaco centrale, può ruotare in maniera indipendente fuori dal piano attorno alla controcatena. Ne sono un esempio alcune rotazioni dei monaci centrali rilevate. Inoltre, il sistema catena, puntoni inferiori e sottocatena può essere soggetto a un meccanismo di collasso nel piano se sottoposto a forze orizzontali. Emerge dunque un comportamento duplice che può svelare un potenziale errore: il triangolo superiore può ruotare attorno all'asse della controcatena, mentre il trapezio inferiore può sia ruotare attorno all'asse della catena, sia deformarsi nel piano per effetto di spostamenti e rotazioni ai nodi, come mostrato in Figura 3. Non sono stati trovati documenti relativi a modificazioni delle strutture avvenute tra il 1623, anno in cui furono ultimati i lavori, e il 1980, anno in cui fu effettuato un intervento di manu-

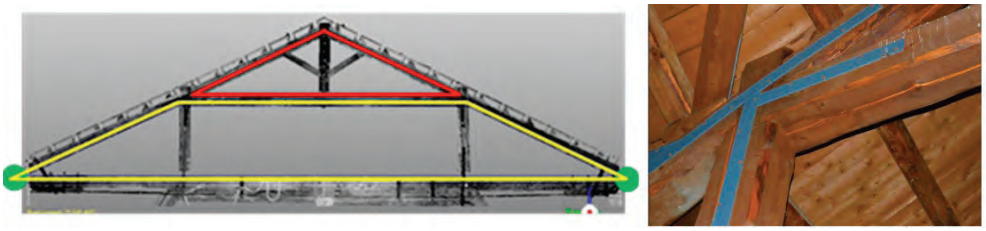


Fig. 3 - Bologna, chiesa di San Salvatore: schema statico della capriata (ortofoto TLS, @ autori, 2018)*, a sinistra, e criticità del nodo monaco-puntone con gli elementi metallici aggiunti* (foto, @autori, 2018)*, a destra.*

tenzione straordinaria della chiesa e, in particolar modo, del manto di copertura. Nell'intervento degli anni '80 vennero smontati e sostituiti gli elementi più degradati delle capriate, venne rifatto il manto di copertura ed eseguite altre opere di manutenzione straordinaria. I lavori interessarono vari nodi delle capriate con l'aggiunta di staffe chiodate, visibili in Figura 3, per bloccare i nodi ed evitare l'instaurarsi dei meccanismi sopra citati (ASBBCB, 1982). In uno schema a palladiana composta la presenza dell'interruzione nel puntone rende quasi labili le capriate secondo gli schemi statici di oggi: i nodi, essendo liberi di ruotare, permettono ai monaci laterali di abbassarsi e sollevarsi a seconda dell'andamento dei carichi orizzontali e verticali e dei movimenti del terreno. Questo tipo di comportamento potrebbe essere giudicato negativamente, ma ha permesso alla struttura di copertura di adattarsi nel tempo agli assestamenti della fondazione, prolungando la vita utile del tetto. Oggi si evidenziano distacchi e deformazioni delle piastre metalliche in diversi nodi, a riprova dei movimenti in atto nelle capriate e di un potenziale errore nell'intervento di riparazione. La scelta di utilizzare capriate non rigide potrebbe dunque svelare una certa consapevolezza, da parte dei costruttori dell'epoca e dello stesso Mazenta, nell'adeguarsi al movimento delle strutture murarie sottostanti, che si adattano al terreno non particolarmente resistente e stabile del centro storico della città.

Conclusioni

Capire come un errore sia stato introdotto nei progetti del passato rende più facile identificarlo ed eliminarlo nei progetti futuri, oltre a indirizzare gli interventi di manutenzione straordinaria, ripristino o restauro. Negli esempi concreti sono incorporati modelli di errore da evitare e buone pratiche da emulare. L'analisi dei casi di studio reali, condotta attraverso l'indagine diretta e la documentazione storica, vuole fornire indicazioni per organizzare la massa di esperienze progettuali e studi teorici. L'errore umano, dovuto a superficialità e mancanza di conoscenza e condivisione delle informazioni come nei casi riportati, è indiscutibilmente una delle principali cause di fallimento del progetto di recupero degli edifici esistenti. Cercare di identificare le

situazioni a rischio di errore durante il processo di diagnosi e di intervento riduce la probabilità che tale errore possa ripetersi. Con la riduzione dell'errore ci si può aspettare una maggiore affidabilità dei sistemi ingegneristici e un aumento della durabilità delle opere. Oggi la persistenza dell'errore nel processo di progettazione e la chiara associazione del fallimento agli aspetti cognitivi della fase ideativa forniscono un forte avvertimento per il corretto uso degli strumenti informatici. Non ci si può aspettare che lo sviluppo di tali strumenti produca nel tempo una ingegneria senza errori: l'attività umana di progettazione ingegneristica non è una scienza perfetta ma in buona parte "arte del costruire" e in questo senso non completamente modellabile e quantificabile. Non esiste un algoritmo che un ingegnere possa applicare per certificare che un progetto è perfetto. Gli ingegneri dovrebbero sempre accompagnare lo studio dello stato dell'arte con ciò che è stato definito giudizio critico, integrando i risultati delle analisi con interpretazioni meditate e ponderate dei risultati. Nella storia l'ingegneria ha progredito grazie all'analisi proattiva e reattiva degli errori e il cuore del metodo ingegneristico è la loro comprensione in tutte le possibili manifestazioni. I miglioramenti negli strumenti e nelle modalità di analisi non possono da soli migliorare la pratica dell'ingegneria e l'affidabilità dei suoi prodotti, perché la scelta degli input e l'interpretazione dei risultati dell'analisi implicano sempre un giudizio umano. In effetti, gli sforzi per migliorare la progettazione ingegneristica concentrandosi sul perfezionamento dei modelli e degli strumenti analitici, più facilmente quantificabili, possono essere controproducenti se tali sforzi vanno a scapito degli studi volti a migliorare le capacità assuntive e interpretative. Poiché gli aspetti artistici e sintetici della pratica ingegneristica non sono stati fondamentalmente alterati dagli sviluppi degli strumenti scientifici e analitici, l'intera storia dell'ingegneria continua a essere rilevante per l'insegnamento e il perfezionamento del pensiero e del giudizio critico ingegneristico. Le lezioni apprese dai fallimenti, in particolare, sono importanti oggi come lo erano nell'antichità. Gli errori di valutazione commessi da un costruttore del Seicento possono essere e sono stati ripetuti in tempi moderni perché non capiti. Sebbene il computer abbia soppiantato il regolo calcolatore e l'acciaio e il calcestruzzo abbiano sostituito il legno e la pietra, nulla ha sostituito il fatto che un ingegnere debba ancora abbozzare il proprio progetto prima di poterne calcolare la capacità strutturale e il costo.

Bibliografia

Adorni B. 1974. *L'architettura farnesiana a Parma 1545-1630*. Parma: Battei.

ASBBCB-Archivio della Sovrintendenza dei Beni Culturali di Bologna. Cartella del restauro del 1982, Lotti 1 10, Relazioni Tecniche, Libretto delle Misure, Rilievo Fotografico.

Arena M., Bianchi S., Biondini F., Torti A., Vantini S. 2020. Individuare le priorità manutentive dei ponti stradali lombardi, In: *Infrastrutture e città: innovazione, coesione sociale e digitalizzazione*, 185-223. Milano: Francesco Brioschi editore.

Ballio G. 2017. Errori umani nelle Costruzioni Metalliche. In: *Atti del Convegno IF CRASC'17*, 65-85. Milano: Politecnico di Milano.

Billah K.Y., Scanlan R.H. 1991. Resonance, Tacoma Narrows bridge failure, and undergraduate physics textbooks. American Journal of Physics, 59(2), 118-124.

Blockley D., Henderson J. 1980. Structural failures and the growth of engineering knowledge. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 68(4), 719-728.

Dreyfus H.L. 1988. *Che cosa non possono fare i computer: i limiti dell'intelligenza artificiale*. Roma: Armando Editore.

Feneulle L.A. 1782. *Mappe e disegni*, 4(22). Parma: Archivio di Stato di Parma

Ferraris M. 2018. *Intorno agli unicorni: supercazzole, ornitorinchi e ircocervi*. Bologna: Il mulino.

Gallaccini T. 1767. *Trattato di Teofilo Gallaccini sopra gli errori degli architetti ora per la prima volta pubblicato*. Venezia: Pasquali, Giambattista.

Gandolfi V. 1980 *Il teatro Farnese di Parma.* Battei: Parma.

Guardigli L., Ghedini S., Prati D. 2022. La copertura del Teatro Farnese di Parma. Costruzione, memoria, innovazione In: *Colloqui.AT.e 2022* (a cura di E. Dassori e R. Morbiducci), 131-148. Monfalcone: EdicomEdizioni.

Gulli R. 2000. *Metis e techne: gli strumenti del progetto per la manutenzione e il recupero dell'edilizia storica*. Monfalcone: Edicomedizioni.

Hegel G.W.F. 1924. *La scienza della logica* Bari: Laterza.

Heidegger M. 1978. *Che cosa significa pensare?* Milano: Sugarco Edizioni.

Maderna M. 2000. *La fabbrica e il tempo: «Avanti al fabbricare, nel fabbricare e poi che si fabbricato» nel pensiero sull'architettura di Teofilo Gallaccini (1564-1641)* (a cura di S. San Pietro). Milano: L'Archivolto.

Maggi A., Navone N. (a cura di). 2003. *John Soane and the Wooden Bridges of Switzerland: Architecture and the Culture of Technology from Palladio to the Grubenmanns*. Mendrisio: Archivio del Moderno, Accademia di architettura, Università della Svizzera italiana; London: Sir John Soane's Museum.

Marshall R.D., Pfrang E.O., Leyendecker E.V., Woodward K.A., Reed R.P., Kasen M.B., Shives T.R. 1982. Investigation of the Kansas City Hyatt Regency walkways collapse. NBS Building Science Series 143. Gaithersburg: NBS.

Massafra A., Prati D., Predari G., Gulli R. 2020. Wooden Truss Analysis, Preservation Strategies, and Digital Documentation through Parametric 3D Modeling and HBIM Workflow. Sustainability, 12(12), 4975.

Petroski H. 1994. *Design Paradigms: Case Histories of Error and Judgment in Engineering*. New York: Cambridge University Press.

Poretti S. 2008. *Modernismi italiani: architettura e costruzione nel Novecento*. Roma: Gangemi Editore.

Pozzati, P., Diotallevi P.P., Zarri F. 1982. Teatro Comunale di Bologna: consolidamento della copertura e del soffitto della grande sala. Ingegneri, architetti, costruttori: mensile di tecnica e informazione 37(427), 95-108.

Ranaldi A. 2006. Il controverso progetto di Giovanni Ambrogio Mazenta per la chiesa del S. Salvatore a Bologna. Palladio. Rivista di storia dell'architettura e restauro, 37.

Reason J. 2000. Human error: models and management. BMJ 320(7237), 768-770.

Ricci M. 2009. *Teoria e pratica dell'architettura a Bologna tra Cinquecento e Seicento: la Nuova regola di Floriano Ambrosini*. Roma: Campisano.

s.a. 1868. Teatro Farnesiano in Parma. Giornale del Genio Civile, (47), 461-65.

Clemente Esposito

Le problematiche strutturali del sottosuolo napoletano nel corso della storia attraverso le memorie di antiche cave greche

The structural problems of the Neapolitan underground throughout history

Sommario
Di Napoli tutti conoscono le eccezionali bellezze, la cultura e l'arte, ma pochi la vera storia del suo sottosuolo, di cui cittadini e i tecnici napoletani stanno prendendo consapevolezza solo da una decina di anni e del quale ancora oggi non si possiede una sufficiente conoscenza. Le cavità presenti nel sottosuolo napoletano sono state tutte scavate dall'uomo, per varie necessità antropiche, nel corso di oltre 2500 anni: il sottosuolo è nato con la città e con essa è cresciuto, determinando la storia di Napoli sotterranea, una città al negativo. L'Autore, da consulente del Comune di Napoli prima e da Presidente del Centro Speleologico poi, si è dedicato alla riscoperta dei numerosi antichi percorsi sotterranei che si estendono sotto tutta la città, identificando ogni singolo vuoto in un ambito ingegneristico preciso. In questo saggio vengono affrontate le metodologie di scavo delle cave greche bimillenarie in tufo e delle cave di piperno ultracentenarie.

Abstract
Naples is renowned for its picturesque beauty, rich culture, and impressive art. Despite this, the underground world beneath this magnificent city remains largely undiscovered and unfamiliar. Although there has been interest from Neapolitan citizens and technicians over the last decade, knowledge in this area is still in its infancy. The Centro Speleologico Meridionale, established in 1956 and currently under the author's leadership as the president, is dedicated to uncovering the history of this underground realm and maximizing its potential. The Author has diligently pursued the exploration of numerous ancient subterranean passageways beneath the entire city. The underground network of Naples emerged alongside the city, expanding in parallel with its development, and today everyone has the opportunity to witness genuine subterranean heritage in Naples.

Introduzione
Il sottosuolo di Napoli è archeologia, arte, ingegneria, storia e cultura e come tale deve essere conservato con continue ispezioni.

Come consulente del Comune di Napoli prima, e come presidente del Centro Speleologico Meridionale poi, l'Autore si è sempre interessato di censire, cartografare e ispezionare le cavità artificiali del sottosuolo di Napoli, arrivando a cartografare, in 70 anni, circa ottocento cavità per oltre un milione di metri quadrati e dieci milioni metri cubi e a ripercorrere luoghi che non venivano più percorsi da centinaia di anni.

Una storia bimillenaria

La città di Napoli è unica, in quanto partorita dalle sue stesse viscere: il suo sottosuolo è stato sempre oggetto di scavo per la presenza di materiali idonei alla costruzione, dal tufo alle pomici, dalla pozzolana ai lapilli. Gli scavi e le cavità ottenuti a seguito dell'estrazione non furono mai abbandonati, ma sempre variamente utilizzati come cisterne o depositi.

Le prime costruzioni, sull'isola di Megaride, risalgono all'epoca greca e proseguirono sulla terra ferma, lasciando sul Monte Echia una grossa cava di tufo adibita dai Greci al culto del Dio Mitra e oggi usata come garage, si veda la Figura 1. I Greci costruirono anche le mura della Città prelevando il tufo in cave sotterranee e una di queste, ancora intatta perché l'ingresso crollò già in epoca greca, è stata rinvenuta nel 1981 sotto il Cimitero del Pianto; in Figura 2 sono visibili alcuni graffiti greci ritrovati in quella cava. Ancora, i Greci scavarono l'Acquedotto della Bolla, di tipo ad acqua fluente, con sorgenti nella Piana di Volla alle falde del Vesuvio, e una serie d'ipogei di mirabile bellezza, con affreschi e reperti ancora visibili, di cui un esempio è in Figura 3.

I Romani continuarono a scavare: integrarono l'Acquedotto della Bolla con l'acquedotto Augusteo convogliando a Napoli l'acqua del Serino, in provincia di Avellino; costruirono due collegamenti sotterranei per superare le colline che separano la città dai Campi Flegrei: la grotta di Seiano, lunga 773 m, che da Posillipo porta a Coroglio, e la grotta di Cocceio, detta anche Cripta Neapolitana, lunga 744 m, che collega Piedigrotta con Fuorigrotta.

Fig. 1 - Cava a Monte Echia: pianta, a sinistra, sezione, al centro, e situazione alla fine del secolo scorso, a destra.

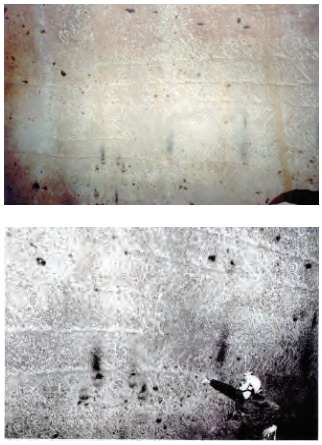


Fig. 2 - Graffiti greci nella cava sotto il cimitero del Pianto.

Fig. 3 - Ipogeo greco (Foto di Mauro Palumbo ©2023).

In epoca vicereale, nel 1639, Carmignano realizzò un acquedotto interrato che captava le acque del fiume Faenza, oggi Isclero, nel Beneventano e integrava quelli esistenti, non più sufficienti.

I tre acquedotti, costituiti da una rete fittissima di cunicoli e cisterne esistenti sotto a ogni fabbricato della Città, funzionarono fino al 1885, anno in cui una Società Italo inglese costruì l'attuale acquedotto a pressione. A quell'epoca la Città aveva un suo negativo nel sottosuolo costituito da milioni di metri cubi di vuoti, tutti percorribili.

Dopo il 1885 i napoletani si disinteressarono di quel sottosuolo che era nato con la Città e con lei era cresciuto. Vi ritornarono nel 1940 in seguito agli eventi bellici, quando le cavità furono attrezzate come ricoveri pubblici antiaerei. Ne furono realizzati 210, per una capienza complessiva di 219.000 persone. In periferia molte cave ospitarono, oltre a persone e animali, anche attrezzature, depositi e impianti di interesse bellico. Dopo la guerra questo patrimonio è stato riabbandonato e quel che è peggio usato prima come discarica delle macerie causate dai bombardamenti e poi come sversatoi abusivi di materiali di risulta e ciò ha provocato non solo il frazionamento degli antichi percorsi sotterranei ma anche l'occlusione di una sua parte.

Le cavità del tufo giallo

I primi coloni che scavarono nel sottosuolo di Napoli trovarono un primo strato di terreno vegetale nero e grasso, ottimo per il giardinaggio, e a seguire strati di materiali alluvionali, ciottoli e sabbia, seguiti da strati di materiali in posto, pozzolana, che unita alla calce dà la malta, e persino lapilli utili per le parti orizzontali; segue poi il tufo coperto da un primo strato poco consistente, detto tufaccio o cappellaccio

e che man mano che si procede diventa sempre più continuo, omogeneo e isotropo, perfettamente idoneo per le costruzioni.

A volte il tufo si trovava anche a vista, lungo i valloni, messo a luce dal dilavare delle acque nei secoli. Lo scavo del tufo viene illustrato in Figura 4. Quando invece il banco tufaceo non era raggiungibile direttamente bisognava scavare dei pozzi, gli "occhi di monte". L'estrazione cominciava ricavando un'area sulla quale si accumulavano i materiali dei primi strati. Una volta raggiunto il tufo con le caratteristiche volute, si scavava ancora per alcuni metri e si rendeva una delle pareti perfettamente verticale sulla quale si "coltivava" il tufo. In questa parete si scavava una "grappiata", scala comoda e sicura costituita da appigli distanti 35 centimetri l'uno dall'altro; la grappiata raggiungeva l'inizio di scavo e qui si cominciava a operare in orizzontale: si scavava un ambiente comodo per i cavamonti e da questo, con l'aiuto di attrezzi idonei, si isolavano blocchi di tufo facendoli cadere alla base della parete, in modo che si rompessero e formassero blocchi più piccoli e più facili da trasportare. Man mano che lo scavo procedeva, i cavamonti ricavavano sul fondo un piccolo ambiente, che costituiva un successivo inizio di scavo, sotto il quale, man mano che si scendeva lungo la parete, si continuava a scavare la grappiata in modo da poter raggiungere agevolmente il nuovo inizio di scavo. L'estrazione continuava così a inoltrarsi nella collina ma, per motivi di trasporto, bisognava evitare le lunghe distanze; a questo scopo, si proseguiva con scavi perpendicolari, sì da avere una coltivazione a scacchiera con rami nei quali veniva riportato il materiale di sfrido fino a riempirli completamente o a ridurli ad altezze di pochi metri.

Se a distanze notevoli dal piazzale di cava il tufo continuava ad avere le caratteristiche desiderate si scavava un ulteriore occhio di monte che serviva sia da aeratore che per avvicinare il più possibile i blocchi al luogo di utilizzo.

La presenza di lesioni naturali del tufo, le cosiddette "scarpine", agevolava lo scavo perché per isolare un blocco si doveva fare un taglio in meno; quando i blocchi con le scarpine mostravano di staccarsi, si procedeva a monitorarli operando alla loro base uno scavo lungo 50 cm e capace di alloggiare perfettamente un travetto o un tronco di putrella e, ogni mattina, prima di riprendere il lavoro, si controllava se il paletto o la putrella fossero andati sotto carico: se entravano e uscivano facilmente dal foro di alloggiamento significava che il blocco non aveva subito movimenti e si era in sicurezza.

Gli attrezzi utilizzati per scavare erano:

- la smarra o piccone, composto da due bracci, uno piegato ad angolo acuto con il taglio a punta aguzza, l'altro, ortogonale al manico, fatto a martello; il primo serviva per le incisioni profonde nel banco di pietre, il secondo per infiggere i cunei di scalzamento;
- la piccozza;
- il maglio, un grosso martello;
- i cunei e i pali di ferro.

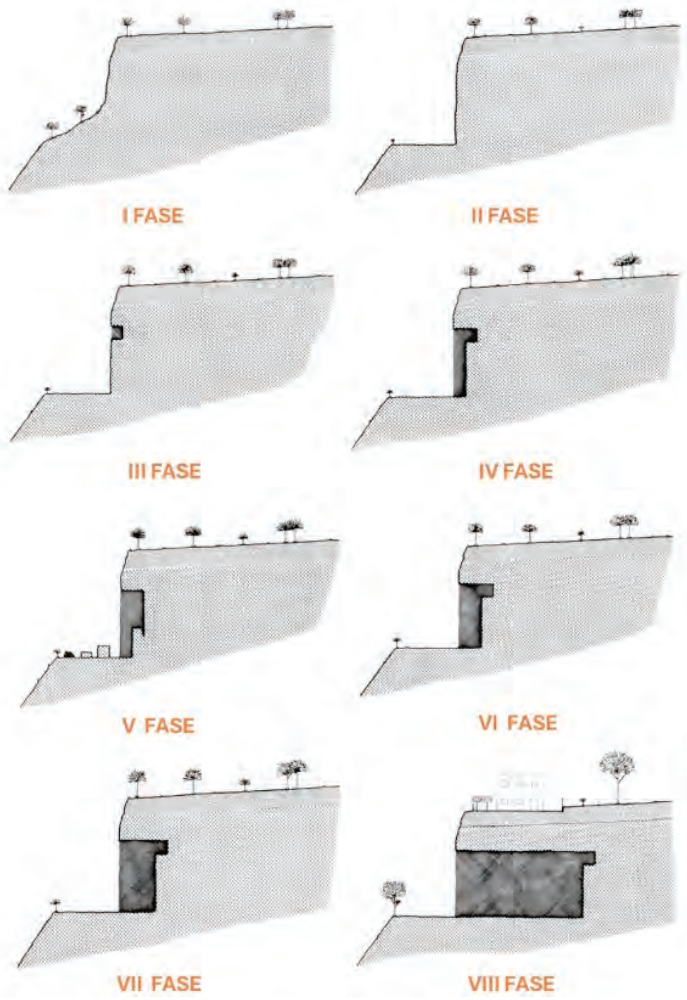


Fig. 4 - Schema di scavo di una parte di tufo giallo.

Se lo scavo era per un acquedotto gli occhi di monte erano più piccoli e gli ambienti erano piccoli, con pareti verticali e volta piatta. I vuoti così ottenuti si intonacavano e vi si convogliava l'acqua piovana, rendendoli così una cisterna pluviale, se c'era bisogno si scavava il "pozzo di servizio", di dimensioni 1 m · 1 m. Se la cisterna doveva raccogliere l'acqua corrente dell'acquedotto, doveva raggiungere quota 10 m s.l.m., Questa è la quota assoluta del livello dell'acqua nei rami dell'acquedotto la cui acqua camminava a pelo libero con una pendenza dell'uno per mille, ovvero dopo un km si abbassava di 1 solo metro; è chiaro che l'allaccio all'acquedotto era

noto a priori e, visto che le cisterne di acquedotto erano alte due metri, quel tanto da far passare il pozzaro, sotto Napoli abbiamo migliaia di cisterne tutte con il pelo libero a dieci metri sul livello del mare; in Figura 5 è mostrata una immagine di quella che si trova sotto via Duomo. In altri termini non si tratta di un reticolo idraulico ad albero come si potrebbe pensare ma di una distribuzione per cui a monte c'era la cosiddetta "casa dell'acqua", un partitore che immetteva nel sistema acqua a richiesta.

Fig. 5 - Cisterna di acquedotto Romano sotto via Duomo.

L'estrazione finora descritta, detta "estrazione in sotterraneo", si è protratta per oltre due millenni; attualmente, con l'avvento della tecnologia e con l'utilizzo di ruspe e scavatori, si sbanca un pianoro dalle dimensioni volute, mettendo contemporaneamente il tufo a vista; su questo pianoro si istallano dei binari sui quali camminano due macchine, delle quali una fa il taglio verticale e l'altra quello orizzontale e quindi si isolano blocchi di tufo aventi tutti le stesse dimensioni. Il lavoro è molto diminuito e semplificato, non c'è più l'operaio che per giorni lavorava i blocchi di cava portandoli alla stessa altezza, lunghezza variabile e aventi squadrata solo una faccia; la successiva messa in posa per una costruzione in muratura, per l'irregolarità delle altre cinque facce, avveniva usando residui di lavorazione di tufo di forma irregolare, gli "scardoni", come zeppe e l'intercapedine che ne scaturiva, molto irregolare appunto, veniva riempita con malta nella quale si affogavano altri scardoni; il tutto con una solidità che ha sfidato i secoli; con i conci tutti regolari la stessa solidità si otterrebbe mettendone alcuni di traverso.

Il tufo, che ha ottime proprietà termo-acustiche e che è facilmente adattabile agli usi, reagisce perfettamente a compressione, poco al taglio e per nulla a flessione, per cui le sezioni stabili sono a pareti verticali e volta piana per scavi di piccole dimensioni e con pareti trapezoidali con lati tendenti alla verticalità per scavi di media altezza. Nelle migliaia di scavi rilevati, cartografati e fotografati dall'Autore, sono state rilevate anche sezioni a bottiglia che andavano a rastremarsi nel pozzo di servizio e sezioni ellittiche. Queste ultime si dividono in sicure, quelle a fuochi verticali e molto distanti, e pericolose, quelle a fuochi orizzontali; l'optimum si ha quando il rapporto tra la superficie in volta e quella alla base tende a uno. Nelle cavità a sezione ellittica con fuochi lontani nelle curvature si ha il distacco di blocchi, come se la cavità cercasse di modificare la sua sezione portandosi a pareti verticali, cosa che in un certo senso avveniva, comportando il collasso della volta.

La cava di piperno

A Napoli ci sono migliaia di cave, ma di queste una è unica al mondo, la cava di Soccavo, dal latino *sub cava*, da cui non si estraeva il tufo, bensì un materiale che si trova esclusivamente nei Campi Flegrei, a Pianura e Soccavo: il piperno. Si tratta di una tracheite alcalina, pietra vulcanica di natura lavica di colore grigio intervallato da macchie scure costituite da brandelli di magnetite, comunemente chiamate fiamme, che ne determinano il valore.

Tutti i portali di Napoli sono in piperno e alcuni simboli della città hanno in piperno anche le facciate, tra cui Castel Nuovo, le torri delle antiche mura della città, Palazzo Gravina, la sede storica dell'Università degli Studi di Napoli Federico II e la Chiesa del Gesù.

Le modalità di estrazione del piperno sono quasi le stesse usate per il tufo giallo, cioè in sotterraneo, in quanto entrambi sono ricoperti da spessi strati di materiali incoerenti: pozzolana, sabbia, pomici e lapilli.

Gli utensili usati per l'estrazione del piperno, molto simili a quelli del tufo, ma di acciaio a causa della durezza del materiale, erano:

– la smarra o piccone, di cui si è detto;
– l'ascia, che non era che mezzo piccone, in quanto priva di martello;
– le mollette, lamelle di acciaio di 8 cm · 10 cm, spesse circa 0,5 cm, che non venivano utilizzate nelle cave di tufo;
– i punciotti, scalpelli lunghi 15 cm, sempre di acciaio;
– il maglio, che veniva usato per battere i punciotti;
– i cunei di scalzamento, di acciaio, lunghi da 50 centimetri fino a un metro.

Anche per la cava di Soccavo la montagna è stata attaccata in sotterraneo: si partiva alle sue falde, creando un piazzale di cava con pareti a picco, nelle quali, a una certa altezza, veniva praticato un cunicolo esplorativo che si allargava a corridoio e si ampliava a ramo[1]. Il ramo penetrava nella montagna ad altezze che non superavano i 20 metri, più modeste rispetto a quelle delle cave di tufo, che superavano anche gli 80 metri.

La procedura di scavo, simile a quella del tufo, presentava delle peculiarità dovute alla differenza tra i due materiali. In particolare, nel caso del piperno, partendo dalla sommità della parete, dove era stato praticato l'inizio di scavo, per il primo taglio si individuava il blocco da isolare, e con l'ascia o la smarra se ne incidevano i due fianchi e il lato posteriore, fino alla profondità voluta; il lato superiore e quello anteriore, chiaramente, erano stati resi liberi per il taglio del blocco precedente; queste incisioni erano evitabili in corrispondenza delle scarpine. Fra le due incisioni laterali, orizzontalmente, a una distanza dettata dalla lunghezza del blocco che si voleva far cadere, si incidevano dei solchi detti imposte, lunghi 8 cm, alti 2÷3 cm, profondi circa 10 cm e distanti fra di loro da 3 cm a 8 cm, a secondo della durezza della pietra. In queste

imposte si incastravano le mollette, sì da riempire tutto il solco e fra le mollette si ficcavano i punciotti che, percossi con il maglio determinavano una lesione orizzontale; a quel punto si passava allo scalzamento, che avveniva alla sommità del blocco dove si battevano i cunei di scalzamento fino al distacco di quest'ultimo.

I blocchi, precipitando, si fratturavano e diventavano di dimensioni più trasportabili, così come per il tufo. Come nelle cave di tufo, nel ramo dove si continuava a far cadere i blocchi, i cavamonti praticavano, nella parete di fondo, il nuovo inizio di scavo, cioè un vuoto lungo non più di due metri e largo altrettanto che doveva servire, in seguito, a far avanzare la penetrazione del ramo. Allorché lo scavo nel ramo si allontanava troppo dall'accesso o diventava troppo profondo, sempre per motivi di trasporto, lo si abbandonava e si incominciava lo scavo laterale e si attaccavano le pareti del ramo dove si era provveduto a lasciare gli inizi di scavo e, nelle cave di tufo, anche le grappiate. In questo modo, si creavano rami incrociati che davano all'intero complesso una configurazione a scacchiera.

Dissesti e voragini nella Napoli di oggi

Il substrato di gran parte del territorio cittadino è costituito essenzialmente da prodotti piroclastici quali il tufo giallo caotico, di spessore variabile in altezza e profondità, e materiali incoerenti sciolti quali lapilli, scorie e pozzolane di spessori variabili. Benché le proprietà fisico meccaniche dei terreni piroclastici sotto l'azione dei carichi esterni siano ormai abbastanza conosciute, la varianza di certi loro valori dovuta a problematiche connesse all'interazione con fattori intrinseci ed estrinseci, fa sì che per qualunque intervento si vada a realizzare sul territorio sia richiesto uno studio puntuale accurato dei terreni in sito.

I tanti eventi d'instabilità nel sottosuolo, con ripercussioni su quanto presente in superficie, che hanno colpito e colpiscono con relativa frequenza la Città di Napoli, sono quasi sempre provocati da infiltrazione d'acqua al piano più o meno superficiale con alterazione del terreno interessato dalle fondazioni. Questi inconvenienti sono riconoscibili e imputabili prevalentemente a disfunzioni dei sottoservizi, e più precisamente dell'acquedotto e delle fognature, a causa del degrado generalizzato, della vetustà, della manutenzione conservativa insufficiente e dell'aumento di portate rispetto ai loro requisiti di progetto originario. Le perdite d'acqua non controllate, sia per la notevole permeabilità dei terreni sottostanti, sia per la presenza delle cavità, trovano vie veloci di scorrimento nascoste, comportando trascinamenti degli stessi materiali in sito, con erosioni consequenziali che si evidenziano poi in superficie e con quanto su di essa presente con cedimenti, smottamenti e voragini. Il meccanismo di formazione delle voragini è mostrato in Figura 6.

Di tutto questo è piena la cronaca di Napoli.

La presenza di cavità aggrava questo fenomeno, in quanto le acque di perdita trovano facile e immediato sfogo nei vuoti sotterranei dove dilavano i materiali in-

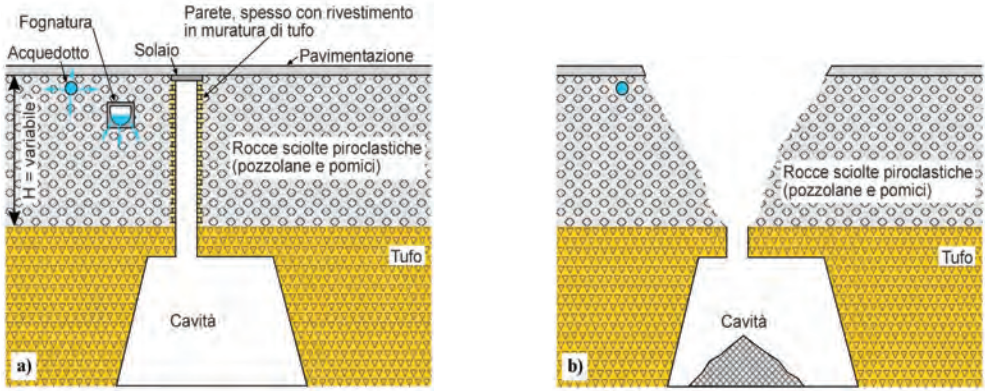


Fig. 6 - Meccanismo di formazione delle voragini urbane.

coerenti oggetto di trasporto. Se si tiene conto che ogni fabbricato del centro storico è interessato dalle cavità degli acquedotti antichi e dalla presenza di cisterne e pozzi, si riconosce il notevole pericolo latente ai fini di possibili dissesti. Inoltre gli stessi vuoti, per la presenza di materiali di discarica di tipo combustibile, hanno rappresentato e rappresentano un rischio elevato da carico d'incendio, come più volte già verificatosi, con notevoli danni alle cose e perdite di vite umane.

Si fa anche presente che in più parti della Città esistono muri di contenimento in condizioni di equilibrio precario per fori di drenaggio ormai inefficaci, erosioni notevoli alla loro base e aumento del carico soprastante. La loro instabilità si evidenzia con crolli improvvisi in occasione di copiose precipitazioni piovose le quali, rendendo saturo il terreno, incrementano sensibilmente le spinte sul muro. L'Ufficio Sottosuolo degli anni '80 e '90, con il suo Dirigente, l'ingegnere Goffredo Lombardi, fece sue le risultanze della Prima e Seconda Commissione del 1968 e 1970, operando fattivamente per la gestione di quanto esistente e conosciuto. In particolare, per quanto riguarda la sicurezza dell'esistente in superficie, è stato fatto nel 2000 il censimento dei muri di contenimento e di sottoscarpa in tufo con verifiche di stabilità in condizioni non drenate e numerosi sono stati gli interventi di ripristino.

Prevenzione e prospettive future

L'Ufficio sottosuolo del Comune di Napoli, di cui l'Autore fu consulente sin dalla sua costituzione, è stato – a fasi alterne - per molti anni a disposizione dei Tecnici e degli studiosi che operavano sul territorio perché possano avere indicazioni valide e precise.

Per migliorare la definizione e la gestione dell'esistente e per aumentare il coefficiente globale di sicurezza del territorio anche in prospettiva di futuri interventi da progettare ed eventualmente realizzare, occorre innanzitutto, ed è una urgenza prioritaria, una ricognizione dell'esistente, con la definizione della relativa disposizione

planoaltimetrica nella corografia della Città di Napoli; contestualmente, bisogna gestire la manutenzione degli impianti di servizio secondo una procedura di qualità per ogni loro componente, e similmente una tale procedura va adottata per i nuovi lavori.

Esistono ancora nel sottosuolo della città, sotto Via Chiaia e Monte Echia, vecchie fogne ormai abbandonate anche da secoli le quali, in periodi di piogge copiose, accolgono le acque di esubero alla rete ordinaria, andando a volte rischiosamente in pressione. Sono queste che costituiscono i maggiori pericoli per l'assenza di qualsiasi manutenzione: bisogna assolutamente evitare tragedie come quella di Miano, dove, nel 1997, si aprì una voragine e morirono due persone.

Oggi non è più tempo di studiare, bisogna cominciare a operare dando agli Enti Territoriali quelle risorse operative umane e finanziarie atte a risolvere il problema idrogeologico della Campania e del sottosuolo napoletano in particolare, che per decenni è stato quasi disconosciuto. Già la istituzione di un Commissariato straordinario al Sottosuolo è stato un primo passo positivo, anche se terribilmente tardivo; è estremamente importante sotto il profilo della conoscenza necessaria alla prevenzione il fatto che questo Ufficio straordinario abbia provveduto per prima cosa alla archiviazione digitalizzata di tutti i dati esistenti ovvero ubicazioni, misure, stato e caratteristiche nonché immagini delle cavità e dei cunicoli, della rete fognaria e di quella acquedottistica, e infine dei muri di contenimento, sulla cui pericolosità aveva già posto l'accento la prima Commissione Sottosuolo nei lontani anni '70 del Novecento. Prima positiva conseguenza della digitalizzazione è la campagna di risanamento dei muri di contenimento, e soprattutto l'intervento in danno con cui la mano pubblica interviene anche su murature private in nome dell'urgenza e della sicurezza.

Sarebbe auspicabile una campagna di sensibilizzazione nei confronti della cittadinanza, che dovrebbe segnalare la presenza di pozzi e cavità e dei loro accessi; queste segnalazioni continuano a essere carenti, essenzialmente perché le persone sono convinte di andare incontro soltanto a seccature e spese, e non alla prevenzione di dissesti assai gravi, ma anche perché, purtroppo, molti tendono a nascondere scarichi fognari infilati nella cavità sottostante il proprio stabile. Un'indagine nelle zone ad esempio di Cappella dei Cangiani, del Corso Vittorio Emanuele, nella zona del Corso Amedeo di Savoia e della Sanità porterebbe a notevoli sorprese. Estremamente convincente ai fini delle segnalazioni spontanee sarebbe una normativa che consentisse utilizzazioni ecocompatibili del sottosuolo, e in tal senso dovrebbe essere per prima la Pubblica Amministrazione ad agire in modo esemplare: nel Vallone San Rocco, per esempio, ogni ipotesi di ripristino e utilizzazione come parco pubblico non può non tenere conto della presenza di cavità, alcune di enormi dimensioni.

Ricordi del sottosuolo

A seguito del terremoto che interessò l'Irpinia e Napoli nel 1980 fui precettato per le verifiche di stabilità come tecnico professionista, e mi capitò di controllare la cappella

madre del Cimitero del Pianto, proprio al centro della Loggia del Paradiso a Capodichino, dove, d'accordo con la Sovrintendenza e l'Ufficio Sottosuolo, si decise di fare un sondaggio alla quota assoluta di 62 m. Il sondaggio presentò il tetto del tufo a 21 m, la volta a 23 m e il piano di calpestio a 38,5 m; si decise di allargare il sondaggio a un diametro di 80 cm e di intubarlo per 21 m, fino a poggiarlo sul banco tufaceo. Scesi nel sondaggio e, toccato il fondo, fui colpito dalla vista di resti umani accatastati su un masso al fianco del quale poggiavano due tibie; mi girai per vedere le pareti e mi si presentò uno spettacolo unico. Le pareti erano solcate da linee parallele alte cm. 50, tra le quali, come in una pagina di quaderno, comparivano centinaia di graffiti, in greco antico: ero sceso in una delle cavità più antiche di Napoli, scavata dai greci e mai più rimaneggiata o riadattata perché abbandonata per il crollo dell'accesso, una scoperta che un archeologo di fama mondiale, immediatamente da me contattato, definì "una scoperta paragonabile ai bronzi di Riace". Si evidenzia come dalle cave della zona di Capodichino si estraeva il tufo della qualità migliore dal punto di vista meccanico, prova ne è che i blocchi ancora visibili delle mura ciclopiche in piazza Bellini o in piazza Cavour riportano gli stessi graffiti che si trovano nella cava di Capodichino. Si tratta in pratica di una sorta di "marchio di provenienza".

Oggi la Cava greca è raggiungibile agevolmente da via Stadera nei pressi del palazzo INAIL.

Conclusioni

A Napoli il sottosuolo è storia, nel bene e nel male; Annibale assediò Napoli per mesi sperando di prenderla per la sete e dovette poi ritirarsi a Capua visto che i Napoletani si approvvigionavano di acqua corrente attraverso un vecchio acquedotto sotterraneo. Belisario, più furbo, con la complicità di un pozzaro fece passare il suo esercito attraverso l'acquedotto e, penetrato nella città, la conquistò. I 100 bombardamenti subiti da Napoli durante l'ultimo conflitto, distrussero l'80% delle abitazioni, ma i morti furono solo alcune centinaia, perché la cittadinanza poté trovare rifugio nel sottosuolo.

Il sottosuolo è arte con gli affreschi e i mosaici di cui sono pieni gli lpogei Greci della Sanità e le Catacombe di S. Gennaro e di S. Gaudioso.

Il sottosuolo è archeologia, con tutta quella rete fittissima di cunicoli e cisterne che per chilometri attraversa la città.

Il sottosuolo fa cultura, perché in esso possono tenersi, come già si sono tenuti, congressi, manifestazioni, mostre e proiezioni.

Il sottosuolo è ricchezza, perché questi vuoti possono essere variamente utilizzati.

Il sottosuolo è una realtà che va riscoperta e valorizzata.

Ringraziamenti

L'Autore ringrazia la moglie Maria e l'ing. Michele Maria La Veglia per la consueta collaborazione nella revisione dei testi. L'Autore ringrazia inoltre Antonella Feola,

Francesco Graziuso e tutti i componenti del Centro Speleologico Meridionale che in questi lunghi anni l'hanno sopportato e supportato nelle esplorazioni sotterranee.

Bibliografia di riferimento

Abate Felice. 1840. *Delle acque pubbliche della città di Napoli. Idee intorno la ripristinazione dell'Acquidotto Claudio*. Napoli: Tipografia Flautina

Bechmann G. 1888 *Salubritè urbaine Distributionsd'eau et assainissement.* Paris Baudry et C.

Esposito C. 2007. *Il cimitero delle Fontanelle*. Anacapri: Oxiana Edizioni.

Esposito C. 2018. *Il sottosuolo di Napoli. Acquedotti e cavità in duemila anni di scavi.* Napoli: Intra Moenia.

Esposito C. 2009 *Gli ipogei greci della Sanità*. Anacapri: Oxiana Edizioni.

Guadagno M. 1928 *Monte Echia. Geologia ed antiche escavazioni*. Napoli: Stabilimento tipografico G. Barca

Melisurgo G. 1979 *Napoli sotterranea*, Napoli: Colonnese

Puntillo E. 1994 *Grotte e Caverne di Napoli. La Città sotto la città* Napoli: Newton Compton

Summonte G.A. 1748 *Historia della Città e Regno di Napoli ove si trattano le cose più notabili accadute dalla sua edificazione ai tempi nostri*. Napoli: Stamperia di Domenico Vivenzio

Note

[1] Nelle cave di piperno sembra che non ci siano le "grappiate", i fori utilizzati dai cavamonti per entrare e uscire dalla cava, presenti invece nelle cave di tufo: viste le modeste altezze, è ipotizzabile che gli inizi di scavo venissero raggiunti con scale di legno.

Lucia De Frenza

L'avvio della telegrafia elettrica in Italia. Il contributo di Francesco Zantedeschi (1797-1873)

The start of electric telegraphy in Italy. The contribution of Francesco Zantedeschi (1797-1873)

Sommario
Francesco Zantedeschi insegnò fisica sperimentale all'Università di Padova nel periodo 1849-1857. In questi stessi anni si occupò a lungo di ricerche sulla telegrafia elettrica. Trattò in particolare del passaggio simultaneo di due correnti elettriche nello stesso conduttore. Prese spunto dal lavoro avviato in Francia con l'esperimento di Bréguet, nel 1847, e in Austria con Gintl, nel 1854, sulla possibilità d'invio di dispacci simultanei sulla stessa linea, ma eseguì anche esperimenti originali. Non riuscì a risolvere questo problema. Nel 1853 sperimentò l'applicazione del telegrafo alla meteorologia presso l'Ufficio Centrale dei Telegrafi in Vienna sopra le quattro linee telegrafiche della monarchia austriaca. Realizzò anche alcuni apparecchi per l'uso delle stazioni telegrafiche, come uno scaricatore elettrico-telegrafico nel 1854.

Abstract
Francesco Zantedeschi taught experimental physics at the University of Padua in the years 1849-1857. During this period, he was involved in research into electrical telegraphy. He dealt in particular with the simultaneous passage of two electric currents in the same conductor. He took inspiration from the work that was taking place in France (Bréguet's experiment, 1847) and in Austria (Gintl, 1854), on the possibility of sending simultaneous dispatches along the same line; then, he performed original experiments. However, he was unable to solve this problem. In 1853, he experimented with the application of the telegraph to meteorology at the Central Telegraph Office in Vienna over the four telegraph lines of the Austrian Monarchy. He also made some devices for the use of telegraph stations, such as an electric-telegraph discharger, invented in 1854.

Introduzione
Nel XIX secolo le telecomunicazioni ebbero uno sviluppo esponenziale grazie alle novità emerse nella ricerca in campo elettrico. L'interesse dei fisici a capire e a risolvere le problematiche della trasmissione su filo andò di pari passo allo sviluppo

di un'attività imprenditoriale, che attirò su di sé le maggiori abilità ingegneristiche e nell'ambito di queste, man mano che si attivarono le scuole, le specifiche competenze elettrotecniche. Quest'attività fu particolarmente intensa in Inghilterra, paese che guidò l'impresa di posare il primo cavo transatlantico per collegare vecchio e nuovo mondo, ma anche negli altri Stati europei l'utilità delle applicazioni elettro-telegrafiche richiamò l'interesse degli scienziati, dei tecnici e delle istituzioni (Kieve, 1973; Black, 1983; Hunt, 2021).

Oltre alla realizzazione di sistemi sempre più efficaci per la trasmissione del segnale e la sua decodifica, alla soluzione dei problemi di dispersione, al miglioramento della tecnologia delle linee e all'ottimizzazione dei meccanismi di registrazione alla ricezione, i fisici e gli elettrotecnici si occuparono anche di analizzare dal punto sperimentale i vantaggi dei diversi impianti circuitali con l'obiettivo, in particolare, di rendere possibile la trasmissione simultanea di messaggi attraverso lo stesso cavo. Dal punto di vista economico il problema aveva una grande rilevanza. Con lo sviluppo della telegrafia come principale mezzo di comunicazione si prevedeva di dover estendere la rete o raddoppiare le linee più trafficate, impresa che richiedeva molti capitali; invece, aumentando la capacità di trasmissione dei cavi, si poteva contenere l'estensione delle linee. Fin dalla metà del XIX secolo i fisici s'interessarono al problema della trasmissione simultanea dei segnali lungo lo stesso cavo, detta multiplex. In realtà, le difficoltà tecniche sembrarono all'inizio insormontabili e solo nel 1874 Edison indicò come si potesse quadruplicare la capacità di trasferimento dell'informazione in un cavo utilizzando segnali di diversa intensità. L'evoluzione della tecnologia delle trasmissioni su cavo a partire dalla fine del XIX secolo fu possibile grazie all'applicazione della teoria matematica, che accantonava la sperimentazione del periodo precedente, ma ciò esula da questo contributo.

Nel seguito si considera il lavoro di ricerca svolto dal fisico veronese Francesco Zantedeschi (1797-1873) nei primi due decenni della seconda metà dell'Ottocento nel campo delle trasmissioni telegrafiche, in particolare nell'analisi del problema del passaggio simultaneo di due dispacci nello stesso cavo. Zantedeschi non riuscì a trovare la soluzione, ma, essendo sempre al corrente di tutto quello che si scriveva nei diversi settori di ricerca da lui coltivati, nei suoi scritti offre uno spaccato chiaro di ciò che in quegli anni si teorizzava e si sperimentava su tali argomenti.

Uno sperimentatore eclettico e ostinato

Francesco Zantedeschi nacque a Dolcè, in provincia di Verona, nel 1797. Ordinato sacerdote nel 1822, fu per parecchi anni professore in alcuni licei pubblici del nord Italia e nei seminari vescovili di Pavia e Verona, insegnando prima fisica e poi filosofia, discipline che coltivò entrambe con grande impegno e su cui pubblicò volumi e articoli con costanza inesauribile (Colombini, 1989; Curi, 2001; Carletti, 2012). Nel 1838 ottenne l'insegnamento delle scienze nel regio liceo S. Caterina di Vene-

zia, oggi Liceo Foscarini, e l'anno successivo quello di storia naturale nel medesimo istituto, insieme alla direzione dell'orto botanico. Tra i riconoscimenti più importanti vi fu proprio in questi anni l'ammissione come socio pensionato nell'Istituto veneto di Lettere, Scienze ed Arti, da poco ricostituito dal governo austriaco. Grazie all'alto onore ricevuto e ai meriti guadagnati come sperimentatore ed educatore fu chiamato nel 1849 alla cattedra di fisica sperimentale presso l'Università di Padova, prima come sostituto, perché gli mancava la laurea, e poi come titolare.

Nell'atrio interno del Palazzo del Bò Zantedeschi realizzò il 31 agosto 1853 il primo esperimento d'illuminazione elettrica: con la strumentazione predisposta dal meccanico veneziano Giacomo Longhi e dal costruttore milanese Alessandro Duroni, collocò sotto un palco una batteria di 120 elementi di Bunsen e generò un arco luminoso, che vibrava dal basso verso l'alto fino quasi alle colonne del primo piano, ammirato dai visitatori per oltre cinque ore (Colombini, 1989, pp. LV-LVI).

All'Università di Padova rimase fino al 1857, quando, reso del tutto cieco da una grave malattia agli occhi, fu costretto al ritiro. Continuò a occuparsi di scienza ancora per molti anni, pubblicando diversi lavori quasi fino alla morte, avvenuta a Padova nel 1873.

I biografi e gli storici, anche recenti, hanno mostrato un certo imbarazzo nel collocare questo autore nel panorama scientifico del suo tempo. Infatti, Zantedeschi fu un ricercatore prolifico, ma non fornì un contributo veramente singolare in un campo specifico di studi, a meno di non mettere l'accento sulle sue esperienze di elettrotipia. Fu un insegnante scrupoloso, ma l'oggettività della rappresentazione scientifica a volte fu tradita dalla sua visione metafisica, molto vicina alla teoria della dinamica molecolare di Ambrogio Fusinieri (1775-1853) (Curi, 2001, pp. 71-78). Zantedeschi ebbe, come riconoscono i suoi biografi, doti di abile sperimentatore e una capacità inesauribile di leggere tutto ciò che si pubblicava in ogni campo della conoscenza.

Nel corso negli anni si dedicò a diversi argomenti di ricerca, che spaziavano dall'elettricità all'ottica, dalla meteorologia all'astronomia, dall'acustica alla meccanica, dalla termodinamica alla chimica. Molti hanno insistito sulla sua indole polemica. Tinazzi chiamò ironicamente «sindrome ossessiva sulla primogenitura delle sue idee» la tendenza dello scienziato a rivendicare la priorità di molte scoperte o osservazioni, come quella della produzione di correnti elettriche in una spirale di rame avvolta intorno a una calamita, che avrebbe realizzato due anni prima di Faraday, oppure la riflessione sulla natura, fisica e chimica, della corrente prodotta dalla pila voltiana, che faceva risalire alle sue esperienze del 1841, contestando il merito di Ledeau che ne aveva parlato all'Accademia delle scienze di Parigi dieci anni dopo (Tinazzi, 1998, p. 7). La polemica contro Faraday è citata da tutti i commentatori, i quali riconoscevano a Zantedeschi di aver eseguito l'esperimento (Zantedeschi, 1829), ma di non averne saputo cogliere le implicazioni teoriche. Fa eccezione Beniamino Besso, che riconobbe a Zantedeschi di essere stato il primo a ottenere correnti indotte (Besso, 1875). Il

suo atteggiamento aggressivo e sdegnoso probabilmente nasceva da un senso d'isolamento intellettuale. Non aveva amicizie influenti nell'ambiente accademico, dove arrivò solo dopo venticinque anni di gavetta fatta nelle scuole. Per difendere il proprio lavoro indefesso, usò le armi consuete della polemica personale, superando molto spesso i limiti della *politesse*. Comunque, arroganti e litigiosi furono anche molti altri scienziati del tempo e le rivendicazioni di priorità erano piuttosto frequenti. Fu apprezzato all'epoca soprattutto dagli stranieri, in particolare da Antoine César Becquerel (1788-1878) o Robert Hunt (1807-1887) (Carletti, 2012, pp. 147-149).

In conclusione, si può affermare che Zantedeschi non sia stato uno specialista, ma un appassionato indagatore delle novità scientifiche, il quale intuì le direzioni che si aprivano nei diversi ambiti, non riuscendo, però, ad arrivare a soluzioni efficaci oppure non sapendo leggerle in maniera completa. Ebbe il merito di essere un apprezzato sperimentatore. Nel Gabinetto di Venezia e poi in quello di Padova dedicò molta cura a rimettere in ordine e ad ampliare la dotazione strumentale, costituendo raccolte che divennero un vanto per le istituzioni che le ospitavano (Tinazzi, 1999).

Le ricerche sulla telegrafia elettrica

Uno dei temi più indagati da Zantedeschi fu quello della telegrafia elettrica. Dedicò a questo argomento una prima memoria di carattere divulgativo nel 1846, descrivendo i vantaggi del sistema di trasmissione elettro-magnetico adottato dagli americani in confronto a quelli in funzione in Francia, Belgio e Inghilterra (Zantedeschi, 1846). Durante gli anni dell'insegnamento padovano, aiutato dall'ingegnere Paolo Rocchetti (1814-1897), meccanico della Specola, e dai suoi assistenti, si occupò a lungo della tecnologia delle trasmissioni telegrafiche. Nel 1850 lesse agli accademici dell'Istituto veneto una memoria sull'argomento, in cui si soffermò soprattutto sugli aspetti strumentali e nella quale citò il proprio contributo al perfezionamento della batteria, allo schema del circuito e all'apparecchio ricetrasmittente (Zantedeschi, 1850). Si deve considerare che l'era delle telecomunicazioni era appena iniziata: la prima trasmissione a lunga distanza con il sistema Morse era stata effettuata nel 1844 in America, mentre in Italia Carlo Matteucci (1811-1868) mise a punto il primo telegrafo elettromagnetico per collegare Livorno a Pisa nel 1847 e due anni dopo iniziarono le installazioni della rete telegrafica nel Regno lombardo-veneto. Fu Zantedeschi nel 1850 a procurare all'ingegnere Rocchetti da Trieste alcuni saggi di guttaperca, una gomma naturale adoperata soprattutto in Inghilterra per isolare, in modo che questi potesse escogitare un sistema per rivestirne i cavi di rame e realizzarne la produzione industriale, necessaria all'avvio delle trasmissioni su linee sotterranee in alternativa a quelle aeree.

La comunicazione simultanea nello stesso cavo telegrafico

Il problema del simultaneo passaggio di due correnti nello stesso conduttore era stato affrontato da Zantedeschi già nel 1829 nell'ambito dello studio delle proprietà

generali dei conduttori per l'elettricità voltaica. Aveva interpellato Auguste de la Rive (1801-1873), sottoponendogli l'esperimento, ma il ginevrino aveva risposto che dalle sue indagini e da quelle del padre non si riusciva a ricavare alcun indizio, che provasse che in una sezione comune di un circuito circolassero correnti in senso opposto nello stesso tempo. Su questo problema tornò dieci anni dopo, ma, ritenendo ancora impossibile verificare l'attraversamento del filo da parte di due correnti voltaiche, cambiò esperimento, esaminando la presenza contemporanea di correnti di diverso tipo, una voltaica e l'altra d'induzione elettro-magnetica (Zantedeschi, 1854a). Benché i dati ottenuti confermassero l'ipotesi, i suoi esperimenti non furono ritenuti convincenti: in realtà Zantedeschi aveva modificato il problema e lo aveva affrontato senza il necessario rigore sperimentale. Gravi obiezioni gli furono rivolte, ad esempio, dal professore di fisica del Regio liceo di Porta Nuova di Milano, Luigi Magrini (1802-1868), che dal 1837 si occupava di telegrafia, aveva realizzato le prime trasmissioni in Italia a breve distanza e costruito un suo telegrafo elettromagnetico (Agarinis Magrini, 2011). Magrini nel 1844 sembrò ottenere la conferma sperimentale del passaggio di correnti in un filo, deducendo che queste s'incrociavano senza alterarsi. Il dato fu comunicato all'Académie des Sciences all'interno di un lavoro più ampio sulle correnti telluriche, al quale, poi, altri giornali fecero eco (Magrini, 1845). Tale risultato non era interessante solo da un punto di vista pratico, ma anche perché consentiva di definire meglio la natura dell'elettricità. In effetti, la trasmissione simultanea e in direzioni opposte di correnti era compatibile con un modello di elettricità come vibrazione nella materia, come sostenne Magrini, oppure con quello di elettricità come radiazione analoga alla luce. L'ipotesi che assimilava la corrente alla circolazione di un fluido si opponeva in maniera assoluta all'incontro di due vene liquide senza mescolamento (Magrini, 1855). Zantedeschi, invece, era indeciso: in un primo tempo aveva parlato della possibilità di urti meccanici tra correnti, che incrociandosi in senso opposto si estinguevano (Zantedeschi, 1841, p. 46); successivamente aveva scritto che due correnti potevano percorrere un filo come «vortici a spirale sovrapposti» o spostarsi lungo corsie diverse oppure avanzare come vibrazioni (Zantedeschi, 1854b, p. 60); nel 1855 suggerì l'idea di onde elettriche simili a quelle sonore (Zantedeschi, 1855c, p. 198).

La trasmissione duplex o bidirezionale era un tema che impegnava molti ricercatori, che intuivano che in questo modo si sarebbe potuto aumentare il volume delle comunicazioni telegrafiche, su cui i vari Paesi stavano investendo massicciamente.

Fin dall'inizio tutti i governi avevano compreso gli enormi vantaggi derivanti dall'invio di messaggi su cavo per la velocizzazione delle comunicazioni ufficiali, commerciali e, poi, anche private. Questo fece in modo che le ricerche e le applicazioni fossero supportate, vagliate e in qualche caso anche sorvegliate da organismi statali. Gli scienziati ebbero quasi la percezione di essere impegnati in una competizione nazionale, che li portò a seguire attentamente le indagini dei conterranei con

l'obiettivo di superare gli stranieri e rivendicare il livello avanzato d'innovazione raggiunto dal proprio Paese. Nell'Italia preunitaria la situazione era più complessa, perché i vari Stati fecero scelte differenti nel sostenere la diffusione della telegrafia. Inoltre, i fisici e gli ingegneri impegnati nel settore dipendevano dall'estero per l'acquisizione di competenze e soprattutto di mezzi tecnici. Questo determinò percorsi diversi nei vari contesti territoriali e generò ulteriori divisioni tra gli scienziati: ad esempio, il Granducato di Toscana si allineò ai progressi compiuti in Francia, adottando il telegrafo Bréguet, mentre il Veneto, che era nella sfera austriaca, preferì il sistema Morse. Dopo l'Unità lo stabilimento e l'esercizio delle linee telegrafiche fu affidato al ministero dei Lavori pubblici, che uniformò anche i sistemi di trasmissione attivi negli stati precedenti, portando progressivamente all'adozione in tutti gli uffici del telegrafo Morse (Fari, 2003).

Con una sorta di frenesia nazionalistica procedette anche la corsa a escogitare sistemi per le trasmissioni telegrafiche multiple. In Francia Bréguet e Gounelle effettuarono con successo esperimenti sulla linea Paris-Rouen il 7 aprile 1847 davanti a una commissione della camera dei deputati. Tuttavia, diversi anni dopo il fisico François Moigno riferì che, come gli aveva confidato Bréguet, i dispacci non erano passati nello stesso filo (Moigno, 1854, p. 599). In seno all'Académie des Sciences i fisici (Masson, Provostaye, Desains, Regnault, Foucault e de la Rive) si contesero la priorità di aver risolto il problema. Intanto, il 15 ottobre del 1854, Julius Wilhelm Gintl (1804-1883), direttore dei telegrafi dell'Impero austriaco, eseguì delle prove con telegrafi elettro-chimici sulla linea Linz-Vienna alla presenza del ministro del Commercio, riuscendo a effettuare perfettamente la doppia e simultanea trasmissione di segni attraverso lo stesso cavo (Wheen, 2011, p. 22).

Al tentativo di Gintl fu presente Zantedeschi, che il 4 novembre, a Padova, nella fonderia di Paolo Rocchetti, con gli apparecchi telegrafici da lui costruiti, eseguì un ulteriore esperimento, realizzato con un circuito chiuso isolato, diverso da quello telegrafico, in cui era, invece, interposta la terra, nel quale dimostrò che nello stesso filo potevano passare in senso opposto una corrente continua e una serie di impulsi, generati da due trasmettitori diversi, senza confondersi (Zantedeschi, 1855a). Due giorni dopo egli eseguì un nuovo esperimento simulando la situazione dei circuiti telegrafici e in questo caso le trasmissioni furono distorte. Infine, il 7 novembre realizzò un circuito chiuso, senza utilizzare gli apparati telegrafici, e verificò il simultaneo passaggio di corrente con degli aghi calamitati; in questo modo dimostrò, come aveva fatto alcuni giorni prima, che le correnti potevano incrociarsi e passare nello stesso filo se nel percorso attraverso la sezione in comune incontravano minore resistenza. In sintesi, nelle linee telegrafiche a cavo unico con le piastre di terra non si poteva dimostrare la simultaneità, mentre nei circuiti chiusi l'attraversamento sincrono del filo era indubitabile. Diverse furono le obiezioni rivolte a Zantedeschi. Le critiche più dirette vennero da Giusto Bellavitis (1803-1880), professore di ge-

ometria a Padova, e poi da Giuseppe Belli (1791-1860), titolare della cattedra di fisica a Pavia. Il primo sostenne l'impossibilità di dimostrare il passaggio effettivo delle correnti nella porzione comune di filo, ipotizzando percorsi alternativi lungo il circuito; Zantedeschi gli rispose con ulteriori esperimenti, neanche questi convincenti, nella riunione dell'Istituto veneto di aprile 1855 (Zantedeschi, 1855c). Anche a Belli, che aveva obiettato che non erano rilevate tensioni nei circuiti attraversati da correnti in senso opposto, rispose per le rime, coerentemente al suo *modus operandi* (Zantedeschi, 1857). La realtà era che, finché gli scienziati avessero continuato ad avere rappresentazioni diverse di quella che era l'entità fisica chiamata "elettricità", difficilmente avrebbero trovato un accordo sulla interpretazione dei risultati di tanti esperimenti. Inoltre, dal punto di vista fisico non era stato compreso che occorreva considerare anche la capacità dei cavi, determinante per definire l'impedenza delle linee telegrafiche, invece che limitarsi a considerarne solo la resistenza.

Nella pratica, però, continuava a essere impellente la soluzione al problema della trasmissione simultanea dei dispacci nello stesso cavo telegrafico e per diversi anni si cercò di raggiungere questo risultato. Con l'ampliarsi dei servizi di gestione delle reti, molti ingegneri elettrotecnici furono coinvolti direttamente nella ricerca di soluzioni per migliorare le prerogative del sistema di trasmissione. Gli ingegneri, generalmente estranei alle pedanterie accademiche, si applicarono alla ricerca in maniera isolata e idearono dispositivi che avevano le stesse o simili caratteristiche, prodotti in maniera indipendente. Tra i vari sistemi ci furono quelli del tedesco Carl Frischen (1830-1890), inventato indipendentemente da Ernst W. Siemens, (1816-1892) e dell'americano Joseph B. Stearns (1831-1895), brevettato nel 1872. Due anni dopo Thomas A. Edison (1847-1931) propose il suo sistema quadruplex. In Italia Antonio Alippio Cappelletto (1805-1874), ingegnere ferroviario di origini veneziane, costruì un suo apparato per la doppia trasmissione nel 1873, rinunciando a riservarsene la privativa per diffonderne l'uso. Intanto, i francesi erano arrivati alla trasmissione in sextuplex nel 1875 grazie a un apparato e a un codice introdotti dall'ispettore telegrafico Emile Baudot (1845-1903), che furono esportati in diversi Paesi del mondo (King, 1963). La sperimentazione guidò la maggior parte delle realizzazioni quasi fino alla fine del XIX secolo, mentre la ricerca teorica e la formalizzazione matematica progredirono con più lentezza.

Il telegrafo Zantedeschi

Nel gennaio 1855 Zantedeschi si recò in Francia per fare esperimenti sulla trasmissione simultanea di due dispacci sulle linee francesi. Per apportare gli ultimi aggiustamenti al suo progetto chiese l'aiuto dei costruttori della Maison Pixii, i signori Fabre e Kunemann, con i quali si accordò per la costruzione del suo telegrafo elettromagnetico. Qualche mese dopo i due fabbricanti gli proposero la richiesta del brevetto con paternità congiunta, inventore e artefici: i costi sarebbero stati prima supportati da entrambi i richiedenti e poi coperti dal ricavato della vendita dello strumento; il

brevetto sarebbe stato depositato in Francia, poi in Belgio e quindi negli Stati Uniti. Zantedeschi doveva tenerli informati dei progressi che realizzava nei suoi studi e Fabre e Kunemann dovevano costruire per lui dei prototipi. Una proposta di sodalizio di questo tipo, considerato il mercato raggiunto della ditta di costruttori francesi e la loro rete di relazioni, testimoniava la credibilità che Zantedeschi aveva acquisito all'estero nel settore delle telecomunicazioni (Carletti, 2014, p. 204).

Il telegrafo inventato dal veronese, descritto in una nota di due pagine stampata il 17 marzo 1855 a Padova e riportata subito dopo in alcuni giornali italiani e francesi (Zantedeschi, 1855b), usava una linea telegrafica comunicante con la terra ed era in grado di far circolare nel cavo i segnali di volta in volta inviati dalle due stazioni collegate. La simultaneità era data dall'uso contemporaneo della linea, benché, in realtà, le pulsazioni fossero trasmesse in maniera alternata in base ai contatti stabiliti dai due pulsatori con le corrispondenti batterie nelle stazioni. Il circuito si biforcava ai due punti estremi della linea, creando una sezione che trasmetteva la corrente derivata e una di corrente diretta connessa alla stazione opposta; entrambe le sezioni comunicavano con il regolatore o *relè*. Un altro filo metteva in comunicazione la batteria locale con la linea telegrafica, generando alternativamente corrente diretta o derivata, a seconda della posizione del pulsatore: se il pulsatore era abbassato, si chiudeva il circuito tra il polo positivo della batteria e la linea telegrafica e il circolo tra regolatore, pulsatore e linea telegrafica veniva interrotto; al contrario, se il pulsatore era alzato, veniva interrotta la comunicazione tra polo positivo, pulsatore e linea telegrafica, era ristabilita la comunicazione tra regolatore e linea telegrafica e arrivava la corrente dalla stazione opposta. Questo poteva verificarsi solo se il ramo della corrente derivata opponeva una resistenza maggiore di quella della linea telegrafica, ma minore della somma di quella della linea telegrafica e della linea della corrente di derivazione: l'aumento della resistenza si otteneva con un reostato. Se si abbassava il pulsatore della prima stazione, la corrente della batteria di questa arrivava alla seconda stazione, passava al regolatore e azionava l'apparato scrivente, perché questa linea era quella di minore resistenza. Invece, se alla stazione ricevente il pulsatore era abbassato, la corrente non poteva seguire la linea telegrafica, perché di maggiore resistenza, e s'immetteva nella linea derivata, arrivando al regolatore e azionando l'apparato scrivente. In entrambi i casi, seguendo sia la linea telegrafica che quella derivata, l'apparato scrivente era azionato dagli impulsi arrivati dalla prima stazione. Lo stesso accadeva, se a trasmettere era la seconda stazione. Il limite dell'apparecchio era quello di consentire solo una doppia corrispondenza nella stessa linea. È difficile stabilire le ragioni che fecero fallire l'impresa della produzione del telegrafo Zantedeschi. Non ci sono dubbi, invece, sul fatto che questo professore di fisica avesse intuito in quegli anni i vantaggi di applicare l'innovazione tecnologica alle attività imprenditoriali nel campo in crescente sviluppo delle tecnologie elettriche e che avesse capito che bisognava cercare collaborazioni all'estero per la difficoltà di sviluppare i suoi risultati in patria.

Un nuovo campo d'applicazione: la meteorologia

Fin dall'inizio delle sue ricerche sulla telegrafia Zantedeschi concepì l'idea che le linee potessero essere utilizzate per lo scambio dei dati meteorologici tra le stazioni d'osservazione a vantaggio dell'agricoltura, del commercio e della navigazione. Nel 1853 fu autorizzato a eseguire degli esperimenti presso l'Ufficio centrale dei telegrafi in Vienna sulle quattro linee telegrafiche della monarchia austriaca: Vienna-Trieste, Linz-Vienna, Brunn-Vienna, Vienna-Klausembourg-Hermanstadt, con l'intento di stabilire se l'elettricità atmosferica e quella del suolo potessero essere rilevate dai cavi telegrafici e, quindi, se fosse possibile utilizzare la rete come "strumento" meteorologico. Le misure eseguite fornirono la conferma della formazione di correnti più o meno intense nei cavi dipendenti dalle condizioni meteorologiche, per cui Zantedeschi suggerì che nei pressi degli uffici telegrafici si costituissero degli osservatori meteorologici. Nello stesso tempo, egli intravide l'importanza della connessione degli osservatori tramite la rete telegrafica con lo scopo di permettere valutazioni sinottiche dei dati e stabilire andamenti più generali relativi al clima delle varie zone (Zantedeschi, 1853, p. 734). La sperimentazione fu estesa nel 1854 anche alle linee Udine-Milano e Mantova-Innsbruck (Zantedeschi, 1865, pp. 1418-1419), ma non fu mai stabilita come prassi.

L'idea di utilizzare le linee in ambito meteorologico fu sviluppata concretamente in Inghilterra da Robert FitzRoy (1805-1865) tra il 1854 e il 1857: allo scopo di creare un servizio meteorologico sinottico, le osservazioni effettuate dalle varie stazioni erano trasmesse giornalmente tramite rete telegrafica all'Ufficio meteorologico centrale di Londra; dall'analisi dei dati FitzRoy iniziò a trarre previsioni e, in favore della popolazione, ottenne dal governo il permesso di attivare un servizio di allarme tempesta. In Francia l'astronomo Urbain Le Verrier (1811-1877) realizzò nel 1854 presso l'Osservatorio di Parigi un centro di raccolta di dati meteorologici, che poi divenne internazionale, con lo scopo di disegnare mappe con semplici previsioni da inviare giornalmente per telegrafo (Locher, 2007). A questa rete partecipò nel 1857 anche l'Osservatorio del Collegio romano; già due anni prima il suo direttore, Angelo Secchi (1818-1878), aveva ottenuto dal cardinale Giuseppe Milesi, ministro pontificio del Commercio e dei lavori pubblici, l'autorizzazione all'impianto di una rete degli osservatori di stato collegati tramite linea telegrafica; i dati meteorologici inviati a Secchi venivano pubblicati regolarmente nella Corrispondenza scientifica di Roma fino al 1857, quando l'iniziativa fu sospesa (Favino, 2021, pp. 109-116).

Nel 1865, nel momento in cui Parigi e Roma iniziarono a contendersi il merito di aver avviato per primi una rete telegrafica tra gli osservatori meteorologici, Zantedeschi rivendicò per sé la priorità dell'idea: «La mia sventura si fu di essere stato il primo a proporre e a fare esperimenti telegrafo-meteorologici in un'epoca, nella quale le mie proposte si riguardavano *come immaturate*, e quasi chimerici i risultamenti da me ottenuti. Ora che la telegrafia meteorologica è proprietà delle più culte

nazioni, posso io gloriarmi di avere prevenuto lo sviluppo di questa applicazione in Europa» (Zantedeschi, 1865, pp. 1422-1423). In questo caso il merito di essere stato pioniere mondiale della telegrafia applicata alla meteorologia gli fu riconosciuto da Francesco Denza, fondatore nel 1875 della rete italiana degli osservatori meteorologici (Denza, 1883, p. 416).

Conclusioni

Zantedeschi vide nella fisica uno dei grandi motori di civilizzazione dell'umanità. I progressi delle scienze e delle tecniche, cui contribuì con le sue ricerche, rafforzavano l'ideale costruzione di una comunità umana solidale: Zantedeschi ebbe un posto importante nella scienza italiana pre-unitaria, anche perché impersonò la vocazione dello scienziato, non ancora specialista, a interessarsi alle applicazioni utili allo sviluppo delle attività umane.

I limiti della sua riflessione sono, però, facili da evidenziare. Innanzitutto quello ideologico, perché la scelta teorica cui rimase sempre coerente, quella metafisica di fondo detta "dinamica molecolare", riportante i fenomeni fisici e chimici a moti tra particelle in squilibrio di forze, non gli consentì di apprezzare concetti "astratti", come l'azione a distanza di Newton, e alcune teorie più recenti sul magneto-elettricismo. In secondo luogo, lo mise in cattiva luce la sua smania di essere riconosciuto pioniere in ogni campo di ricerca. Peraltro, egli sentì fortemente l'esigenza di dover rivendicare i meriti della scienza nazionale, anche prima che l'Italia fosse unita. Soprattutto nel settore delle applicazioni elettriche più recenti, come quello delle telecomunicazioni, in cui i governi erano direttamente coinvolti, già a metà dell'Ottocento iniziarono a circolare ricostruzioni storiche, in cui il contributo italiano era omesso. Zantedeschi difese il suo lavoro, ma anche quello di parecchi italiani, che negli stessi anni dei francesi, inglesi, americani e tedeschi realizzavano avanzamenti in questo ambito di ricerca.

Per lo sviluppo tecnico ebbe lo stesso orgoglio sciovinistico. Per esempio, si procurò campioni inglesi di cavi isolati da guttaperca, perché a Padova imparassero a replicarli e ne avviassero la produzione industriale. Ideò personalmente degli strumenti, che potessero competere con quelli stranieri. Oltre al telegrafo, realizzò uno scaricatore elettrico-telegrafico nel 1854. Si trattava di un congegno per proteggere operatori e strumenti dal sovraccarico dei cavi, che aveva la stessa concezione di altri in commercio, ma era più semplice ed economico, anche se rimase al livello di prototipo (Zantedeschi, 1854c). Fu molto sensibile anche al problema di migliorare le competenze strumentali dei connazionali: quando riferì della decisione di Matteucci di commissionare a macchinisti italiani a Londra la costruzione di apparecchi meteorologici, scrisse che sarebbe stato più conveniente per l'economia nazionale se i costruttori fossero venuti a realizzare gli strumenti in qualche istituto tecnico di Torino o Milano, con la collaborazione di personale locale, perché se ne sarebbe potuta acquisire la competenza (Zantedeschi, 1866, p. 24).

In sintesi, il contributo di Zantedeschi allo sviluppo delle telecomunicazioni fu marginale, ma non del tutto inefficace. Tuttavia, le sue idee e le sue iniziative restano sconosciute alla maggioranza degli storici. La ricostruzione delle prime fasi delle trasmissioni telegrafiche in Italia dal punto di vista scientifico è certamente da arricchire. Questo articolo ha voluto offrire solo qualche spunto per mostrare, attraverso l'esperienza di uno dei fisici italiani più informato del tempo, quale intreccio di relazioni internazionali si fosse generato tra fisici e ingegneri, tra accademici e costruttori, per la soluzione dei problemi emersi, in Italia e all'estero, nelle prime realizzazioni del settore.

Bibliografia

Agarinis Magrini B. 2011. Magrini Luigi. In: Nuovo Liruti. *Dizionario biografico dei friulani. 3. L'età contemporanea.* 2007-2010. Udine: Forum Editrice.

Besso B. 1875. *Le grandi invenzioni e scoperte antiche e moderne nelle scienze, nell'industria e nelle arti*. 7 ed., 3. Milano: Treves.

Black R.M. 1983. *The history of electric wires and cables*. London: Peter Peregrinus.

Carletti C. 2012. Scienza di provincia. La fisica di Francesco Zantedeschi nell'Italia preunitaria. Quaderni per la storia dell'Università di Padova, 45, 139-167.

Carletti C. 2014. Keeping Abreast with the Technology of Science: The Economic Life of the Physics Lavoratory at the University of Padua, 1847-1857. In: *Italian technology from the Renaissance to the Twentieth Century* (A. Guagnini, L. Molà Eds.). History of technology, 32, 191-209. London: Bloomsbury.

Colombini G. (a cura di) 1989. *La fisica a Padova nell'800. Vita e opere di Francesco Zantedeschi*. Padova: Dipartimento di Fisica "G. Galilei".

Curi E. (a cura di). 2001. *La figura e l'opera di Francesco Zantedeschi*. Verona: Accademia di agricoltura, scienze e lettere.

Denza F. 1883. La meteorologia in Italia. Gli studi in Italia, VI, 1, 3, 405-449.

Fari S. 2003. La telegrafia in Italia dal 1861 al 1866. Origini della rete telegrafica nazionale. Archivio per la storia postale. Comunicazioni e Società, 14-15, 81-126.

Favino F. 2021. D*onne e scienza nella Roma dell'Ottocento*. Roma: Viella.

Kieve J. 1973. *The electric telegraph: a social and economic history.* Newton Abbot: David & Charles.

King J. 1963. The development of electrical technology in the 19th century: 1. The electrochemical cell and the electromagnet, 2. The Telegraph and the Telephone. Bulletin United States National Museum, 228, 273-332.

Hunt B.J. 2021. *Imperial science. Cable Telegraphy and Electrical Physics in the Victorian British Empire*. Cambridge: University press.

Locher F. 2007. L'empire de l'astronome. Urbain Le Verrier, l'ordre et le pouvoir. Cahier d'histoire. Revue d'histoire critique, 102, 33-48.

Magrini L. 1845. Expériences sur la force électro-motrice tellurique, exécutées par M. L. Magrini, avec l'appareil que la ville de Milan fit construire à l'occasion du sixième Congrès scientifique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 20, 183-190.

Magrini L. 1855. Notizie storiche, considerazioni ed esperimenti sul quesito: Possono in uno stesso filo coesistere due correnti contrarie, e trasmettersi simultaneamente due dispacci elettrici in senso opposto? Giornale dell'I.R. Istituto Lombardo, 7, 3-18.

Moigno F.N.M. 1854. Nouvelles et faits divers. Cosmos, 3, 5, 593-602.
Tinazzi M. 1998. Francesco Zantedeschi: manoscritti e lettere veronesi. In: *Atti del XVIII Congresso SISFA*, 1-15. Milano: Università degli Studi.
Tinazzi M. 1999. The contribution of Francesco Zantedeschi at the development of the experimental laboratory of Physics Faculty of the Padua University. In: *Atti del XIX Congresso SISFA*, 302-311. Milano: Università degli Studi.
Wheen A. 2011. *Dot-Dash to Dot.Com: How Modern Telecommunications Evolved from the Telegraph to the Internet*. New York: Springer.
Zantedeschi F. 1829. Nota sopra l'azione della calamita e di alcuni fenomeni chimici. Biblioteca Italiana, 53, 398-402.
Zantedeschi F. 1841. Relazione di alcune sue esperienze sulla induzione dinamica. Atti dell'I.R. Istituto veneto, 1, 46-47.
Zantedeschi F. 1846. Della telegrafia elettro-magnetica. Emporeo Artistico Letterario, 590-593.
Zantedeschi F. 1850. Sulla telegrafia elettro-magnetica. Atti dell'I.R. Istituto veneto, s. 2, 1, 57-64.
Zantedeschi F. 1853. Schreiben des Herrn Professors Zantedeschi an den Herrn Telegraphen-Director Dr. W. Gintl über die Existenz und die Natur der elektrischen Ströme, welche in den Telegraphen-Leitungen beobachtet wurden. Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, 11, 730-734.
Zantedeschi F. 1854a. Dell'azione reciproca di due correnti elettriche dirette nel medesimo senso e in senso opposto nello stesso filo, e dell'azione induttiva laterale nelle medesime in fili isolati paralleli vicinissimi. Ateneo italiano, 2, 6-11.
Zantedeschi F. 1854b. Delle correnti elettriche simultanee, che passano in direzioni opposte sul medesimo filo. Ateneo italiano, 3, 56-60.
Zantedeschi F. 1854c. Intorno ad uno scaricatore elettro-telegrafico. Atti dell'I.R. Istituto Veneto, s. 2, 4, 181-182.
Zantedeschi F. 1855a. Sul simultaneo passaggio delle correnti elettriche opposte ai circuiti metallici chiusi ed isolati dalla terra e delle loro differenze coi circuiti misti delle linee aereo-telluriche, in relazione alla telegrafia elettrica. Atti dell'I.R. Istituto Veneto, s. 2, 6, 111-126.
Zantedeschi F. 1855b. Telegrafo a correnti dirette successive e derivate contemporanee per la doppia simultanea corrispondenza sopra un solo filo comunicante colla terra. Padova: Sicca.
Zantedeschi F. 1855c. Memoria sugli argomenti comprovanti il simultaneo passaggio delle opposte correnti sullo stesso filo conduttore comune a due circuiti chiusi od isolati. Atti dell'I.R. Istituto Veneto, s. 2, 6, 197-215.
Zantedeschi F. 1857. Osservazioni ai nuovi sforzi fatti dal Belli a difesa dei due esperimenti addotti dal Matteucci e dal Petrina, contro la simultanea esistenza di due opposte correnti elettriche sul medesimo filo conduttore. Sitzungsberichte der Mathematisch-naturwissenschaftlichen, klasse der K. Akademie der Wissenschaften, 27, 431-436.
Zantedeschi F. 1865. Dei documenti comprovanti la proposta e l'applicazione da lui fatte negli anni 1849, 1850, 1853 d 1854, del telegrafo elettro-magnetico alla meteorologia e agli avvisi delle burrasche. Atti dell'I.R. Istituto Veneto, s. 3, 10, 1414-1423.
Zantedeschi F. 1866. *Gli allarmi magnetici delle burrasche e i presagi della telegrafia meteorologica. Documenti storici*. Padova: Bianchi.

Carlo Blasi

Le ricostruzioni e i restauri di Notre Dame dal XIX al XXI secolo, ovvero l'ingegneria in Francia da Rondelet e Violet le Duc fino ai giorni nostri

The reconstructions and restorations of Notre Dame from the 19th to the 21st centuries or engineering in France from Rondelet and Violet le Duc to the present day

Sommario

Gli eventi salienti della storia della Cattedrale di *Notre Dame* coincidono con momenti caratterizzanti lo sviluppo delle conoscenze architettoniche e ingegneristiche. La costruzione è avvenuta nella seconda metà del XII secolo, nel momento nel quale i costruttori di cattedrali acquisivano la massima consapevolezza delle regole dell'equilibrio; la ricostruzione del XIX secolo, dopo i danni della Rivoluzione, è avvenuta nel momento della nascita della Scienza delle Costruzioni, che proprio in Francia ha avuto il suo maggiore sviluppo. Infine, per l'attuale ricostruzione, si è ricorsi alle modellazioni numeriche più avanzate per descrivere il comportamento delle complesse strutture murarie. Il livello di conoscenza del monumento al quale è stato possibile pervenire dopo l'incendio del 15 aprile 2019, ha inoltre permesso di comprendere la maestria con la quale fu costruita la Cattedrale, perfettamente dimensionata in ogni suo elemento costruttivo. Ciò ha consentito una ricostruzione fedele e nello stesso tempo una ricostruzione sicura.

Abstract

The salient events in the history of *Notre Dame* Cathedral coincide with crucial moments that characterized the architectural and engineering development in the construction field. The construction of the Cathedral took place in the second half of the 12th century, at the moment of maximum awareness of the rules of balance; the reconstruction of the 19th century, after the degradation due the Revolution, occurred at the moment of the birth of the modern construction Science. Finally, for the current reconstruction the most advanced numerical modeling was used to describe the behavior of the complex masonry structures. After the fire of 15th April 2019, thanks to the scaffolding made up to the top of the spire, it has been possible to increase the level of knowledge of the monument and to understand the mastery with

which the Cathedral was built, perfectly sized in each of its construction elements. This allowed a faithful reconstruction and at the same time a safe reconstruction.

Introduzione

Il progetto di ricostruzione della Cattedrale di *Notre Dame* in modo simile a come era prima dell'incendio del 15 aprile 2019 ha sollevato sia in Francia che in Italia, un vivace dibattito sull'opportunità di una ricostruzione "*à l'identique*" di opere realizzate alla metà del XIX secolo, per il restauro della cattedrale dopo gli scempi della Rivoluzione Francese, e quindi da alcuni reputate di poco valore.

In realtà, nel XVIII e nel XIX secolo la Francia era certamente all'avanguardia nelle scienze e in particolare nelle scienze applicate alle costruzioni e la *flèche* di *Notre Dame*, in Figura 1, tanto per prendere un esempio, era un capolavoro di ingegneria e di architettura, realizzato ricorrendo alle più moderne conoscenze tecniche e scientifiche, tanto da raggiungere, con i suoi circa novanta metri, una delle massime altezze tra le costruzioni in legno. Per quanto riguarda le forme è noto che la seconda metà del XIX secolo è quella dell'architettura eclettica, dal neoclassico al neogotico, e gli interventi ottocenteschi su *Notre Dame* non potevano che essere una manifestazione artistica del secolo in corso: una novità, non una copia.

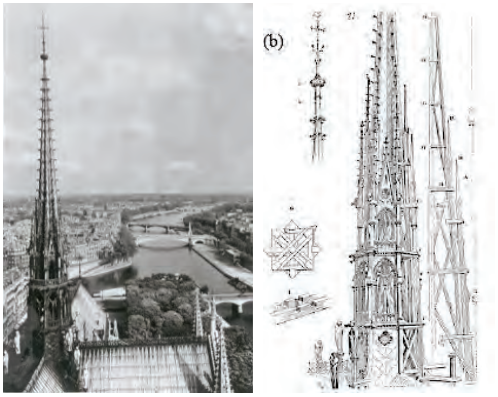


Fig. 1 - La flèche di Viollet-le-Duc in una foto di inizio del secolo scorso, a sinistra, e in un disegno originale, a destra.

A seguito dell'incendio del 2019, grazie ai ponteggi installati, è stato possibile effettuare una ispezione dettagliata di tutti gli elementi costruttivi rimasti, che, insieme al parallelo studio delle vicende storiche, ha permesso di apprezzare a pieno il valore tecnico e innovativo di tutti i costruttori che si sono succeduti nei secoli intorno a questa cattedrale, sia quelli medievali che quelli ottocenteschi. In Figura 2 è riportato un disegno che mostra i primi esperimenti, alla fine del Settecento, per studiare il comportamento delle travi di ferro inflesse.

Le vicende salienti di *Notre Dame* coincidono con i momenti di massimo sviluppo delle conoscenze nel campo dell'Ingegneria civile. Se nel XII secolo è il perfetto dominio dell'equilibrio che caratterizza, come novità, le costruzioni gotiche, nell'Ottocento una rivoluzione avviene nell'architettura dovuta alla disponibilità a livello industriale di un nuovo materiale con resistenza a trazione, che si comprendeva avrebbe modificato completamente le costruzioni: il ferro. L'impiego del ferro ha

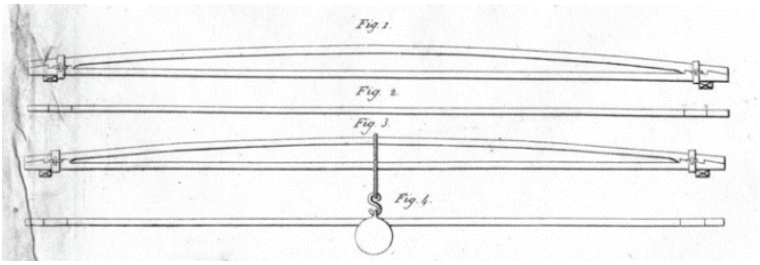


Fig. 2 - Dal "Trattato" di J.B. Rondelet: il disegno mostra i primi esperimenti, alla fine del Settecento, per studiare il comportamento delle travi di ferro inflesse.

reso necessaria nel XIX secolo l'invenzione di una nuova scienza che permettesse di prevedere il comportamento di elementi costruttivi realizzati con il nuovo materiale: la Scienza delle Costruzioni.

Fino alla fine del XVIII secolo il principio di proporzionalità, ovvero la convinzione che la stabilità di una costruzione più piccola fosse garanzia anche per una più grande, se realizzata con misure in proporzione, basato sull'esperienza millenaria dei costruttori e sulla sapienza dell'Arte di Costruire, era ancora il riferimento principale per i nuovi progetti, nonostante Galileo Galilei, ormai da tempo, avesse dimostrato con il suo "osso" come il principio fosse valido solo per l'equilibrio e non per la resistenza degli elementi costruttivi. Ma con l'avvento del ferro, mancava ogni riferimento: nessuno sapeva non solo dimensionare ma nemmeno quale geometria dovesse avere una trave di ferro.

Questo passaggio, dall'Arte di costruire alla Scienza delle costruzioni avviene principalmente in Francia. Augustin-Louis Cauchy, Joseph-Louis Lagrange, Claude-Louis Navier e Adhémar-Jean-Claude Barré De Saint Venant, in Figura 3, sono solo i più famosi padri de *la mécanique des matériaux* e hanno tutti operato in Francia all'inizio del XIX secolo, più o meno quando Viollet-le-Duc ricostruiva *Notre Dame*.

Fig. 3 - I maestri francesi della Scienza delle costruzioni del XIX secolo.

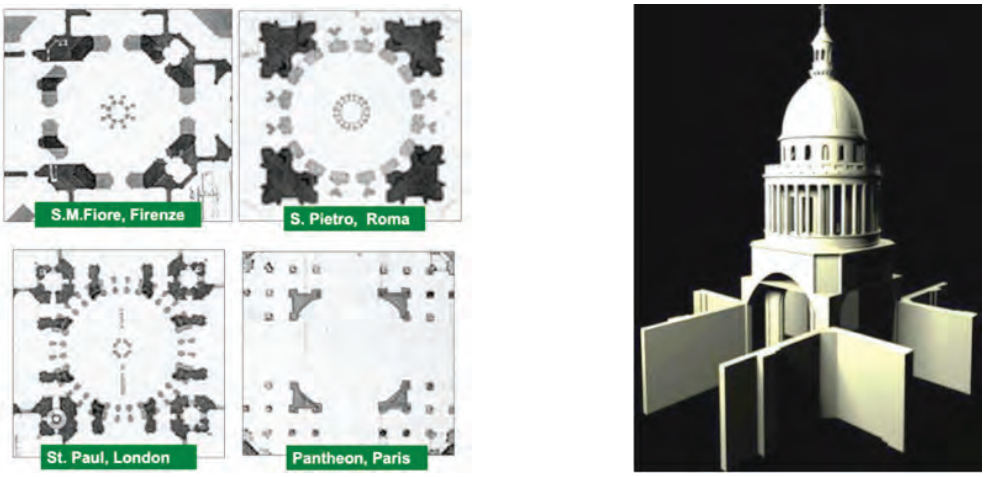


Fig. 4 - Chiesa di Sainte Geneviève, oggi Panthéon di Parigi: struttura costruita alla fine del XVIII secolo, a sinistra, e confronto tra le dimensioni dei pilastri e quelli degli altri edifici preesistenti, unificando il diametro delle cupole, a destra.

A Parigi era anche la più famosa scuola d'Ingegneria: *L'École des Ponts et chaussées.* Ancora a Parigi è il primo edificio per il quale si può affermare che è stato realizzato un calcolo moderno di previsione del comportamento di una struttura, avvenuto qualche decennio prima degli studi degli scienziati sopra ricordati. Si tratta infatti del calcolo dei pilastri per la costruenda Chiesa di Saint Geneviève, patrona di Parigi, l'odierno Panthéon, alla fine del Settecento, in Figura 4. Il progetto di Soufflot per la nuova chiesa prevedeva pilastri snelli rinforzati con staffe di ferro a sostegno della cupola, già segno di nuove tendenze architettoniche. I pilastri erano troppo snelli in confronto di quelli degli altri edifici simili preesistenti e non erano in accordo con il citato principio di proporzionalità, per cui il progetto fu contestato da subito e fu necessario fare un "calcolo" per dimostrarne la fattibilità. Ci furono feroci dispute, ma ciò fu di stimolo per i nuovi studi sulla nuova Scienza.

Per dimostrare la bontà del progetto, Jacques-Germain Soufflot, con l'aiuto prima di Emiland Gauthey, direttore de *l'École des Ponts et chaussées* e poi di Jean-Baptiste Rondelet, costruì la prima macchina per misurare la resistenza della pietra schiacciando dei cubetti, in Figura 5.

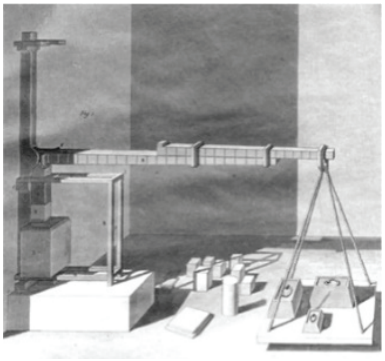


Fig. 5 - Dal "Trattato" di J.B. Rondelet: la prima macchina per schiacciare i cubetti di pietra e determinare la tensione di rottura.

Niente di molto diverso da quello che si fa oggi con le presse e i cubetti di cemento. Definita la resistenza di rottura a compressione della pietra, Rondelet calcolò il peso gravante sui pilastri, che avrebbero dovuto sostener la cupola, e le conseguenti tensioni sui pilastri con la semplice formula: $f=N/A$ dove f è la tensione di compressione, N è il carico e A è la sezione dei pilastri.

Verificata la notevole maggiore resistenza rispetto alle tensioni calcolate, si poté procedere alla costruzione che, però, ebbe risultati infausti per altre ragioni che esulano da questa esposizione e che portarono a un rinforzo dei pilastri.

È pochi decenni dopo la pubblicazione del "Trattato", ancora in un clima di innovazione e di sviluppo tecnico, scientifico e culturale, che Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc ricostruisce *Notre Dame*. La Parigi di metà Ottocento, dopo la Rivoluzione, era un enorme cantiere di nuove costruzioni; ciò nonostante, Viollet-le-Duc è oggi spesso considerato con negativa sufficienza dagli storici dell'arte e dai restauratori, perché ha messo la sua genialità al servizio della costruzione di architetture neomedievali. Viollet-le-Duc è stato un magistrale conoscitore dell'architettura gotica, in ogni suo aspetto costruttivo più recondito, e si è cimentato in opere ardite, segno di inventiva architettonica e di capacità ingegneristica. Le grandiose guglie della Cattedrale di Clermont Ferrand, in Figura 6, non sono un "falso storico", ma una vera opera nuova realizzata secondo il gusto ottocentesco. Se viste da fuori le guglie di Clermont-Ferrand stupiscono per la loro snellezza, ma guardandole dall'interno sbalordiscono per l'ardire ingegneristico, la capacità progettuale e il dominio dei materiali.

Fig. 6 - Esterno e interno delle guglie della facciata della Cattedrale di Clermont-Ferrand.

In quegli anni *Notre Dame* versava in uno stato di diffuso e grave degrado. La *flèche*, smontata prima della Rivoluzione per lo stato di avanzato degrado degli elementi lignei, non era stata ricostruita. Il tetto era pericolante e molte capriate marce. È in questa situazione che Victor Hugo denunciò lo stato di degrado e auspicò un adeguato restauro. Viollet-le-Duc venne infine chiamato per restaurare la cattedrale e ricostruire la guglia e opera come ci si aspettava che operasse un architetto della metà del XIX secolo. Eliminò le capriate marce e ne installò delle nuove, conservando quelle medievali del coro in buono stato e purtroppo distrutte dall'incendio recente, eliminò le murature pericolanti e le ricostruì più solide, inserì numerose cerchiature d'acciaio nella navata, nel transetto e nel coro, in parte all'interno dei muri, quelle che hanno salvato *Notre Dame* dal crollo totale

nel 2019. Alcune delle catene di ferro all'interno dei muri sono state scoperte solo grazie, purtroppo, alla disgregazione dei muri a causa dell'incendio. Infine, costruì la nuova guglia più alta di quella originaria con un cantiere coraggioso, si vedano le Figure 1 e 7. In verità il primo progetto era quello di ricostruire una guglia uguale a quella smontata circa sessanta anni prima, ma poi è prevalsa l'idea di una guglia più alta, come segno delle capacità costruttive della Francia dell'epoca.

Fig. 7 - Immagine di uno degli appoggi della guglia di Viollet-le-Duc sulle reni della volta centrale prima dell'incendio: un groviglio di grosse travi sovrapposte.

Come era Notre Dame il 14 aprile 2019?

Dopo i restauri di Viollet-le-Duc, *Notre Dame* non ha subito particolari dissesti o danni, se non quelli legati al degrado superficiale di una pietra sedimentaria di modesta resistenza, con all'interno anche numerose conchiglie ben visibili.

Notre Dame era, al momento dell'incendio, una fabbrica dotata di ottima stabilità. I rilievi effettuati prima dell'incendio hanno mostrato alcune deformazioni e alcuni movimenti storici di particolare interesse. Il controllo dell'orizzontalità delle cornici della facciata e della verticalità dei pilastri interni, effettuato dall'ingegnere Mathias Fantin, della società Bestrema di Chambery, ha messo in evidenza come la parte nord della cattedrale abbia avuto nel tempo un cedimento fondale verticale di circa 33 cm, con una rotazione praticamente rigida di tutta la facciata e della navata (in Figura 8). Inoltre, le sommità dei muri della navata sono ruotate verso l'esterno per la spina delle volte provocando un aumento della luce di circa 25 cm, in Figura 9. Al contrario, nel coro, si è avuta una rotazione opposta verso l'interno, per la spinta degli archi rampanti, con conseguente riduzione della luce di circa 20 cm.

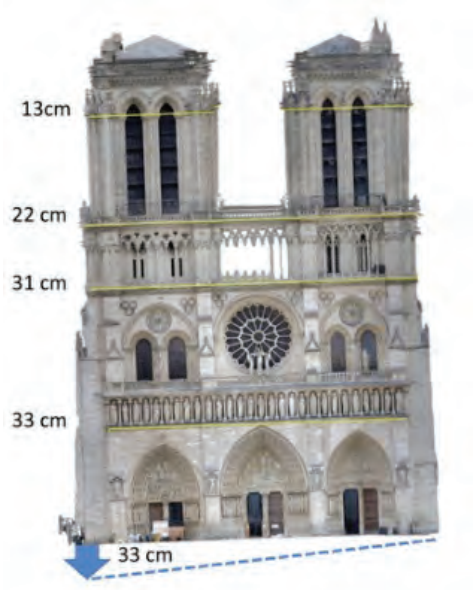


Fig. 8 - Rotazioni delle torri della facciata. Rilievo e disegno dell'ingegnere Mathias Fantin (Bestrema).

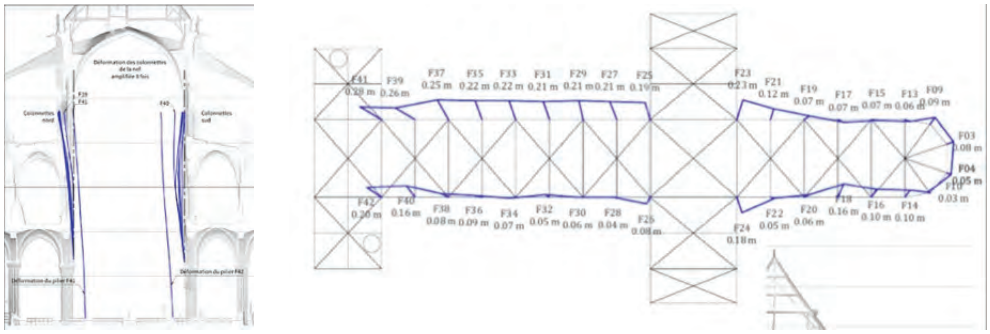


Fig. 9 - Spostamenti in pianta e in sezione della sommità dei muri della navata e del coro (Bestrema).

Le volte della navata e del coro non presentavano nel 2019 lesioni significative, nonostante le macroscopiche deformazioni, così come il sistema fessurativo dell'intera cattedrale è risultato estremamente modesto. Dal confronto delle deformazioni con l'assenza di fessurazioni, si deducono alcune considerazioni sugli stati tensionali che possono sussistere nelle antiche strutture in presenza di deformazioni anche di notevole entità. È evidente che le murature delle volte hanno assorbito le notevoli deformazioni senza raggiungere stati di frattura, ovvero mostrando una deformabilità nel tempo, il cosiddetto *fluage o creep*, sulla quale sarebbe opportuno fare degli approfondimenti. Se a un modello numerico della cattedrale, calibrato con i parametri normalmente suggeriti dalle norme oggi vigenti, fossero state imposte le deformazioni rilevate, si sarebbe ottenuto un risultato caratterizzato da sistemi fessurativi gravissimi. È pertanto evidente, come anche di seguito confermato, che i modelli numerici hanno ancora grosse difficoltà a descrivere il comportamento plastico e quello a tempi lunghi delle strutture murarie, soprattutto se si adottano i coefficienti indicati dalle normative, definiti a tempi brevi. In particolare, i fenomeni di *fluage* con ripartizione delle tensioni e con grandi deformazioni non sono ancora sufficientemente noti e, quindi, difficilmente modellabili. Ciò dovrebbe fare molto riflettere sull'applicabilità della nostra Normativa Tecnica agli edifici storici e sull'attendibilità delle modellazioni in campo dinamico. Viceversa, le analisi dei possibili equilibri effettuate su singoli macroelementi a livello locale, ad esempio lo studio del *meccanismo di dissesto* di una sezione trasversale della Cattedrale composta dalle volte, dagli archi rampanti e dai contrafforti, hanno mostrato come l'equilibrio sia stabile e il dimensionamento delle strutture lapidee sia stato perfetto. Più semplice è stata la verifica delle strutture lignee originarie formate da aste, cioè capriate e guglia), in Figura 10, che, considerando anche i carichi esterni dovuti al vento previsti dalle attuali norme, sono risultate perfettamente dimensionate. In ogni caso, è stata la verifica *sperimentale* durata, per alcune parti, ben novecento

anni che è stata reputata la più affidabile dimostrazione della bontà del progetto originario. Sulla base dell'insieme dei dati ricavati dai calcoli e dall'analisi storica è stato deciso che realizzare una ricostruzione delle parti crollate con strutture delle stesse dimensioni e caratteristiche di quelle precedenti era la migliore soluzione. Nessun altro progetto avrebbe potuto garantire, in base solo a verifiche virtuali, altri novecento anni di stabilità.

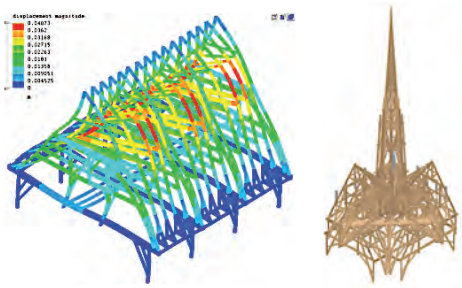


Fig. 10 - Modelli di calcolo delle strutture lignee (Mathias Fantin - Bestrema).

Come suggerito in vecchie raccomandazioni italiane, il comportamento nel tempo di un'antica fabbrica è come quello di un prototipo in scala 1:1 sottoposto per secoli a un esperimento al vero, con il peso proprio e con tutti gli agenti esterni che nei secoli lo hanno cimentato. L'importante è studiare bene e comprenderne i risultati.

Per la Storia dell'Ingegneria il metodo deve essere considerato di estremo interesse e validità. Una rivalutazione dell'empirismo, quando questo consiste nella conoscenza accurata del comportamento di un numero esteso di fabbriche, è oggi, nel mondo del virtuale, una assoluta necessità per la salvaguardia dei nostri monumenti con interventi minimi, ovvero senza stravolgere situazioni di equilibrio formatesi nei secoli delle quali è estremamente incerta l'identificazione teorica.

Scriveva giustamente Roberto Di Stefano che l'analisi strutturale degli antichi edifici è soprattutto "indagine storica".

La messa in sicurezza

L'incendio ha interamente distrutto tutte le strutture lignee del tetto e della guglia e il loro crollo, che tutti hanno potuto vedere in diretta, ha provocato il cedimento per l'urto di tre ampie porzioni delle volte: l'intera crociera centrale, una campata della navata e una campata del transetto nord, come visibile in Figura 11.

Fig. 11 - L'interno della chiesa con le volte crollate.

Le macerie delle coperture si sono sparse sull'estradosso delle volte rimaste. Subito dopo l'incendio, il problema principale è comunque apparso quello della stabilità del grande ponteggio che era stato costruito per il restauro della guglia e che, completamente deformato

dal fuoco, minacciava l'intera cattedrale, come mostrato in Figura 12.

Il fatto che il ponteggio d'acciaio fosse stato deformato dal fuoco indicava che le temperature avevano superato 800 °C. Se il ponteggio fosse crollato trascinando nel crollo, ad esempio, un arco rampante, probabilmente l'intera cattedrale, come un castello di carte, sarebbe crollata dato che nelle costruzioni gotiche ogni elemento è indispensabile per l'equilibrio totale.

Le prime opere di messa in sicurezza sono state pertanto due: la centinatura di tutti gli archi rampanti, in Figura 13, e lo smontaggio del ponteggio, opera che ha richiesto un anno e mezzo dato che è stata interamente realizzata con operai sospesi. Un'altra operazione di messa in sicurezza che ha richiesto molto tempo, è stata quella della ripulitura dell'estradosso delle volte da tutto il legname bruciato, dai detriti e dalle pietre pericolanti delle volte, in Figura 12; anche in questo caso, li operai dovevano essere sospesi in quanto non era possibile camminare in sicurezza sulle volte, ma non era possibile nemmeno costruire un ponteggio sotto le volte, non sapendo quale fosse il livello del loro degrado e della stabilità.

Solo quando il ponteggio è stato interamente smontato e le volte sono state ripulite, ispezionate e consolidate dall'alto è stato possibile tirare un sospiro di sollievo e concentrarsi sulla ricostruzione.

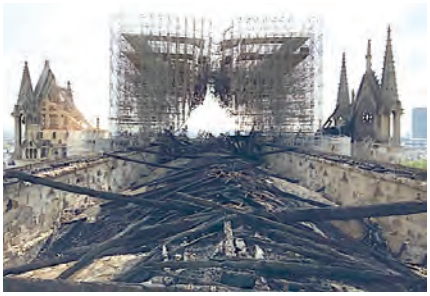


Fig. 12 - Immagine dell'estradosso della navata e del minaccioso ponteggio pericolante deformato e fuso dal fuoco il giorno dopo l'incendio.

Fig. 13 - Immagine di un arco rampante con la centina di sostegno.

Il progetto di ricostruzione

Dopo mesi di discussione, il ministero della Cultura francese, esaminate varie altre soluzioni, in particolare la possibilità di realizzare strutture di sostegno del tetto in acciaio, in cemento armato o in legno lamellare, ha deciso per una ricostruzione che riutilizzasse i materiali originari e riproponesse anche le stesse finiture, come visibile in Figura 14. Come già evidenziato, determinante è stata la costatazione del buon com-

portamento nei secoli delle strutture che solo l'incendio aveva distrutto. A tale proposito è da considerare che l'Ile de France è una area considerata a bassissimo rischio sismico.

Fig. 14 - Immagine delle strutture lignee del tetto in fase di ricostruzione.

È di interesse ricordare anche gli studi effettuati da un Consorzio universitario, coordinato dal prof. Stephane Morel dell'Università di Bordeaux e formato da esperti di modellazione numerica di vari atenei francesi, che ha effettuato accurate modellazioni di una campata della navata: volta, archi rampanti e contrafforti. I calcoli, effettuati sia con programmi agli elementi finiti che agli elementi discreti, sono stati eseguiti con i più potenti calcolatori disponibili, realizzando modelli non lineari ad altissima definizione; alcuni risultati sono presentati in Figura 15. Sono state così modellate le volte in situazioni diverse: integre, danneggiate dal fuoco e consolidate.

Per arrivare a definire un campo di risultati realistici è stato però necessario fare varie ipotesi sul possibile comportamento dei materiali, non potendo disporre di parametri certi, nonostante le indagini fatte. I risultati sono stati comunque estremamente utili, in quanto hanno confermato l'affidabilità delle soluzioni originarie e consentito una scelta degli interventi di consolidamento in modo più consapevole. Da notare però la difficoltà, nonostante la raffinatezza dei modelli e pur operando in campo statico, di riuscire a ottenere valori delle deformazioni simili a quelli reali mostrati dal monumento in nove secoli. Per il consolidamento delle volte, constatato che l'estradosso delle pietre presentava in molti casi delaminazioni dovute alle alte temperature e conseguenti diminuzioni di spessore, è stata applicata una cappa di malta fibro-rinforzata in grado di ripristinare lo spessore originario.

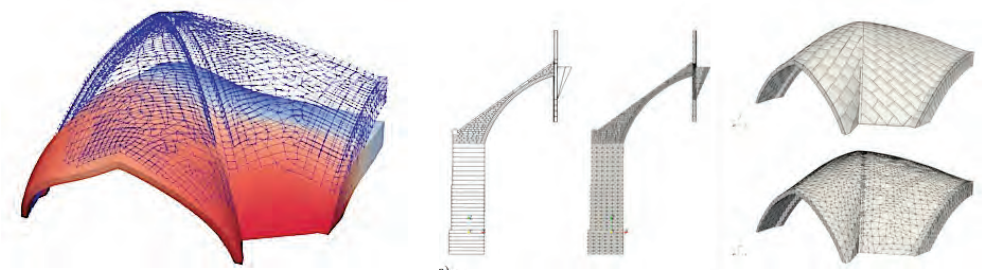


Fig. 15 - Modelli agli elementi finiti e agli elementi discreti realizzato dal Consorzio di università che ha collaborato allo studio del comportamento delle volte..

Il cantiere e la conclusione delle principali ricostruzioni

Una volta messa in sicurezza la Cattedrale, definiti gli interventi di ricostruzione delle volte e dell'intera carpenteria lignea in modo simile alla situazione prima dell'incendio, la difficoltà maggiore non è stata quella della diretta realizzazione delle opere di ricostruzione, ma quella della realizzazione di ponteggi adeguati all'esecuzione dei restauri in ogni angolo della fabbrica, all'interno e all'esterno, fino alla sommità della guglia. Una buona parte dei ponteggi doveva, infatti, essere appoggiata sulle antiche murature che non erano state costruite per sopportare diecine e centinaia di tonnellate di carico aggiuntivo, né progettate per resistere alle sollecitazioni prodotte dalle oscillazioni di un alto e largo ponteggio prodotte dal vento.

Un confronto tra i ponteggi realizzati da Viollet-le-Duc e quelli realizzati oggi consente di comprendere le angosce di chi ha la responsabilità della stabilità delle antiche strutture e ha dovuto approvare i pesanti ponteggi, in Figura 16.

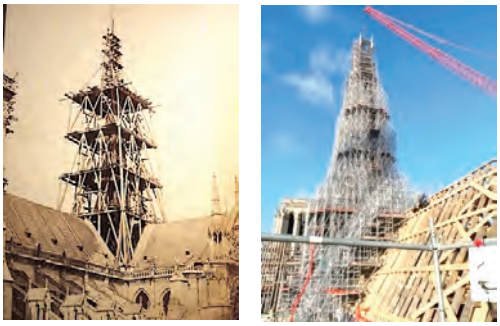


Fig. 16 - Ponteggi ottocenteschi e ponteggi attuali per la costruzione della guglia.

Il 6 dicembre 2023 è stata posta in opera la croce sopra la guglia (Figura 17) e sono iniziate le opere di rivestimento con lastre di piombo della guglia e dei tetti. Tutte le superfici interne sono state pulite dal nerofumo mediante impacchi. Tutte le vetrate sono state pulite e in parte smontate e rimontate.

Tutti gli impianti sono in corso di rifacimento grazie a una nuova centra-

Fig. 17 - Immagine delle prime campate restaurate e della nuova guglia liberata dai ponteggi.

le termica nell'edificio del Presbiterio e a una nuova distribuzione con nuovi enormi cunicoli esterni e interni. Resta a oggi da ricostruire interamente la volta centrale e da restaurare i pavimenti e molte opere d'arte.

Conclusioni

L'8 dicembre 2024, giorno della festa dell'Immacolata Concezione della Vergine Maria, ovvero di *Notre Dame*, è prevista la prima messa nella cattedrale restaurata.

Non tutto sarà finito, comunque; certamente resteranno soprattutto opere esterne. In ogni modo la promessa di Macron di riaprire la chiesa entro cinque anni solari, dal 2019 al 2024, sarà rispettata. Il risultato positivo è in buona parte da imputare alla creazione da parte di Macron di un Établissement Publique che, sotto l'egida del generale Jean-Louis Georgelin, deceduto nell'agosto del 2023, esperto di logistica, ha avuto ampi poteri in quanto a riduzione della burocrazia, modalità di appalto dei lavori e di gestione dei rapporti con le imprese. Enorme merito va anche alla *Métrise d'œuvre* che, composta dagli *Architectes en Chief* Philippe Villeneuve, responsabile primo, Pascal Prunet e Rémi Fromont, ha saputo progettare, coordinare e dirigere il più grande cantiere di restauro mai aperto, con centinaia di operai e tecnici, e con l'ordine di terminare in tempi estremamente (troppo) rapidi.

Bibliografia essenziale

Aubert M. 1919. *La cathédrale Notre-Dame de Paris, notice historique et archéologique*. Paris: D-A. Longuet Éditeur.

Erlande-Brandenburg A. 1997. *Notre Dame de Paris*. S.l.: Éditions De La Martinière.

Fromont R., Trentesaux C. 2015. *Relevés complémentaires et bilan sanitaire des charpentes de la cathédrale Notre-Dame de* Paris. Rapport de mise en situation professionnelle de l'Ecole de Chaillot (session 2012-2014).

Guilhermy F., Viollet-le-Duc E. 1856. *Description de Notre-Dame, cathédrale de Paris*. Paris: Librairie d'architecture de Bance.

Lassus J.B., Viollet-le-Duc E. 1843. *Projet de restauration de Notre-Dame de Paris : rapport adressé à M. le Ministre de la Justice et de Cultes, annexé au projet de restauration, remis le 31 janvier 1843*. Paris: Imprimerie de Mme de Lacombe.

Rondelet J.B. 1832. *Traité theorique et pratique de l'Art de Bâtir*. Paris: Librairie de Firmin et Didot Paris 1802-1817 (Edizione Italiana: "Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare" L. Caranenti Ed. Mantova 1832).

Ugo V. 1831. *Notre Dame de Paris 1482*. s.l.: s.e.

Viollet-le-Duc E. 1860. La Flèche de Notre-Dame de Paris. Gazette des beaux-arts: courrier européen de l'art et de la curiosité, avril 1860, VI, 35-39.

Salvatore D'Agostino

Breve Storia del Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio monumentale dal rischio sismico del Ministero dei Beni Culturali

A Brief History of the National Committee for the Prevention of Monumental Heritage Risk from Earthquakes of the Ministry of Cultural Heritage

Sommario

Con la istituzione del Ministero dei Beni Culturali nel 1974, si creò un organismo istituzionale cui erano devolute la conservazione e la valorizzazione dell'immenso patrimonio storico, artistico e ambientale del paese. Al verificarsi delle crisi sismiche del Friuli, nel 1972, e dell'Irpinia, nel 1980, nel 1984 il Ministero, di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile, istituì il Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico. Il Comitato, costituito sulla base di una cultura interdisciplinare, svolse con intensità il suo mandato per quattordici anni, producendo documenti e finanziando ricerche illustrate in due Seminari di studio e raccolte in due volumi. L'Attività del Comitato ebbe un forte impatto vuoi sull'azione di tutela delle Soprintendenze, vuoi sulle normative emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 1986, nonché sulla progettazione degli interventi di restauro, sulla quale non mancarono forti contrapposizioni. In particolare l'azione del Comitato promosse un movimento culturale che, tra l'altro, dette luogo alla nascita della Ingegneria per i Beni Culturali. In questo contributo si illustrano i documenti prodotti e i risultati conseguiti dal Comitato.

Abstract

With the establishment of the Ministry of Cultural Heritage in 1974, an institutional body was created in Italy that was responsible for the conservation and enhancement of the country's immense historical, artistic, and environmental heritage. Following the seismic crises in Friuli, in 1972, and Irpinia, in 1980, the Ministry, in concert with the Department of Civil Protection, established the National Committee for the Prevention of Cultural Heritage Risk from Earthquakes in 1984. Based on an interdisciplinary culture, the Committee carried out its mandate intensely for fourteen years, producing documents and funding documented research in two study seminars collected in two volumes. This paper illustrates the documents and results

achieved. The Committee's activity had a substantial impact on the action of the Superintendents' protection, as well as on the regulations issued in 1986 by the Ministry of Public Works, as well as on the design of restoration interventions, although solid opposition was not lacking. In particular, the Committee's action promoted a cultural movement that, among other things, led to the birth of engineering for cultural heritage.

Premessa

La cultura italiana è fin dall'antichità caratterizzata da un forte impegno per la conservazione del patrimonio storico. Nell'ultimo secolo sottolineano questo impegno la carta di Atene del 1931 e la successiva Carta Italiana del 1932.

Nel 1939 Cesare Brandi, con Giulio Carlo Argan, fondò l'Istituto Centrale del Restauro-ICR, ancora oggi vanto dell'Italia nel mondo. Nel 1963 fu pubblicato il testo *Teoria del restauro,* lezioni raccolte da Licia Vlad Borrelli, Ioselita Raspi Serra, Giovanni Urbani, con bibliografia generale dell'autore, la cui ultima edizione è del 2022.

Poi nel 1964 fu stilata la Carta di Venezia, ispirata da Gazzola e dallo storico dell'architettura Roberto Pane (1897-1987). Sempre al 1964 risalgono i lavori della Commissione Franceschini che propugnava l'istituzione del Ministero dei Beni Culturali e definisce i Beni Culturali "testimonianza aventi valore culturale". Intanto nel 1960 era stata pubblicata la "Carta di Gubbio" per la difesa dei Centri Storici che prelude alle "Istruzioni per la tutela dei Centri Storici" emanate nel 1972 dal Ministero della Pubblica Istruzione, ma, purtroppo, mai trasformate in legge.

Tappa fondamentale fu, nel 1974, l'istituzione del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, che vide lo scorporamento di tutte le competenze relative dal Ministero della Pubblica Istruzione e che, purtroppo, lasciò la prerogativa di tutte le Normative per le costruzioni al Ministero dei Lavori Pubblici, oggi Ministero delle Infrastrutture. Giovanni Spadolini fu il primo Ministro,

Parallelamente, nel 1955 fu fondata Italia Nostra contro gli sventramenti post bellici, di cui Zanotti Bianco fu il primo presidente. Famoso il suo discorso del 1970 che denunziava gli scempi del boom edilizio: «Antichi edifici, antiche zone monumentali invece di venire interamente risanate come in tutti i Paesi gelosi del loro valore storico, vengono frettolosamente abbattuti per sostituirli con volgari e quasi sempre mastodontiche costruzioni che permettono maggiori guadagni agli impresari, ma deturpano per sempre il volto delle nostre città». Oggi Italia Nostra svolge un attento ruolo di tutela con le sue duecento sezioni diffuse su tutto il territorio nazionale. Anche a livello mondiale la Tutela e la Conservazione è fortemente perseguita dall'UNESCO, fondata già nel 1945, cui aderiscono ben duecento Paesi; l'Italia fu ammessa nel 1947. In Italia intanto si progettavano alcuni interventi di ricostruzione e restauro che perseguivano il limite del "com'era dov'era"; già teorizzato per la

ricostruzione del campanile di San Marco a Venezia (1903). Emblematiche sono le ricostruzioni del ponte di S. Trinità a Firenze e di Ponte Vecchio e Ponte Pietra a Verona, fortemente volute dall'architetto Piero Gazzola (1908-1979) che contribuì, per conto dell'UNESCO, alla ricostruzione dell'importante tempio di Abu-Simbel in Egitto. Nel frattempo si sviluppava la Storia materiale che, iniziava a indirizzare la ricerca della Archeologia moderna, che partendo dal reperto, indaga su tutti gli aspetti delle antiche civiltà, coinvolgendo le scienze fisico-chimiche, le quali, a loro volta, fondarono l'Archeometria.

L'Ingegneria fu cardine essenziale per lo sviluppo post-bellico, vuoi per il rinascente sviluppo industriale, vuoi per il boom edilizio e lo sviluppo delle infrastrutture che modernizzarono il Paese. In particolare l'ingegneria civile sviluppò una vera rivoluzione con lo sviluppo della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, nonché con l'uso diffuso dei nuovi materiali industriali: acciaio, calcestruzzo armato e precompresso. Il rovescio della medaglia fu il completo abbandono, nella formazione di architetti e ingegneri, dell'antica concezione costruttiva e delle Regole dell'Arte che avevano presieduto alla realizzazione, per molti secoli, del costruito storico e in particolare di tutti i monumenti emblematici della Storia dell'Architettura. Fu così che, sull'abbrivio dell'invenzione dei "pali radice" da parte della nascente Geotecnica, l'antico tessuto costruttivo fu invaso da iniezioni di cemento e cuciture armate, una tecnica sommariamente definita "consolidamento", il cui trionfo fu istituzionalizzato in Italia, agli albori degli anni '80 del secolo scorso, dallo sciagurato Convegno AITEC dal nefando titolo "Il cemento nel restauro" che documentava, in centinaia di schede, la cementificazione di tanti insigni monumenti.

D'altro canto, dopo una pausa di circa mezzo secolo, l'Italia aveva perso, in buona sostanza, memoria dei terremoti che venivano avvertiti come una remota eventualità. Con il sisma del Friuli nel 1972, e ancor più con il disastroso terremoto dell'Irpinia nel 1980, il dramma della sismicità del Paese si manifestò in tutta la sua gravità.

Il neonato Ministero per i Beni Culturali aveva, tra gli altri importanti compiti, quello della gestione del Patrimonio Culturale "al fine di assicurare l'organica tutela di interesse di estrema rilevanza sul piano interno ed internazionale". Purtroppo, ancora oggi, dopo mezzo secolo, questo obiettivo non è stato raggiunto, in quanto vengono rivendicate competenze del Ministero delle Infrastrutture, che impone le proprie normative anche sui Beni Culturali, ed è operativo il Fondo edifici di culto del Ministero degli Interni, istituito nel 1985, al quale sono affidate, secondo un accordo tra lo Stato Italiano e il Vaticano, circa ottocento quaranta chiese, moltissime di emblematiche valenze storico-artistiche.

La Nascita del Comitato

In seguito ai terremoti del Friuli e dell'Irpinia, per i quali si prospettavano lunghe e complesse ricostruzioni, il giovane Ministero per i Beni Culturali istituì il 7 agosto

1984 il "Comitato Nazionale per la prevenzione del patrimonio culturale dal rischio sismico", affinché «individui le proprie esigenze nel settore e ne coordini lo studio con il Dipartimento per il Coordinamento della Protezione Civile, anche per definire orientamenti metodologici e indirizzi operativi per i propri uffici«. I compiti del Comitato erano numerosi e complessi, dal promuovere lo sviluppo di ricerche finalizzate alla prevenzione dei danni sismici ai Beni Culturali alla predisposizione, all'interno delle Norme vigenti, di una legislazione specifica per la definizione di direttive per gli interventi di prevenzione sismica per il patrimonio storico; dal promuovere la raccolta sistematica di dati all'individuare temi campione di interventi d'intesa con l'Istituto Centrale del Restauro, nonché con gli Organi periferici del Ministero, per la definizione di metodologie di progettazione e di tecniche e tecnologie di intervento al promuovere un'ampia gamma di contributi specialistici necessari per integrare l'attività del Comitato.

Furono nominati membri del Comitato Romeo Ballardini, presidente, Corrado Bucci Morichi, Bruno Toscano, Umberto Baldini, Carlo Gavarini, Marcello Carapezza, Enzo Coccia, Alessandro Valente, Domenico Valentino, Francesco Doglioni, Fausto Zevi, Ettore Pennisi, Luciano Giomi, Luigi Panariello, Aldo Ravalli. La Segreteria fu affidata a Pietro Graziani e a Laura Napoleone.

Successivamente, ritenuto necessario integrare il Comitato con dirigenti generali, nonché con altri funzionari ed esperti nel settore, con Decreto 2 aprile 1986 furono nominati Francesco Sisinni, Italo Borzi, Renato Di Crispo, Giovanni Natoli, Gennaro Di Geso, Giuseppe Proietti, Alfredo Corsanego, Salvatore D'Agostino, Paolo Marconi, Gaetano Miarelli Mariani, Vincenzo Petrini, Carlo Viggiani, Salvatore Italia, Vincenzo Chianese e Duilio Cipollini. L'ufficio di segreteria fu integrato con Ivo Bianchini, Giuliano Lenti e Patrizia Panarella.

Di fatto, gran parte dei membri citati non frequentarono il Comitato che fin dall'inizio, al di là della nomina ufficiale, fu costituito da Romeo Ballardini, presidente, Corrado Bucci Morichi, Carlo Gavarini, Francesco Doglioni, Alfredo Corsanego, Salvatore D'Agostino, Paolo Marconi, Gaetano Miarelli Mariani, Vincenzo Petrini e Carlo Viggiani. Inoltre parteciparono al Comitato, portando un contributo essenziale, Pio Baldi e Alessandra Melucco Vaccaro, dirigenti dell'Istituto Centrale del Restauro, nonché Franco Braga, giovane collega di Carlo Gavarini. La vera segretaria del Comitato fu la dottoressa Patrizia Panarella, sempre presente e solerte, che ancora oggi costituisce la memoria del Comitato e che qui si ringrazia per l'importante supporto.

Si costituì così un gruppo di docenti universitari e funzionari, fortemente coeso, che realizzò un raro esempio di cultura interdisciplinare. Per esigenze ministeriali il Presidente coinvolse, in maniera marginale, qualche funzionario del Ministero e qualche invitato occasionale che però non ebbero peso nei lavori del Comitato.

Il lavoro del Comitato si svolse sempre con grande cordialità pur se, talvolta, in un impegnativo confronto tra le diverse istanze culturali. Ci si impegnò immediata-

mente nella elaborazione di due documenti, il primo di carattere generale e metodologico, il secondo rivolto puntualmente alla definizione degli interventi di restauro post-sisma sui beni di valore storico-artistico.

Il Comitato fu finanziato con 50 miliardi. I primi 20 furono assegnati alle Soprintendenze in zone sismiche, e ancora 20 miliardi per progetti esemplari presentati dalle Soprintendenze; 10 miliardi furono impiegati per la stipula di convenzioni di ricerca con numerose Università.

Il documento generale: Indirizzi riguardanti le iniziative e i comportamenti atti a limitare i danni al Patrimonio Culturale in caso di sisma

Il documento costituì un punto di riferimento importante innanzitutto per il lavoro di tutela delle Soprintendenze impegnate su tanti fronti complessi, quali la prevenzione, l'emergenza e una ricostruzione sofferta e contrastata che doveva confrontarsi con gli Organi di governo, gli Enti locali, le esigenze dei cittadini e, non ultimi, i progettisti e le imprese.

Il documento fu predisposto da Romeo Ballardini e Francesco Doglioni e approvato dal Comitato nella seduta del 9 ottobre 1986. Già nella premessa vengono segnalate le disorganicità degli interventi di prevenzione e la mancanza di regole e organizzazione specifica per l'emergenza, nonché i complessi problemi culturali e tecnico-scientifici per gli interventi di riabilitazione, ricostruzione e restauro. In questo contesto l'emergenza si presenta come esigenza prioritaria stante i tanti incauti interventi sul patrimonio culturale verificatisi in particolare dopo il sisma dell'Irpinia che aveva profondamente segnato Campania e Basilicata.

Alla premessa segue anche l'elenco della documentazione di riferimento che si articola in carte, proposte, decreti e così via, a testimonianza di una intensa attività vuoi nazionale vuoi internazionale. A testimonianza dell'articolato lavoro svolto si riportano gli indirizzi costitutivi del documento che sottolineano sempre la necessaria collaborazione con gli Organi della Protezione Civile:

– indirizzi per le iniziative di prevenzione a medio e lungo termine;
– indirizzi per la organizzazione e i comportamenti della emergenza;
– indirizzi generali delle scelte di riabilitazione e ricostruzione.

Non è possibile qui entrare nella descrizione dettagliata di tutte le attività e operazioni suggerite, per le quali si rimanda al documento originale, reperibile in allegato al volume "Il restauro architettonico nella ricostruzione del Friuli" (Ballardini, 1990). D'altro canto, pur nella sinteticità dell'esposizione si vuole sottolineare che è in effetti questo un primo articolato documento di supporto all'azione delle Soprintendenze, nella difficile fase dell'emergenza post-sismica.

Infine, il documento si conclude con la redazione di un piano di emergenza per la salvaguardia del patrimonio librario in caso di calamità, che costituisce anch'esso un

primo intervento del nascente Ministero a supporto degli Archivi e delle Biblioteche del Paese.

Le Raccomandazioni

Questo documento, approvato nella seduta del Comitato del 17 giugno 1986, fu il risultato di un intenso confronto tra culture diverse e quindi frutto di un puntuale lavoro interdisciplinare. I vari componenti si impegnarono intensamente nell'esemplificare le esigenze delle diverse discipline, in un contesto di rara armonia. Si può senz'altro affermare che si determinò una inconsueta, quanto preziosa osmosi tra cultura umanistica e cultura tecnico-scientifica. Il documento entra nel vivo della situazione ormai diffusa nel Paese, con un improprio quanto diffuso consolidamento del patrimonio monumentale e archeologico mediante interventi che nulla hanno di scientifico, quali iniezioni di cemento e resine, cuciture armate, utilizzo di "pali radice". Esamina poi la situazione legislativa e suggerisce i criteri per una corretta progettazione, individuando, infine, le operazioni da compiere.

Nel seguito, al fine di illustrare compiutamente il documento si indicheranno alcuni punti esemplari che evidenziano la visione culturale che lo sottendono.

La completa elaborazione delle Raccomandazioni ebbe anche come riferimento il D.M. 24.01.1986 del Ministero dei Lavori Pubblici (MLLPP, 1986) che al punto C.9 introduce, nella normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica, la fondamentale distinzione tra interventi di adeguamento e interventi di miglioramento. L'adeguamento prevede un insieme di opere atto a resistere ad azioni di progetto equivalenti a quelle previste per le nuove costruzioni. L'intervento di miglioramento prevede la realizzazione di un insieme di opere atte a conseguire un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche, senza peraltro modificare sostanzialmente il comportamento globale dell'edificio. L'obbligo di adeguamento scatta in presenza di soprelevazioni, ampliamenti, ricostruzioni e comunque opere tali da modificare sostanzialmente il comportamento statico e dinamico dell'edificio. «Si può pertanto affermare che, alla luce di quanto previsto per l'edilizia ordinaria, l'obiettivo degli interventi sul patrimonio monumentale per quanto attiene alla sicurezza alle azioni sismiche, è da assimilare al miglioramento» [1]. Fu questa una scelta di grandissimo valore per la corretta conservazione del patrimonio storico.

Le Raccomandazioni esemplificano anche alcune operazioni fondamentali che individuano l'atteggiamento culturale che deve presiedere alla progettazione, con procedimenti prevalentemente tradizionali:

– interventi coordinati sui collegamenti, specie se compromessi dai sismi precedenti o da mancata manutenzione;
– verifica e riparazione degli orizzontamenti (tetti, solai, archi, volte e piattabande) con provvedimenti prevalentemente tradizionali;
– verifica e riparazione delle lesioni verticali o subverticali con procedimenti tradi-

zionali ai fini di ricostruire, pur senza eccessivi irrigidimenti, la continuità della compagine muraria;
– scarnitura dei giunti, rabboccatura e ripristino con malta tradizionale degli intonaci o reintegrazione della capacità portante della compagine muraria, con particolare attenzione a eventuali intonaci decorati.

Con riferimento agli elaborati progettuali si sottolinea la necessità di:
– uno studio storico-critico sul complesso monumentale da restaurare che individui tutte le trasformazioni intervenute nel tempo e le illustri in apposito grafico;
– uno studio della storia sismica del sito;
– una dettagliata analisi dei carichi con l'individuazione di tutti gli elementi portanti, incluso le fondazioni, attraverso i quali si individua un razionale schema strutturale;
– un rilievo metrico e fotografico dei dissesti riscontrati;
– una descrizione della costituzione del sottosuolo e delle condizioni di stabilità dell'area circostante (relazione geotecnica);
– una relazione che individui cause ed entità dei dissesti;
– una relazione sui materiali strutturali con una valutazione del loro stato di conservazione, ove possibile suffragata da indagini sperimentali;
– il progetto sia qualitativo sia quantitativo degli interventi previsti, indicando la motivazione che li suggeriscono e gli incrementi di resistenza che si presume a essi si accompagnano.

Le Raccomandazioni costituiscono un documento di grande rilevanza in particolare per il contesto culturale nel quale si svolse la caotica, ventennale, ricostruzione del terremoto dell'Irpinia dell'80. Il Ministero per i Beni Culturali prendeva coscienza delle proprie responsabilità e forniva le Soprintendenze di un primo strumento che consentiva loro di affrontare con compiuta consapevolezza il dibattito e il confronto con progettisti e imprese.

Le Raccomandazioni furono sottoposte al parere dei Comitati congiunti del Ministero dei Beni Culturali e Ambientali e trasformate in Circolare di detto Ministero. Infine, il Ministero istituì per la Regione Campania e la regione Basilicata una specifica Soprintendenza antisismica che lavorò per molti anni con grande impegno.

Il primo Seminario

Il Comitato continuò la sua intensa attività vuoi per programmare una serie di ricerche da sviluppare in sintonia con Università e Soprintendenze, vuoi per elaborare un testo più puntuale sugli interventi di consolidamento. Intanto la diffusione della Circolare Ministeriale contenente le Raccomandazioni provocava un vivace ed esteso dibattito in tutti i settori interessati alla conservazione e al restauro. Si rese quindi

opportuno un ampio confronto interdisciplinare e, a tal fine, il Comitato promosse il primo Seminario che si tenne a Venezia nei giorni 10 e 11 aprile del 1987. Vi fu un'affollata partecipazione di storici dell'architettura, archeologi, storici del restauro, strutturisti, geotecnici, soprintendenti e funzionari del Ministero. Si sviluppò un serrato confronto articolato su oltre cinquanta tra relazioni e interventi. I testi, la cui raccolta fu alquanto laboriosa, furono editi in un volume dal titolo "La Protezione del Patrimonio culturale - La questione sismica. Istituzioni e ricerca Universitaria" (Ballardini, 1988). Purtroppo il volume è attualmente fuori commercio, ma si trova ancora qualche copia presso studi di libri antichi o presso le biblioteche universitarie.

I membri del Comitato si impegnarono in una serie di relazioni che tratteggiarono lo stato dell'arte e la posizione culturale maturata dal Comitato. Dopo l'introduzione di Gavarini vi fu la relazione di Ballardini e Doglioni "Caratteri di base e tipologia degli insediamenti". Seguirono le relazioni di Baldi e Corsanego "Vulnerabilità", di Braga "Comportamenti e modelli di calcolo", di Viggiani "La protezione dei beni culturali dal rischio sismico: aspetti geotecnici" e di D'Agostino e Marconi "Tecnologie di intervento nel restauro di Beni Culturali"; ulteriori interventi furono svolti da Gurrieri e Gullini. A ogni relazione seguì una corposa serie di interventi. Il dibattito fu molto articolato e non mancarono punte polemiche che sottolinearono la complessità delle posizioni sul campo, stante l'ampio arco di competenze che parteciparono al Seminario, dagli Organi della Protezione Civile ai vertici del Ministero, alle Soprintendenze, ai rappresentanti degli Enti locali.

Il Seminario ebbe grande risonanza e contribuì alla diffusione di quella cultura della conservazione che, dagli ultimi anni '80, tende a caratterizzare gli interventi di restauro.

Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di "miglioramento" antisismico e "manutenzione", nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica.

In questo documento si richiamano i numerosi problemi, già evidenziati nelle "Raccomandazioni", relativi agli interventi sul patrimonio culturale a tipologia specialistica in zona sismica. Si mettono in evidenza la complessità e la delicatezza degli interventi atti ad assicurare sia la sicurezza possibile, sia la conservazione del patrimonio costruito storico, tenendo conto della sua plurisecolare Storia materiale, finalmente oggetto di ricerca scientifica. D'altro canto, stante l'imperativa esigenza della salvaguardia della vita umana, si sottolineano la scarsa chiarezza tecnica, tecnologica, perfino concettuale e culturale della normativa tecnica con riferimento alla concezione costruttiva antica e alla conoscenza dei materiali tradizionali, anche se il Decreto Legge dell'86 aveva introdotto il concetto di "miglioramento" per gli edifici storici che rispettassero i principi puntualmente esposti e già imposti dagli Organi di tutela.

Il concetto di miglioramento costituisce una conquista di grande importanza per la conservazione del patrimonio costruito costituendo, ancora oggi, un cardine fondamentale per la progettazione degli interventi antisismici. Infatti, le Direttive dedicano ampi commenti al concetto di miglioramento, vuoi nella valutazione dell'efficacia statica, vuoi nel divario miglioramento-adeguamento, vuoi ancora nel rapporto miglioramento-manutenzione. Tutto ciò è stato un importante riferimento per il faticoso dibattito che ha interessato la valutazione del miglioramento negli ultimi decenni. Finalmente l'attuale normativa sulle costruzioni del 2018, pur non individuando per gli edifici di valore storico-artistico una specifica categoria, limita per essi il miglioramento al valore 0,1 che, in pratica, può essere raggiunto con un meditato progetto di manutenzione straordinaria.

Ma le Direttive commentano e approfondiscono anche le "operazioni progettuali", sottolineando l'importanza del rilievo architettonico, dell'analisi storica e dell'analisi puntuale del comportamento strutturale, nonché della diagnostica vuoi sul campo, vuoi in laboratorio. Infine, le direttive illustrano e commentano le "operazioni tecniche di intervento" dando indicazioni specifiche e puntuali tra le quali si sottolinea quella emblematica, storico-culturale, di privilegiare le tecniche e i materiali tradizionali.

Per le fondazioni si sottolinea la loro sostanziale stabilità. Sono comunque da privilegiare interventi di sottomurazione, con l'esclusione di pali e micropali, al fine di non modificare il comportamento globale del monumento e non obliterare l'area di sedime, spesso di valore archeologico.

Per le pareti si chiede di procedere con materiali il più possibile omogeni ai materiali originari con riparazioni localizzate, risanamento di parti lesionate, ripristino delle manomissioni. Si sottolinea l'opportunità di evitare inserti di calcestruzzo armato e in caso di pareti particolarmente scadenti si suggerisce di utilizzare microiniezioni di malta sperimentandone, in sede preventiva, la fattibilità e l'efficacia. Sono da escludere cuciture armate, comunque escluse in caso di pareti affrescate, per le quali ci si deve avvalere degli opportuni interventi specialistici.

Per i pilastri e le colonne si ritiene opportuno, ove necessario, ripristinare la originaria resistenza a sforzo normale mediante cerchiature e tassellature.

Le spinte orizzontali devono essere eliminate o contenute mediante catene o altri efficaci provvedimenti atti a trasmettere le azioni orizzontali ad elementi più rigidi e resistenti. Sono da evitare interventi quali perforazioni armate, precompressioni, inserimento di anime metalliche. Vanno esaminate con particolare cautela situazioni di non verticalità. Vanno privilegiati gli incatenamenti, dando la preferenza a catene inguainate non iniettate controllando le azioni indotte sulla muratura.

Si sottolinea come «Contrariamente a una opinione purtroppo assai diffusa […], il comportamento di archi e volte […], durante i terremoti è assai migliore di quanto si crede, come testimoniato dai danni riscontrati». Si consiglia l'uso di incatenamen-

ti, mentre purtroppo, sia pure in casi eccezionali si consiglia il "placcaggio" delle volte, un intervento particolarmente invasivo.

Per i solai si sottolinea la loro funzione irrigidente che accentua "l'effetto scatola" e si consiglia vuoi la conservazione, vuoi la sostituzione, ove necessario, con solai in legno, eventualmente irrigiditi da un doppio tavolato, mentre sono da evitare i cordoli perimetrali in calcestruzzo preferendo tecniche, anche tradizionali, che conservano l'integrità delle murature. Per i solai in ferro e laterizi si consiglia l'irrigidimento con una soletta in calcestruzzo armato, ma sarebbe preferibile adottare un sistema di collegamento trasversale delle travi in ferro tra loro. Inoltre, per i tetti si suggerisce l'eliminazione delle spinte sulla muratura e il possibile alleggerimento all'ultimo piano.

Infine, si esaminano gli interventi in ambito archeologico. Preliminarmente si rileva che in generale i livelli di esposizione che comportano rischi per le persone sono assai ridotti. Si sottolinea inoltre quanto il degrado dei siti archeologici sia dovuto a fattori meteorologici, all'aggressione biologica e più di tutto alla generale assenza di manutenzione programmata che è il più importante provvedimento da adottare e che costituisce un costante miglioramento. Infine si evidenzia il valore di monumento documento dei reperti archeologici ribadendo l'incongruenza dell'immissione di anime metalliche nelle colonne a rocchi destinate così a un irreversibile degrado.

Un documento così autorevole, puntuale e dettagliato anche nelle linee di intervento ebbe una forte e immediata risonanza, così come si è detto, nel quotidiano confronto tra Enti di tutela, progettisti e imprese a tutto vantaggio della conservazione del patrimonio monumentale.

Dal 1984 al 1997: tredici anni di studi e ricerche.

Il Comitato, in questo lungo arco di tempo, attivò e finanziò un poderoso complesso di ricerche organizzate in quattro linee:

- linea 1: "Caratteri di base e tipologia degli insediamenti", coordinata da Romeo Ballardini. Ne fecero parte sei Università, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e la Società SGA di Bologna, di Emanuela Guidoboni, esperta di Storia sismica;
- linea 2: "La vulnerabilità sismica del patrimonio costruito", coordinata da Alfredo Corsanego. Furono coinvolte 10 Università;
- linea 3: "Progetti esemplari e ricerche svolte dalle Soprintendenze", coordinata da Corrado Bucci Morichi. Furono coinvolte tutte le Soprintendenze ricadenti in zone sismiche e i progetti furono approvati dal Comitato di Settore del Ministero;
- linea 4: questa linea fu suddivisa in due aspetti, teorico e sperimentale:
  - linea 4.1: "Tecniche premoderne di prevenzione sismica", coordinata da Paolo Marconi. Ne fecero parte tre Università;
  - linea 4.2: "Tecnologie di intervento per il restauro statico del patrimonio costruito", coordinata da Salvatore D'Agostino. Interessò nove Laboratori prove materiali di altrettante Facoltà di Ingegneria e Architettura.

Nel complesso furono stipulate trenta convenzioni con Università, con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e con la Società SGA per la Storia sismica. Inoltre furono finanziate numerose Soprintendenze e l'Istituto Centrale del Restauro per progetti e ricerche.

Il Comitato si riuniva sistematicamente per valutare lo stato di avanzamento delle ricerche che così venivano inquadrate in una visione generale e collettiva. I coordinatori organizzavano sistematicamente riunioni tra le unità di ricerca per confrontarne e armonizzare i diversi contributi. Tutto ciò avvenne in una visione interdisciplinare che promosse impegno ed entusiasmo.

Un caso esemplare fu la ricerca sulle tecnologie di intervento. Essendo emersa la necessità di rivedere e ampliare la conoscenza dei materiali e dei leganti tradizionali, la ricerca si orientò sulla ridefinizione del loro comportamento meccanico. Furono preliminarmente individuati gli scopi della ricerca:

– definire un protocollo comune sulle prove da eseguire,
– confrontare i risultati ottenuti con i dati riportati in letteratura;
– proporre nuove correlazioni e legami costitutivi;
– determinazione sperimentale dei parametri utili al calcolo delle strutture murarie;
– valutare l'affidabilità delle normative vigenti.

Le procedure furono "saggiate" mediante una vasta campagna di prove preliminari su diversi materiali e un serrato confronto in modo da definire univocamente le macchine di prova, la preparazione dei provini e la loro dimensione, le modalità di prova e i relativi strumenti di misura, le dimensioni dei provini. Furono così determinati i carichi di rottura a compressione, trazione diretta e indiretta, il modulo elastico e il coefficiente di contrazione trasversale. I materiali tradizionali soggetti a prove furono mattoni cotti e mattoni crudi, arenarie, pietra calcarea e pietra lavica, pietra serena e pietra forte, terra cruda, tufo campano, tufo laziale (peperino), pietra leccese, malta pozzolanica e malte bastarde, legno; di norma il materiale lapideo utilizzato nelle prove fu prelevato da edifici storici di concerto con le Soprintendenze. L'unità di Milano fu impegnata nel controllo della durabilità di tecniche e interventi con materiali tradizionali e moderni. Non mancarono studi sulla interpretazione analitica dei risultati raggiunti, proponendo nuove correlazioni e legami costitutivi.

Si trattò di una ricerca poderosa. Per dare il senso del lavoro svolto si consideri che presso il Laboratorio di prove sperimentali della Facoltà di Architettura di Firenze, diretto da Salvatore Di Pasquale, sui soli mattoni cotti prelevati dal Palazzo Vescovile di Pienza, dalle mura di Siena e di Colle Val d'Elsa, furono eseguite, da una equipe coordinata da Silvia Briccoli, oltre mille prove. L'Unità di Napoli eseguì, oltre alle prove sul tufo campano e sulle malte, anche prove fisico-chimiche e numerose prove su elementi costruttivi.

Purtroppo questa immensa ricerca sui materiali tradizionali delle diverse Regioni d'Italia non ha dato seguito a un volume unitario che ne consentisse una capillare diffusione e ciò vale per tutte le diverse Linee di ricerca. Questo fu dovuto alla repentina morte di Romeo Ballardini e alla conseguente dismissione del Comitato. Malauguratamente non si ha più traccia del materiale di ricerca consegnato al Ministero, non essendo stato possibile, allo Stato, individuare i documenti del Comitato presumibilmente conservati presso l'archivio del Ministero. I vari autori non hanno utilizzato i risultati conseguiti per ulteriori ricerche, né si ha notizia di raccolte sistematiche presso i coordinatori, quasi tutti deceduti. Solo lo scrivente ha conservato una corposa documentazione di tutte le Unità di Ricerca sui materiali tradizionali (Linea 4.2) presso il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali della Università Federico II di Napoli.

Il II Seminario: 8-9 Aprile 1997

La preparazione del II Seminario fu particolarmente impegnativa e laboriosa. Fu dapprima edito un volume preliminare nel marzo 1997 che presentava in circa venti memorie la visione culturale e scientifica del Comitato. In seguito, durante il Seminario furono presentate ben ottantasette memorie; si lasciò poi agli autori un tempo sufficiente per una accurata presentazione dei lavori. Nel marzo 1998, sempre a cura dell'editore Gangemi, fu edito un corposo volume di ben novecento pagine

Inoltre il Comitato produsse il testo "Norme Tecniche per la redazione di progetti di Restauro relative ai beni architettonici di valore storico-artistico in zona sismica", sul quale il Comitato di settore per i Beni Architettonici e Ambientali del Consiglio Nazionale per i Beni Culturali e ambientali del Ministero espresse parere favorevole. Sottoposto alla firma del Ministro dei Beni culturali, Walter Veltroni, e del Ministro dell'Interno, Giorgio Napolitano, il testo non fu mai approvato per l'opposizione del Ministero dei Lavori Pubblici.

Conclusioni

Il Comitato, in quindici anni di intenso lavoro, aveva elaborato una nuova visione del Patrimonio costruito storico, rendendo più complessa la visione culturale del Ministero, visione che ancora oggi cerca di guidare vuoi l'attenzione per una estesa ed efficace manutenzione programmata, vuoi i numerosi e complessi interventi di restauro costruttivo nelle tante città e nei tanti borghi d'Italia, e in particolare di quelli colpiti dai ricorrenti eventi sismici.

Bibliografia di riferimento

Ballardini R. (a cura di). 1988. *Atti del I° Seminario di studi La protezione del Patrimonio Culturale - La Questione Sismica, Istituzioni e ricerca universitaria*. Roma: Il Ventaglio.

Ballardini R. (a cura di). 1998. *Atti del II° Seminario di studi La protezione del Patrimonio Culturale. La Questione Sismica*, 29. Roma: Gangemi.

Ballardini R. (a cura di). 1990. *Il restauro Architettonico nella Ricostruzione del Friuli*. Udine: Edizioni Grafiche Friulane.
Carbonara G. (a cura di). 1981. *Restauro e Cemento in Architettura*. Roma: AITEC.
MLLPP. 1986. Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche. Decreto 24 gennaio 1986. Gazzetta Ufficiale n. 108 del 25 maggio 1986.

Webgrafia

[1] https://www.studiopetrillo.com/support/normativa_strutture/Circolare%20Ministero%20dei%20Beni%20Culturali%20e%20Ambientali%2018%20luglio%201986,%20n.%201032.pdf

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Basema Hamarneh, Luigi Marino

Le fortificazioni liminali d'Oltremare in epoca Crociata: esperienze costruttive a confronto

The Overseas border fortifications at the time of the Crusades: constructive experiences compared

Sommario
Questo contributo intende discutere forme, aspetti e impatto dell'architettura militare crociata nel Levante. Particolare attenzione è riservata alle fortificazioni costruite nei periodi di transizione per far fronte alle rinnovate capacità offensive delle forze nemiche. Si evidenzia che l'architettura militare crociata in Terra Santa era fortemente ispirata a modelli esistenti dei periodi romano, tardoantico e bizantino. I Crociati, che importarono la propria tradizione nel campo dell'edilizia militare, non sempre applicabile nei territori da loro occupati, si trovarono costretti a risolvere problemi costruttivi per molti aspetti anomali in quelle terre inizialmente occupate con una certa facilità. Dall'incontro di due tradizioni sono nati nuovi modelli architettonici capaci di fondere le pratiche diffuse in Occidente con quelle orientali, con soluzioni costruttive originali, creando una nuova cultura dei sistemi di difesa che, sotto forma diversa, verrà reimportato con successo in Occidente.

Abstract
This paper intends to discuss forms, aspects and impact of Crusader military architecture in the Levant. Specific attention will be paid to fortifications constructed in the transition periods to face the offensive capabilities of the enemy forces. In particular, the Crusader military architecture in the Holy Land was strongly inspired by extant models from the Roman, Late Antique and Byzantine periods. The Crusaders, however, who imported their own military building tradition, not always applicable in the territories they occupied, found themselves forced to solve construction problems that were anomalous in many respects in those lands initially occupied with a certain ease. This encounter of two traditions resulted in new architectural models capable of merging the practices widespread in the West with those of the East, with original construction solutions, creating a new culture of defense systems. This latter, in a different form, will be successfully re-imported into the West.

L'architettura militare

Nell'analisi dell'architettura militare storica una buona attenzione deve essere posta ai periodi di trasformazioni quando le opere fortificate devono essere modificate per adattarle alle nuove capacità offensive delle forze nemiche. Le trasformazioni sono lente e caratterizzate da adattamenti progressivi e localizzati ma, non di rado, possono essere veloci e radicali, tali da modificare totalmente i modelli preesistenti.

L'architettura fortificata, più di altre, presenta la particolarità di essere fatta con materiali da costruzione affidabili e con l'adozione di procedure d'apparecchio la cui durabilità deve essere sufficientemente elevata per assicurare adeguate solidità e affidabilità nel tempo. Da questo punto di vista un tema di grande interesse è costituito dall'architettura militare al tempo delle Crociate; innestata su precedenti manufatti, presenta rinnovate soluzioni costruttive che, sotto forma diversa, saranno utilmente reimportate in Occidente. I Crociati si trovano costretti a risolvere problemi costruttivi per molti aspetti anomali in quelle terre inizialmente occupate con una certa facilità[1] ma naturalmente ostili. In parte è frequente il riutilizzo dei castelli conquistati e il loro aggiornamento con sommari interventi, mentre piccoli edifici fortificati sono costruiti nelle vicinanze delle città assediate, come a Mont-Pélerin nel 1103. La situazione diventa ancor più difficile dopo la sconfitta di Hattin (1187), quando le operazioni militari sono rivolte prevalentemente alla difesa delle poche opere fortificate ancora sotto il loro controllo come, per esempio, Tiro, Cesarea e il Crac des Chevaliers.

L'architettura dei Crociati e i precedenti indigeni

Lo sviluppo delle opere franche in Terrasanta può articolarsi in tre fasi principali. La prima è caratterizzata dalla difficoltà di insediamento a causa della quasi totale mancanza di informazioni sui territori d'Oltremare nonostante le relazioni commerciali e i sempre più frequenti pellegrinaggi; i Crociati sono costretti a una maggiore attenzione verso il territorio e nei riguardi delle risorse naturali[2] necessarie a essere usate come materiale primario da costruzione. Nel secondo periodo di insediamento i Crociati sono obbligati a elaborare e gestire una macchina militare che comprende un alto numero di opere fortificate fisse, sperimentando anche un nuovo sistema di mobilità in un territorio difeso soprattutto da piccoli gruppi addestrati a combattere con grande mobilità e dotati di attrezzature leggere. In questa fase molte delle opere fortificate crociate sono basate su modelli di epoca romana, tardo antica e bizantina[3] lungo il *limes arabicus*, e su palazzi omayyadi, dapprima riutilizzati e poi trasformati fino a produrre opere fortificate di una certa originalità. Tra gli elementi funzionali di cui beneficiano i costruttori crociati vanno ricordati gli ingressi a baionetta attraverso le torri piuttosto che attraverso le cortine (Deschamps, 1932), presenti a Megiddo già intorno al 1180 a.C., i piombatoi concentrati sugli ingressi, le bertesche isolate su mensole di pietra e non di legno per il fiancheggiamento continuo, che i crociati

Fig. 1 - Château Gaillard: castello a difesa del confine Normanno (foto degli Autori).

trasformeranno in lunghi *machicoulis*, le cortine articolate a salienti e a scarpa[4] per ridurre gli angoli morti, le gallerie a sbalzo e le torri di cortina sporgenti, quadrangolari ma sempre più spesso semicircolari. Il *donjon* è impiegato non più come ridotto nell'area più protetta del castello, ma come fulcro di una linea di difesa attiva di primo impatto. Infine, nella terza fase di occupazione i Franchi riescono a produrre una macchina da guerra imponente, articolata in pochi manufatti, cioè fortificazioni di pianura ma soprattutto fortezze di sperone, che, quando saranno reimportati in Occidente, rappresenteranno un reale rinnovamento del costruire opere fortificate, si veda la Figura 1.

Dopo alcuni clamorosi errori di valutazione a causa della riproposizione di modelli difensivi passivi basati principalmente su movimenti di terra e palizzate di legno, i Crociati trasformano le abituali procedure costruttive adottando soluzioni vantaggiosamente condizionate dal confronto con esperienze costruttive e materiali locali. I *donjon* sembrano rappresentare uno dei pochi elementi affidabili dell'architettura militare occidentale riproposti anche Oltremare (Marino, 1987; Marino e Hamarneh, 1997).

La costa mediterranea ha da sempre svolto il ruolo di frontiera elastica, capace di limitare i rischi di invasioni ma flessibile agli scambi commerciali. Importanti sono i porti e i caravanserragli, ma anche gli opifici e i mercati di S. Giovanni d'Acri e Cesarea che si trovano a giocare un importante ruolo di intermediazione commerciale. Gli approdi sono classificabili in due gruppi: quelli interamente costituiti da murature artificiali avanzate in mare, solitamente più recenti, e quelli allestiti in rade interne nelle quali i natanti vengono tirati a secco sugli arenili. In entrambi i casi, ricorrenti sono i lavori di intaglio delle scogliere come sull'isola di Rouad, ad Ascalon e a Giblet per facilitare l'alloggio di strutture "a cassone" secondo la collaudata tecnica idraulica romana, utilizzata per esempio a Cesarea.

Le competenze acquisite sul campo in poco tempo formano un bagaglio importante di conoscenze da reimpiegare subito[5], con i miglioramenti che generazioni

successive di costruttori franchi e gli stessi musulmani avrebbero poi adottato[6]. Le opere fortificate, contrariamente all'architettura sacra, esaurita la primitiva funzione, quasi sempre sono abbandonate senza subire altro danno che quello di occasionali recuperi di materiali per l'edificazione di villaggi stanziali[7].

Le fonti antiche

Per le opere fortificate si dispone, tra i pochi documenti, della relazione di Oliver de Cologne, anche noto come Oliver von Paderborn (Hoogeweg, 1887), per la fortezza di Atlit o Châstel-Pélerin, e quella anonima, forse di Benoit d'Alignan (Huigens, 1965), per il castello di Saphet. Questi documenti riferiscono con attenzione delle caratteristiche dimensionali delle murature, *altitudo, spissitudo* e *latitudo,* il diametro o la diagonale delle torri, ma più evasive sono le indicazioni sui materiali e le tecniche costruttive: *lapidum etiam et cementi copiam dominus ministravit*. Indicazioni più precise e preziose sono offerte da Guglielmo di Tiro e dal suo Continuatore-traduttore (Guglielmo di Tiro, 1844). A proposito della vasta campagna di riparazioni effettuate al castello di Baniyas nell'estate del 1157 Guglielmo annota: «*convocatis* […] *de regno universo caementariis et quicunque architecturae aliquam habere videbantur experientiam, instantia diligenti, turres ac maenia reparant, renovant antemuralia; et infra murorum ambitum civibus instaurant ex integro domicilia et publicis aedificiis statum restituunt pristinum*» (Grabois, 1970). Il Continuatore di Guglielmo, sempre a proposito di Baniyas, osserva: «*charpentiers envoia querre et fist murs refere, et les fossez curer et approfondir*», mentre per i lavori al forte di Gaza, dal 1149, segnala «*la giterent leur fondementz, et firent tors grossez et forz, les murs hanz et espès, les fozzez lez et parfonz, moult fu bien fez cil chastiaux*».

Il riuso di materiali e strutture

Non di rado i nuovi edifici sono insediati in luoghi in precedenza occupati, in accordo con i suggerimenti di Procopio e quelli contenuti in un anonimo "Trattato della Tecnica" del VI secolo d.C. che raccomanda una ricognizione preventiva per accertarsi se in un intorno ci siano ruderi da riutilizzare *in situ* o materiali da recuperare e reimpiegare in altro luogo. A Gerusalemme la torre di Davide viene insediata sui resti dell'edificio erodiano mentre per la realizzazione delle fortificazioni di Atlit vengono sfruttate le antiche murature fenicie.

L'abitudine a riutilizzare negli stessi luoghi i materiali provenienti dai ruderi preesistenti è ben esposta dal Continuatore di Guglielmo quando, a proposito della costruzione del castello di Ibelin (1141) scrive: «… *pierres trouvèrent en cel leu des fortresses qui jadis y avaient aesté car, si comme l'en dist: chastel abatuz est demi refez*». A Djebele per il castello è riutilizzato il teatro romano di Gabaia; nella costruzione del castello di Darum sono proprio le rovine esistenti a condizionare la scelta del sito, «*occasione vetustorum aedificiorum quorum aliqua adhuc ibi superant ves-*

tigia»[8]. L'abilità costruttiva dei crociati è testimoniata da alcune scelte tecnologiche di grande interesse come, per esempio, quelle applicate allo sfruttamento dei siti attraverso l'attento intaglio della roccia per offrire alle murature un ottimale alloggiamento quando non si tratta di fortificazioni interamente scavate nella roccia[9].

I materiali e le tecniche costruttive

La maggior parte delle opere fortificate viene costruita in tempi ridotti. Il Castello a Mare di Sidone è costruito in pochi mesi da parte dei Crociati che sostano ad Acri. In un solo anno Luigi IX fa costruire la cinta muraria di Cesarea. Nella primavera del 1098 Raimondo di Saint Gilles costruisce in un paio di settimane il forte della Mahomerie con pietre lavorate tratte da un vicino cimitero musulmano, murate con bitume: *congerie lapidum et bitumine fragilis luti,* secondo una collaudata consuetudine costruttiva di origine mesopotamica. Per il castello di Saone invece le fonti (Huigens, 1965) riferiscono di almeno un ventennio di lavori. Nelle costruzioni di epoca crociata la qualità tecnica è rilevante, legata soprattutto ad accorte scelte territoriali e a un sapiente uso delle risorse lapidee locali[10]. La qualità costruttiva e manutentiva, certamente presente nei manufatti più importanti, pare non sia mancata in molte opere che si possono definire provvisorie, come quei muri ben definiti «muri della paura» (Eydoux, 1982) costruiti con procedure d'urgenza sotto l'incalzare degli eventi. All'inizio i costruttori franchi adottano murature apparecchiate con conci di grossa taglia, di spoglio o cavati direttamente sul posto, con gradoni intagliati nella roccia per assicurarsi l'alloggiamento di murature d'elevato, buona procedura antimina, con gallerie, piani interrati e fossati[11]; si veda Figura 2.

Fig. 2 - Murature a scarpa sovrapposte, glacis, alle più antiche mura verticali in Cesarea, a sinistra, e murature a scarpa a Tartous, a destra (foto degli Autori).

Fig. 3 - La torre araba di Shobac a conci bugnati, caditoia e feritoia fiancheggiante, a sinistra, e soluzioni d'angolo con barre lapidee incrociate a Kerak, a destra (foto degli Autori).

Intorno alla fine del XII secolo l'architettura militare presenta un importante rinnovamento. Le torri, di cortina o d'angolo, a base circolare trovano sempre maggiore impiego; gli apparecchi a bozze rustiche tendono a essere sostituiti da quelli a elementi lisci[12]; esempi sono in Figura 3. Il "grande apparecchio", solitamente con poca malta quando non a secco, viene progressivamente sostituito da conci di taglia minore e più regolare, murati a calce con soluzioni di più veloce e facile impiego[13]. Il rinnovamento del modo di costruire dei Crociati risente di una naturale maturazione accelerata da oggettive necessità ma anche, e talvolta in maniera determinante, dal contatto con esperienze di maestranze locali presenti nei cantieri come prigionieri costretti al lavoro e con libere maestranze salariate[14] (Yovitchitch, 2011).

I rapporti est-ovest

I contatti tra Occidente e Oriente al tempo delle Crociate evidenziano, in molti settori, scambi di conoscenze ed esperienze a reciproco vantaggio. L'adozione da parte occidentale di alcune tecnologie del Vicino Oriente è ben testimoniata anche dal ricco e significativo lessico scientifico e merceologico europeo derivato da termini arabi.

Per un paio di secoli almeno l'Occidente ha modo di apprezzare alcuni aspetti della scienza e della tecnologia orientali Si pensi, tra l'altro, alle pratiche idrauliche: sistemi di canalizzazioni, i *qanat* e le dighe, i sistemi di controllo topografico sul terreno, le macchine di sollevamento: quelle di Al-Jazari sono la più avanzata pro-

posta tecnologica del tredicesimo secolo; ma si pensi anche a soluzioni utilizzabili direttamente in guerra, come la trasformazione chimica di prodotti per la fornitura di sostanze incendiarie e bombe[15].

Nella società araba del tempo esiste una precisa distinzione dei ruoli tra l'architetto, addetto alla redazione del progetto, dei dettagli esecutivi e la costruzione dei modelli, e l'ingegnere: il termine *al-hasib* si traduce con "quello che calcola". Un ruolo importante è quello del carpentiere, indispensabile per la preparazione delle centinature delle strutture voltate e degli archi oltrepassati.

Le torri "a cavaliere"

I costruttori crociati hanno raggiunto in molti casi un alto livello di competenze tecniche nella realizzazione di superfici curve come le volte a freccia variabile che coprono le rampe di accesso al Crac des Chevaliers, le intersezioni tra pareti rettilinee e strutture voltate. In particolare, risultati rilevanti, e destinati ad avere importanti seguiti, sono evidenti nelle torri a cavaliere su cortine inclinate e ancor più in quelle poste sullo spigolo formato da due cortine, le regole della stereotomia vengono applicate con efficacia ed eleganza per la realizzazione di elementi a sezione ellissoidale. I conci che appartengono contemporaneamente all'apparecchio del muro a scarpa, nelle Figure 4 e 5, e a quello del cilindro, collocati quindi sull'ellisse di intersezione, sono progettati e realizzati fuori opera e, in seguito, rifiniti in opera. I conci svolgono un delicato ruolo strutturale dovendo contenere allo stesso momento

Fig. 4 - Il Crac des Chevaliers a Homs con torri aggettanti sulla scarpa (foto degli Autori).

Fig. 5 - Marqab: il torrione basaltico "a cavaliere" (foto degli Autori).

spinte verticali e oblique; per questo i piani di posa non sono sempre orizzontali ma spesso inclinati verso l'interno. Queste soluzioni d'apparecchio sono presenti in pochi esempi europei e sembrano databili a periodi coevi o posteriori alle crociate.

Il reimpiego di colonne

Di particolare interesse è quel singolare apparecchio che impiega colonne di spoglio nelle murature, una tecnologia che a fronte della difficoltà di approvvigionamento di legnami utilizza colonne di basalto o granito tratte da monumenti romani ed erodiani di cui la regione abbonda. Le colonne più lunghe risultano segate in due-tre tronconi; in alcuni casi si è accertato che sono state proprio le lunghezze delle colonne a definire gli spessori dei muri, si vedano le Figure 6 e 7.

Un ruolo importante è svolto dalla malta, allettata da maestranze progressivamente più specializzate, che assicura una efficace distribuzione dei carichi e il controllo dei fenomeni di scorrimento laterale, soprattutto nelle murature d'angolo. A Cesarea, colonne provenienti dalla villa di Erode sono impiegate come piattaforma di base per la costruzione del molo e della cittadella. La stessa soluzione è impiegata per il castello a mare e per le banchine del porto di Sidone. Per i costruttori arabi è una procedura corrente, adottata ad esempio ad Aleppo, a Palmira, a Bosra, a il Cairo e a Shayzar.

In alcune opere fortificate dell'epoca crociata non è agevole definire se il riutilizzo di colonne sia da riferire a interventi di parte crociata o piuttosto di quella musulmana. L'efficacia di prestazione delle murature armate con colonne è testimoniata dal cronista Al Maqrizi: a proposito della presa di Cesarea da parte di Baybars (1265) annota come san Luigi avesse fortificato le mura della cittadella talmente bene da rendere inefficace qualunque lavoro di mina.

Fig. 6 - Cesarea: colonne di epoca romana reimpiegate come armatura nella compagine muraria - opus gallicum nel castello crociato (foto degli Autori).

Fig. 7 - Biblos: l'orditura delle colonne di rinforzo è regolare soprattutto nelle parti inferiori delle murature dove seguono una maglia più fitta (foto degli Autori).

I conci bugnati

Un apparecchio spesso presente nelle fabbriche di epoca crociata è costituito dall'impiego di elementi lapidei che presentano nella faccia in vista una bozza con o senza anatirosi. In alcuni casi le bozze sono due nello stesso concio.

La funzione principale dei conci bugnati pare possa essere stata quella di facilitare la lavorazione delle superfici di contatto e rendere più agevoli le procedure di montaggio dei singoli elementi. In alcuni casi le bugne vengono eliminate dopo il montaggio, le bugne a campo graffiato, ma nella maggior parte dei casi vengono conservate venendo ad assumere, talvolta con una lavorazione supplementare, anche una funzione decorativa, in Figura 8.

Fig. 8 - Tartous: apparecchio murario a bugne rustiche e tavolette piatte al castello crociato (foto degli Autori).

Gli elementi a bozze, rari in Occidente prima del XIII secolo, sono presenti nelle regioni vicino-orientali da epoche molto più antiche, già dalla fine del IV secolo a.C., a Dura Europos, nell'architettura militare greca, nelle fortezze erodiane e nell'architettura bizantina.

Talvolta le cortine hanno le angolate tagliate a bozze mentre in altri casi, per esempio a Kerak, estese cortine presentano elementi di grande apparecchio a bozze. Questa è riconosciuta come una caratteristica degli interventi musulmani. Nella cittadella di Edessa, sopra delle murature bizantine, sono stati murati elementi con bugne a tavola; di origine armena, sono simili a quelli che si trovano su alcune murature del Crac des Chevaliers.

A Subeibe le torri circolari sono apparecchiate con elementi bugnati molto regolari, mentre nei salienti a base quadrilatera filari di conci bugnati inquadrano cortine di elementi non lavorati.

I tenoni metallici

La qualità delle costruzioni crociate dipende in parte anche dall'impiego di staffe e tenoni metallici sigillati da piombo colato. Guglielmo di Tiro annota che «*les pierres … estoit si fort maconnée a chauz et a arainne, et les pierrez soudées a plonc et a groses bandes de fer acroschiez d'une part et l'autre*». Nella *Cronaca* Burchardus de Mont Sion (1864) osserva che «*munitionem ex lapidibus quadris ex cemento et plumbo indissolubiter compaginatam*» mentre Wilbrand d'Oldemburg riferisce che a Sidone[16], a Beirut, a Maraclea e a Gerusalemme si costruiscono «*turres validisime, cum quarum juncturis lapides magli ferreis vinculiset duris amplexibus internectuntur*». Al Maqrisi, a proposito del castello a mare di Maraclea, scrive: «costruito con pietre legate tra loro con barre di ferro, ogni piano di posa era allettato con uno strato di piombo».

Le competenze nel campo dell'edilizia militare raggiunto dai costruttori franchi aveva non solo incapsula conoscenze millenarie ma anche lascia un forte impatto territoriale. Gli stessi musulmani prendono spunto adottando di rimando diverse soluzioni nella propria architettura bellica. Le forme di scambio e le innumerevoli modalità di impiego sono eloquente segnale della fortuna di questi modelli, frutto della sintesi e della reciproca influenza fra Oriente e Occidente, che ancora oggi continua a destare meraviglia.

Bibliografia

Al Maqrizi. 1837-1842. *Histoire des sultans mamlucs de l'Egypte*, trad. E.M. Quatremère. Paris: Oriental Translation Fund of Great Britain and Ireland.

Burchardus de Mont Sion. 1864. *Peregrinatores medii aevi quatuor*. Leipzig: Laurent.

Deschamps P. 1934. 1935. *Les Châteaux des Croisés en Terre Sainte* I-II. Paris: Geuthner.

Eydoux J-P. 1982. *Les chateaux* du soleil*: forteresses et guerres des Croisés*. Paris: Perrin.

Guillaume de Tyr. 1844. *Historia Rerum in partibus transmarinis gestarum*, RHC occ. I, Paris: Imprimerie National.

Grabois A. 1970. La citè de Banijas et le château de Subeibeh pendant les croisades. Cahier de civilization médievale, XIII, 43-62.

Hoogeweg H. 1887. Oliver von Paderborn. In: *Biografia generale tedesca* (ADB), 305-308. Lipsia: Duncker & Humblot.

Huigens C. 1965. Un nouveau texte du traité 'de constructione castri Saphet'. Studi Medievali, VII, 357-387.

Marino L. 1987. 'Chastel abatuz est demi refez'. Nota sulla fabbrica dei castelli crociati in Terrasanta. Castellum, 28/29, 17-34.

Marino L., Hamarneh B. *et al*. 1997. *La fabbrica dei castelli crociati in Terra Santa*. Firenze: Octavo.

Morgan M.R. (Ed.). *La continuation de Guillaume de Tyr (1184-1197)*. Paris: Geuthner.

Yovitchitch C. 2011. *Fortresses du Proche-Orient. L'architecture militaire des Ayyoubides*. Parigi: PUPS, Université de Paris-Sorbonne

Note

[1] «*Sappiate per certo che abbiamo conquistato per il Signore duecento città e castelli*»: con entusiasmo Anselmo di Ribemont comunica all'arcivescovo di Reims, verso la fine del 1097, i primi successi militari.

[2] Materiali lapidei innanzi tutto, a fronte di una difficoltà di approvvigionamento di legname. È noto il ruolo che hanno avuto i carpentieri navali genovesi e inglesi negli apparati d'assedio a Gerusalemme procurando «*lignea castra, machinae et machinamenta*».

[3] I modelli più ricorrenti nelle fortificazioni indigene sono il *castrum* e il *quadriburgium*: «*aedificant presidium cum turribus quator* […] *lapidum ministrantibus copiam*». A Darum la fortificazione era di «*formae quadrae, quattuor turres habens angulares, quarum una grossior et monitior erat aliis*». Lo stesso modello verrà adottato dagli eserciti musulmani quando fortificheranno Aijlun.

[4] Le murature scarpate verranno recuperate nei castelli di seconda generazione, a Belvoir e Cesarea, dove le murature antiche saranno rinfiancate da cortine a scarpa. A Biblos sopravvivono tratti di mura a *glacis*, il più antico è databile tra il 3200 e 2800 a.C.

[5] Il castello di Saone è definito «il miglior testimone dell'arte militare francese del XIII secolo tanto che non si trova, a questa epoca, una architettura così potente e un apparecchio costruttivo così alla perfezione eseguito» (DESCHAMPS, 1939).

[6] I lavori per la costruzione dello Château Gaillard, iniziati nel 1197 e condotti da Riccardo Cuor di Leone di ritorno dalla Terrasanta, durano poco più di un anno.

[7] GUÉRIN (1875) osserverà come le mura di Safed fossero diventate «*une véritable carrère, d'où les habitants de la ville extraient continuellement des matériaux tout taillés pour bâtir des nouvelles maisons*».

[8] A Bosra il teatro romano viene fortificato contro i Crociati con torri sporgenti e rinforzi con colonne inserite nei muri a completamento di interventi omayyadi.

[9] Una parte del castello di Beaufort «*consiste en cavernes creusées dans le roc, et une autrepart est construite sur le roc*».

[10] I materiali sono soprattutto basalto, del tipo massivo compatto, massivo con vacuoli e scorie laviche, e calcari: *mizzi, meleki, kalkule e nari*.

[11] Si pensi al fossato di Kerak, profondo sessanta cubiti e largo venticinque. A Sahyun sulle pareti di scavo del fossato e della singolare guglia battiponte sopravvivono le tracce dello scavo dei blocchi estratti e usati nella costruzione degli elevati. La straordinarietà del pilone susciterà l'entusiasmo del colonnello Lawrence.

[12] Elementi lavorati a bozze, a tavoletta o a bugne, ricorrenti nei monumenti romani e greci, sono adottati sia dai crociati sia dai musulmani. Le varianti possono essere considerate, in molti casi, affidabili indicatori cronologici.

[13] Uno degli elementi che facilita l'attribuzione delle murature ai lapicidi crociati è la lavorazione delle superfici in vista con la caratteristica *taille des croisades*, bande parallele diagonali lasciate dal martello dentato o da scalpelli a punta fine.

[14] Al cantiere di Sahyun (1240) sono presenti circa mille prigionieri. L'impiego di prigionieri avverrà anche all'inverso, quando i Crociati catturati saranno impiegati ad Aleppo. Secondo Abu Chama la guarniglione comprende anche personale per i lavori edili, tagliapietre, muratori, carpentieri e fabbri.

[15] Nel 1294 Najm al-Din Ayyub scrive il "Libro del cavaliere per la guerra santa". Murda Ali al Tarsusi offre al Saladino le "Istruzioni del maestro della capacità dei metodi di salvezza in guerra al tempo della vittoria di Hattin sull'esercito crociato"; Ali Abi Bakral-Harawi nel 1214 scrive il libro "Cose notevoli che riguardano gli stratagemmi bellici".

[16] A Sidone, insieme a staffe metalliche, sono state rinvenute tracce di tenoni di legno a coda di rondine "*queues d'aronde probablement en bois*" (DESCHAMPS, 1939).

Luigi Marino

L'architettura delle tende nere beduine

The architecture of the Bedouin black tents

"A oriente vediamo le tende nere dei beduini;
i palazzi e i templi sono in macerie, ma le tende
e il deserto rimangono" (M. Sykes, 1902)

Sommario
La tenda, in arabo *bayt ash-sha'r*, è un singolare "edificio" rimasto sostanzialmente identico fin dall'antichità. Dal punto di vista strutturale è definibile come struttura tesa a pianta rettangolare, costituita da un telo di copertura sostenuto da una serie di montanti in legno controventati, fissati al terreno con tiranti esterni. Si tratta di un modello architettonico che con variazioni minime e strutturalmente insignificanti rappresenta la migliore soluzione tecnologica tradizionale adottata in quelle regioni. Montare la tenda è un'operazione relativamente semplice. La sopravvivenza della tenda richiede un impegno costante nel controllo e nella riparazione di tutti i suoi elementi, lavoro tradizionalmente svolto dalle donne.

Abstract
The tent (the arabian expression is *bayt ash-sha'r*) is a singular "building" model that has remained substantially the same since ancient times. From a structural point of view it be defined as structure under tension to a rectangular plan, constituted by a covering fabric held over a series of braced wooden posts, fixed to the ground with external stays. This is an architectural model that with minimum and structurally insignificant variations represents the best traditional technological solution adopted in those regions. Putting up the tent is a relatively simple operation. The survival of the tent requires constant commitment in checking and repairing all of its elements, work traditionally performed by the women.

Un singolare edificio

Molti autori (Childe, 1936) hanno sostenuto l'idea che l'architettura dei nomadi sia deperibile e inconsistente e, pertanto, destinata a non lasciare tracce sul terreno. Più recentemente (Cataldi e Piziolo, 1985; Campetti e Borzatti von Löwenstern, 1983) ricognizioni di superficie e campagne archeologiche hanno dimostrato che, al contrario, le

tracce sopravvissute sono numerose e, se sapute individuare e analizzare, possono offrire nuove e confortanti informazioni. Le tracce labili lasciate dalle migrazioni dei nomadi in zone desertiche sono costituite da fondi di capanne e impronte di tende, tracce di focolari, spietramenti e raccolta più o meno organizzata di sassi, recinti per animali, scarsi resti di materiali non più utilizzabili e residui organici. La tenda[1] rappresenta un singolare modello di edificio che, rimasto sostanzialmente inalterato da tempi antichi, risulta essere la più efficace soluzione adottata in aree caratterizzate e condizionate da fattori ambientali difficili e, per molti aspetti, estremi (Cataldi e Piziolo, 1985; Cribb, 1991; Borzatti von Löwenstern *et al*., 2016), come mostrato in Figura 1.

Una delle espressioni tipiche e forse la più originale della cultura materiale beduina è rappresentata dalla tenda di lana nera. È universalmente ritenuta la dimora più semplice e più funzionale che l'uomo abbia inventato per una vita da condursi in un ambiente particolare come il deserto o la steppa. La sua origine è molto antica. Qualche autore ipotizza che derivi dalla *yurta* mongola, altri vedono piuttosto una sua invenzione autonoma. Lo spazio al suo interno sembra essere utilizzato nella stessa maniera un po' ovunque con settori specifici dedicati all'uomo, alle donne, al magazzinaggio dei pochi averi o ancora al ricovero di animali indifesi. Lo spazio interno della tenda dei beduini del Vicino Oriente viene diviso normalmente almeno in due vani principali: uno dedicato all'uomo e agli incontri con i visitatori, l'altro alle donne e ai bambini; in quest'ultimo spazio di norma non possono entrare uomini a eccezione dei fratelli, dei padri e dei cugini delle donne. Un terzo vano, se presente, è destinato alle provvigioni o ad accogliere animali per proteggerli da predatori notturni, si veda la Figura 1. Le dimensioni sono scandite dalla distanza dei pali che generalmente rimane pressoché costante, per rispettare in qualche modo le tensioni del tessuto di copertura. I vani della tenda sono separati tra loro da cortine, fatte di tessuto di pelo di capra più fine di quello di copertura e decorate con bande a motivi geometrici in bianco e nero, o da tessuti vivacemente colorati, simili ai tappeti ma talora ornati con nappe, stesi trasversalmente alla tenda stessa.

La tenda è difficilmente messa in pericolo dagli eventi meteorici: certamente l'acqua piovana che viene trattenuta dalla trama del tessuto la appesantisce almeno di tre volte, ma in genere non la danneggia: la completa asciugatura varia da uno a due giorni. Neppure il vento ne mina la stabilità poiché, pur agitando violentemente le paratie, non riesce a sradicarla da terra, anzi tende a comprimerla ove i beduini tempestivamente abbassino a terra la parete controvento, fino a farla divenire una continuazione del tetto stesso e ad assumerne la stessa pendenza; anche pali di sostegno e picchetti non sembrano soffrire, purché la paratia sia accuratamente fermata a terra con dei pesi. La tenda non è alta, un uomo vi sta in piedi a mala pena: i pali centrali sono alti poco più di due metri, mentre quelli perimetrali difficilmente superano il metro e mezzo. La fattura della tenda principale, riservata alla prima moglie, è quella più curata, tanto che la cortina posteriore, quella che a detta dei beduini rappresenta

Fig. 1 - Accampamento della tribù degli Hweitat nello uadi Ram, in Giordania meridionale. Alla tenda nera residenziale si affiancano la baracca della cucina e i ripari per gli animali e masserizie (foto dell’Autore).

il lato “pubblico”, mostra talora delle bande orizzontali più chiare, più o meno larghe, disposte secondo l’uso del clan cui appartiene la famiglia o dello stesso rango sociale del proprietario della tenda.

La tenda in definitiva rappresenta una creazione quasi perfetta per l’ambiente e per l’economia dei pastori, proprio per le sue caratteristiche di mobilità, potendo essere montata e smontata con rapidità[2].

L’accampamento

L’accampamento segue una forma di aggregazione lineare di tende che si sviluppa per affiancamenti successivi; ciò comporta forme insediative sparse in cui ogni singola tenda si dispone a una certa distanza dall’altra per garantirsi una sufficiente privacy. Le tende hanno il lato lungo aperto prevalentemente verso est e vengono montate solitamente su un terreno in lieve pendenza per facilitare lo scorrimento dell’acqua in caso di pioggia. Il mantello della tenda nera è propriamente una grande coperta di forma quadrangolare, tessuta con pelo di capra o di cammello oppure, nel Tibet, di yak, che viene appoggiata su una struttura formata da un certo numero di pali verticali o inclinati e poi tesa all’estremità con funi annodate a dei picchetti. La tenda persiana è costituita da una serie di teli cuciti lato a lato, senza alcun altro rinforzo, i tiranti sono attaccati direttamente al tessuto e la tensione principale deve svilupparsi nel senso della lunghezza, cioè lungo le cuciture; i pali posti generalmente sotto le cuciture sono semplicemente diritti o a T e non presentano intarsi o decorazioni, il tessuto è sempre nero e anche le cortine laterali sono prive di ornamenti. La tenda araba usa lo stesso tessuto del tipo persiano, ma in più presenta delle bande di tensione cucite nel senso trasversale alle fasce della stoffa; le funi sono attaccate alle bande in modo che la tensione principale attraversi le cuciture e si concentri sulle bande.

Oggi il grande accampamento tribale, formato da più nuclei familiari, è molto raro; un tempo, invece, un raggruppamento di più tende, talvolta fino a 150, si forma-

va, una o due volte l'anno, alla fine delle transumanze stagionali. La disposizione tendeva a mantenersi lineare secondo l'orientamento del sole, per file approssimativamente parallele e nel rispetto delle reciproche distanze oppure si sviluppava secondo una forma più avvolgente anche in conseguenza della conformazione morfologica del terreno occupato[3]. L'articolazione planimetrica e funzionale dell'accampamento tradizionale è stata interpretata da alcuni come la matrice topografica dalla quale sarebbe derivata l'organizzazione del villaggio stanziale. È sempre più frequente trovare una sola tenda cui si possono affiancare, quasi a formare una piccola corte, tende più piccole e baracche con funzione di depositi e vani di servizio[4]. Lateralmente alla parete lunga d'ingresso, la tenda può avere una o più baracche ricavate con materiali di recupero che hanno funzione di depositi di derrate alimentari e cisterne d'acqua[5]; talvolta una piccola baracca può funzionare da cucina ben riconoscibile perché alle sue pareti sono appesi tegami e stoviglie.

L'adozione di automezzi per il trasferimento ha contribuito in maniera determinante alla trasformazione degli insediamenti stagionali in conseguenza, prima di tutto, dei cambiamenti dei sistemi di approvvigionamento e di scambio (Chatty, 1980). I beduini che continuano a vivere nelle tende collocano spesso i loro accampamenti nelle vicinanze dei piccoli centri stabili che permettono loro di rifornirsi facilmente di prodotti di prima necessità. Chi, invece, ha trovato un luogo favorevole per un duraturo stanziamento tende a costruire delle piccole case in muratura[6]. Anche quando le abitazioni permanenti possiedono più camere, è frequente che alcune di queste siano utilizzate come magazzino o per il bestiame, mentre la maggior parte delle attività domestiche si svolge in una sola camera.

Tecnologia della tenda

Pochi elementi prefabbricati, facilmente smontabili e trasportabili[7], danno origine a un organismo leggero e resistente alle difficili condizioni ambientali, capace di assicurare al suo interno condizioni microclimatiche di relativo benessere. La tenda nera tradizionale ha forma rettangolare secondo uno schema ripetitivo che risulta assolutamente indipendentemente dalla grandezza[8], Le sue dimensioni possono variare sensibilmente in lunghezza, da un minimo di circa 7 m per una tenda a due vani fino a un massimo di 20 m per una tenda a sei vani; la larghezza è invece solitamente contenuta tra 3,5 m e 4,5 m. Dal punto di vista strutturale la tenda si può definire come una tensostruttura a sviluppo rettangolare, costituita da un tessuto di copertura teso[9] su una serie di pali di legno strallati fissati al terreno da tiranti esterni, come mostrato nelle Figure 2 e 3.

Il montaggio della tenda è un'operazione relativamente semplice, eseguita in tempi molto brevi sempre dalle donne secondo una catena operatoria ripetuta senza varianti: la tenda viene srotolata e distesa sul terreno livellato e pulito e le corde vengono legate ai picchetti, quindi i pali frontali, prima, poi quelli centrali e tutti gli

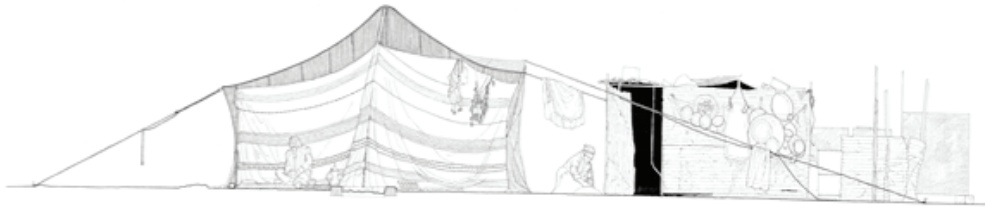


Fig. 2 - La tenda: vista dell’area privata con gli annessi di servizio: cucina, depositi e provviste di materiali di uso comune, recinto e tettoia per gli animali (disegno dell’Autore).

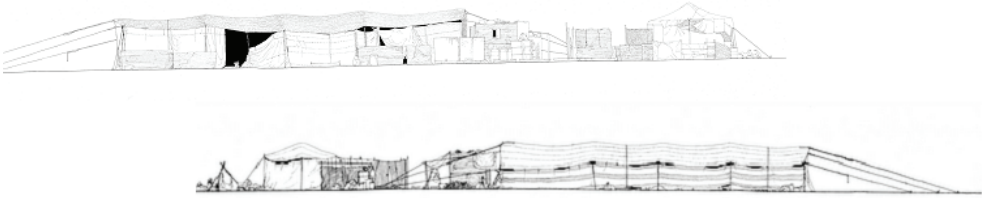


Fig. 3 - Tenda a quattro campate con annessi: prospetti lunghi, in alto lato privato e in basso lato esposto (disegno dell’Autore).

Fig. 4 - La tenda: l’apertura periodica mette in evidenza il sistema dei pali di innalzamento frontali, centrali, laterali e d’angolo, a sinistra e teli confezionati intorno ai pali per il trasferimento (foto dell’Autore).

altri sono infilati sotto la tenda e sollevati verticalmente, mentre le corde vengono tirate contemporaneamente da più lati contrapposti. Quando è in tensione vengono allacciate le cortine verticali sui lati lunghi e quelle divisorie. Lo smontaggio avviene in maniera inversa ed è ancora più rapido[10]: la tela di copertura e quelle delle pareti vengono separate e arrotolate, o piegate, intorno ai pali di trasporto, gli stessi che costituiscono gli elementi verticali e sono legati con le stesse corde-tiranti, in Figura 4.

I componenti strutturali

"Dio vi ha dato per dimora delle tende… che per la loro leggerezza potete manovrare senza difficoltà quando decidete di trasferire altrove l'accampamento" (Corano)

I pali di innalzamento

La tipologia elementare della tenda a due vani ha in tutto 9 pali: il centrale, il frontale e il centrale posteriore, i due angolari posteriori e i due angolari anteriori, i due laterali mediani. Ogni accrescimento in lunghezza della tenda comporta, ovviamente, l'impianto di un sistema di nuovi pali. I pali centrali sono alti in media 220 cm e collocati in verticale, quelli frontali d'accesso sono alti mediamente 160÷180 cm e inclinati verso l'esterno per aumentare la trazione sul tessuto e favorire così il lavoro della fune sulla banda trasversale e quelli d'angolo sono alti non più di circa 160 cm e sono apparecchiati anch'essi inclinati, disposti spesso lungo la diagonale del rettangolo di base. Il ruolo che i pali svolgono nel complesso della struttura-tenda è quello di tirare i teli nel senso della lunghezza e di "rialzare" la copertura. I pali d'innalzamento sono semplicemente appoggiati al terreno; soggetti prevalentemente a compressione, presentano eccentricità variabili in conseguenza della posizione assunta nella tenda, dovendo sopportare il peso della copertura e le sollecitazioni trasmesse loro dal sistema di tiranti che bloccano al terreno la tenda.

La copertura

Il tessuto, formato da fasce assemblate, forma la copertura e i due lati corti della tenda che arrivano a terra anche se, sempre più frequentemente, per le pareti corte si tende ad adottare altre strisce cucite in senso verticale. Lungo i lati più lunghi i singoli teli vengono tenuti insieme con cuciture eseguite con fili di lana o cotone.

Il tessuto di copertura dal punto di vista strutturale rappresenta un elemento continuo a due dimensioni che trasmette i carichi esterni, soprattutto il vento, agli altri elementi strutturali, quali pali, maniglie e corde, creando di fatto un sistema integrato che rimane costantemente in tensione, anche in assenza di carichi esterni[11]. La stabilità della tenda è accresciuta dalla conformazione parabolica a sella che assume nelle aree comprese tra i pali; l'inconveniente dell'effetto vela causato dal vento è controllabile e riconducibile a valori accettabili attraverso il sistema di tiranti regolabili. Il tessuto è in grado di resistere agli sforzi di trazione nelle due direzioni in quanto è costituito da una maglia intrecciata di fili nelle due direzioni della trama e dell'ordito garantendo alla tenda un ottimo livello di stabilità al variare delle sollecitazioni dinamiche, anche grazie alla facile regolazione del sistema tirante costituito dalle corde.

La tenda nera assorbe praticamente tutta la radiazione solare incidente, per cui la temperatura della copertura aumenta e questo aumento, insieme alla trama larga del tessuto, determina l'incremento dei fenomeni convettivi e fa in modo che l'interno sia più fresco dell'esterno durante i mesi caldi; quando fa freddo, invece, la tenda

nera assorbe la radiazione emessa dal fuoco con il risultato che la temperatura all’interno resta sufficientemente alta. La copertura di lana infeltrita costituisce inoltre una buona protezione contro la pioggia (Attia, 2014).

L’importanza strutturale dell’orditura della tenda con fasce longitudinali accostate è evidente nei casi in cui si faccia ricorso a materiali di risulta. Nei casi in cui siano stati impiegati buoni teli di sacco di iuta sono evidenti le deformazioni delle superfici, soprattutto quando le linee di cucitura sono indipendenti dalle “linee principali di sollecitazione” costituite dal rialzo delle superfici in corrispondenza degli allineamenti dei pali.

La parete frontale

La parete frontale è quella che divide il lato lungo della tenda dall’esterno, quasi sempre costituita da una serie di sacchi di canapa cuciti insieme. Durante il giorno vasti settori della parete sono aperti in corrispondenza delle diverse sezioni della tenda. L’apertura è assicurata da legacci laterali a mo’ di sipario oppure le tende possono essere arrotolate verso l’alto favorendo, così, la ventilazione.

La parete frontale

La parete costituisce il lato pubblico della tenda e presenta perciò una maggiore decorazione geometrica, realizzata con fasce orizzontali in tre colori, bianco, marrone e grigio-nero come le colorazioni naturali della lana rispettivamente di pecora, cammello e capra; spesso per il bianco è usato il cotone. La parete ha, nella parte più bassa, una striscia di tessuto di qualità inferiore che può essere sepolta dalla sabbia e tenuta ferma con dei sassi, pezzi di legna da ardere o altro materiale. Per unire il manto di copertura del tetto con i teli dei lati maggiori della tenda, quello frontale e quello posteriore, vengono utilizzati degli spilloni di acacia legno o di metallo. Le staffe di corda o tessuto, invece, sono semplicemente dei pezzi di cordame, legati attorno alla maniglia, attraverso la quale passa la fune di ancoraggio.

Le pareti divisorie

Poste perpendicolarmente ai lati maggiori e appese ai pali intermedi della tenda, le pareti divisorie sono utilizzate per dividere il vano degli uomini dal resto dell’abitazione. Presentano motivi decorativi a colori vivaci realizzate con strisce in lana di pecora di colore verde, marrone e rosso spesso intervallate da fasce decorate in cotone degli stessi colori.

I rinforzi trasversali

Al di sotto dei teli del manto di copertura, poste ortogonalmente al lato più lungo in corrispondenza di ogni serie di pali, vengono cucite le bande di trazione che svolgono un ruolo di distributori di carico e dissipatori di tensioni ed evitano che

la trazione trasversale concentrata possa strappare il tessuto lungo le cuciture delle fasce affiancate. Sono realizzate con una fascia a maglia più fitta del tessuto della copertura e sono larghe 10÷12 cm e spesso decorate.

Le maniglie di trazione

Fasce simili alle bande di trazione sono talvolta utilizzate per rinforzare i nodi d'attacco tra il tessuto di copertura e i teli delle pareti esterne. Alle estremità delle bande di trazione, sui bordi della tenda di copertura, vengono cucite delle maniglie destinate alla legatura delle corde di trazione. Sono costituite da elementi di legno, della lunghezza di 20÷25 cm.

Le staffe

Le staffe si legano alle maniglie e possono essere di legno, di metallo, di corda o tessuto. Quelle di legno vengono solitamente realizzate con le forcine tratte dalle biforcazioni naturali di alcuni rami e legate alle maniglie con filo di ferro o corde. Le staffe di ferro hanno una forma a U o a V e alle due estremità hanno degli occhielli attraverso i quali viene fatta passare la corda che le collega alla maniglia. Le staffe di corda o tessuto, invece, sono realizzate con spezzoni di cordami o ritagli di tessuti ritorti o intrecciati fatti passare attorno alla maniglia, attraverso la quale corre la fune di ancoraggio, si veda la Figura 5.

I tiranti esterni

Elementi fondamentali della struttura della tenda, le corde possono essere considerate come un vero ed efficace prolungamento puntuale del telo di copertura. Nel caso di una tenda elementare a un palo centrale, le corde sono poste ai vertici e alle mezzerie dei quattro lati, punti nodali della struttura; nel caso di tende a più campate i punti di aggancio dei tiranti sono collocati in corrispondenza degli allineamenti dei ritti verticali e di quelli inclinati. In alcune tende le funi d'angolo possono essere disposte solo lungo le diagonali, in sostituzione di quelle poste in allineamento con i lati della

Fig. 5 - Staffe per le corde di trazione realizzate solitamente con materiali di risulta (foto dell'Autore).

Fig. 6 - Il sistema di tiranti di controventatura regolabili tramite nodi (foto dell’Autore).

tenda, in base al principio della risultante delle forze. In tali casi, la struttura generale risulta indebolita mentre si creano concentrazioni di sforzi sui teli che in occasione di sollecitazioni più forti possono risultare insostenibili, come mostrato in Figura 6. La distanza di ancoraggio dei tiranti ai picchetti infissi è variabile e sembra dipendere essenzialmente dalla necessità di permettere alle funi di mantenere tendenzialmente lo stesso angolo d’inclinazione del telo di copertura per assicurare una migliore resa assiale. Si può facilmente constatare come, nella pratica, la lunghezza dei singoli tiranti sia variabile anche in una stessa tenda e come essa possa dipendere anche dalla morfologia dello spazio a disposizione. Le corde solitamente hanno un capo legato al picchetto a terra e**,** fatte passare attraverso le staffe delle tende, vengono regolate in lunghezza da annodature formate da semplici nodi a “mezzocollo” ripetuti in serie per aumentare la funzione d’attrito e, nella parte centrale, bloccate da uno o più nodi scorsoi. Corde secondarie possono essere utilizzate come rinforzo quando la tenda è sottoposta a sollecitazioni più impegnative, quando il vento è a raffica senza una direzione preferenziale. In tali casi, le corde sussidiarie vengono fatte passare sul manto di copertura perpendicolarmente ai lati maggiori, al centro di ogni campata, e legate a picchetti posti alla base delle pareti più lunghe o a cumuli di sassi.

Analisi statica

La struttura della tenda nera è intrinsecamente labile. La sua stabilità dipende principalmente dal sistema costituito dai tiranti e da alcuni accorgimenti adottati nel sistema di ancoraggio, nonché nell’interazione corda-telo di copertura. La struttura è molto sensibile all’azione del vento a causa del comportamento dei vincoli di appoggio dei montanti in legno che, liberi di ruotare, non impediscono i movimenti di traslazione nella direzione del vento creando le condizioni per un singolare cinematismo. Il sistema delle azioni interne non è particolarmente elevato, eccetto nei punti di ancoraggio al terreno dove si concentrano le reazioni più alte. In questo caso il sistema di pre-tensione gioca un ruolo importante impedendo alla struttura di deformarsi. Le verifiche

strutturali si basano sulla modellazione agli elementi finiti[12] mediante l'uso di *frames beam,* rappresentato dal sistema delle corde-cavi e dei montanti della struttura e dagli elementi *shells* che rappresentano la copertura. Si può ritenere che, vista la piccola entità dei carichi rappresentati dai pesi propri[13] la struttura sia soggetta solo ai carichi dinamici dovuti al vento. Lo schema statico utilizzato per la modellazione è simile a quello utilizzato per le tensostrutture; la modellazione di tutti i nodi, quindi, è stata assimilata a delle vere e proprie cerniere che permettono la rotazione e che danno come sollecitazione gli spostamenti di queste. In definitiva, le due azioni vengono applicate lungo gli assi x e z con diverse e articolate combinazioni di carico.

La manutenzione della tenda

La sopravvivenza della tenda è legata al suo mantenimento in buona efficienza. Un controllo generale dello stato dei teli, soprattutto delle cuciture, viene eseguito quasi automaticamente ogni volta che la tenda viene rimontata con la sostituzione eventuale dei componenti che danno segno di cedimento o non possono essere riparati. I teli della copertura necessitano di una manutenzione più intensa e accorta perché sono soggetti a un'usura maggiore, soprattutto nelle aree di tensioni concentrate che si evidenziano nelle zone corrispondenti ai pali di innalzamento e ai punti di attacco dei tiranti. La procedura più usuale prevede che le lunghe strisce vengano normalmente sostituite man mano che si consumano secondo una pratica semplice e ripetitiva: i tiranti vengono allentati, i pali di innalzamento sfilati, viene abbassata la tenda a terra; il telo danneggiato viene scucito e sostituito con uno nuovo. Piccole e localizzate riparazioni a mezzo di cuciture o utilizzo di toppe di rinforzo possono essere eseguite anche con la tenda in funzione. Oltre a questi interventi di manutenzione straordinaria va segnalata la procedura che si basa, o si basava sull'aggiunta, nel mezzo della tenda, con cadenze abbastanza regolari, di alcuni teli in modo che quelli consumati vengano a trovarsi verso gli estremi più esterni o bassi fino a quando non sono del tutto logorati. Le strisce di tela, tradizionalmente tessute al telaio dalle donne, vengono oggi spesso acquistate nei mercati e sono facilmente riconoscibili perché presentano una trama più fitta e regolare e, sempre più frequentemente, componenti sintetiche[14]. La manutenzione interna viene fatta periodicamente e soprattutto dopo una pioggia si limita alla pulizia del terreno e alla revisione dei sistemi di smaltimento delle acque meteoriche. Se necessario[15], le corde vengono tirate rifacendo i nodi oppure avvolgendo con nuovi giri il bandolo del tirante intorno al picchetto in maniera da tirare la tenda e ridurne i margini di sventolio.

Bibliografia

Attia S. 2014. Assessing the Termal Performance of Beduin Tents in Hot Climate, *First International Conference on Energy and Indoor Environment for Hot Climate*, Doha

Borzatti von Löwenstern E., Marino L., Carnevale S., Fabiano M. *et* al. 2016. *Bayt ash Sha'r, la tenda nera dei beduini*. Caselle: CiErre edizioni.

Campetti S., Borzatti von Löwenstern E. 1983. *L’altra umanità*. Firenze: Sansoni.
Cataldi G., Piziolo G. 1985. Territorio e tende. *L’Universo*, 1, gen-feb.
Chatty D. 1980. The pastoral family and the truck. In: *When Nomadic Settle: Processes of Sedentarization as Adaptation and Response* (P.C. Salzman Ed.). Westport: Praeger Publishers.
Childe V. 1936. *Man Makes Himself*. London: Moonraker Press.
Cribb R. 1991. *Nomads in Archaeology*, Cambridge: Cambridge University Press
Faegre T. 1979. *Tents. Architecture of the Nomads*. Cottonwood: Anchor Books ed.
Jarno R. 1984. Le rôle de la tente dans la formation de l’espace villageois à Odeir (Syrie): le jeu annuel de la sédentarisation e Daker N. Contribution à l’étude de l’evolution de l’habitat beduin en Syrie. In: *Nomades et Sédentaire: Perspectives ethnoarchéologiques, Memoires* (O. Aurenche Ed.), 40.
Marino L., Londino M. 1999. *La casa tradizionale nei villaggi della Giordania*. Caselle: CiErre edizioni.
Weir S. 1990. *The Beduin*. London: British Museum Press.

Note

[1] L’espressione araba *bayt ash-sha’r, buyüt ash-sha’r* al plurale, si traduce con “casa di pelo”. L’espressione *nomad architecture,* anche se sembra contenere una contraddizione in termini, rappresenta bene un tipo di manufatto la cui principale caratteristica è quella di essere ben adattabile a singolari condizioni ambientali (Faegre,1979; Weir, 1990).

[2] Fino a qualche anno fa il carico che poteva essere imposto a dromedari e asini non doveva superare i 100÷150 kg; se la tenda era di grandi dimensioni, andava suddivisa in più parti che andavano poi ricucite insieme al momento del rimontaggio usando un grosso filo di lana per ricomporre il telo di copertura, o spilloni per fissare le paratie.

[3] Una suggestione di quello che potrebbe essere stato il grande accampamento tribale si può avere oggi in occasione di matrimoni importanti: le tende si aggregano disponendosi flessibilmente in schemi non lineari, a corte aperta o a ventaglio, così da creare degli spazi comuni, per lo svolgimento della cerimonia (Jarno, 1984).

[4] Il combustibile per il fuoco viene tenuto in un angolo all’interno della tenda nella parte maschile, mentre le provviste maggiori sono tenute all’esterno della tenda vicini alla parte femminile. Gli animali vengono raccolti in appositi recinti realizzati con materiali di risulta e cordami vicino ai quali sono posizionati la mangiatoia e l’abbeveratoio.

[5] La provvista d’acqua, una volta raccolta ai pozzi con contenitori fatti con pelle di cammello e più recentemente con pezzi di pneumatici, è assicurata oggi da contenitori di lamiera zincata o di plastica riforniti spesso da autocisterne.

[6] La tenda come vano supplementare della casa stabile si riscontra anche nelle città dove talvolta viene alzata in giardino o in terrazza (Marino e Londino, 1999).

[7] Le tende beduine sono state efficacemente definite come «una casa portatile pratica e completa dimostrando di possedere tutti gli elementi principali di un’architettura permanente» (De Schauensee, 1968).

[8] Della “tenda araba” si conoscono, approssimativamente, due schemi strutturali: uno costituito da tre file parallele e uguali in altezza di pali di sostegno (nove in tutto) piantati verticalmente sul terreno e raccordati in cima con elementi rigidi orizzontali (versione a tetto piano e sezione trapezoidale); l’altro composto anche da tre file di ritti verticali, di tre elementi ciascuno, ma di altezze diverse.

[9] Il tessuto costituisce, dal punto di vista strutturale, una "membrana" di grande flessibilità capace di resistere agli sforzi di trazione. Quando la tenda è tesa acquista la massima stabilità presentando soltanto deformazioni contenute.

[10] Nel caso di brevi periodi di assenza la tenda può essere disattivata abbassando gli elementi verticali, a seguito di un leggero allentamento delle tensioni delle corde che restano comunque legate ai picchetti.

[11] La stabilità della tenda è accresciuta dalla conformazione parabolica "a sella" che assume nelle aree comprese tra i pali; l'inconveniente dell'effetto vela causato dal vento è controllabile e riconducibile a valori accettabili attraverso il sistema di tiranti regolabili.

[12] Dipartimento di Costruzioni dell'Università di Firenze, prof. G. Tempesta.

[13] 1 m^2 di tenda di copertura pesa mediamente 2,5 kg in condizioni secche.

[14] L'abbandono di materiali tradizionali è sempre più frequente; sono sostituiti da imitazioni di plastica con decorazioni tipiche del sud-est asiatico da dove provengono.

[15] In assenza di vento e/o di pioggia può avvenire che non tutti i cavi vengano tirati e la tenda assuma, pertanto, una configurazione che presenta forti concavità nelle aree intermedie alle file dei pali.

Andrea Arrighetti, Marco Repole

Il progetto PROTECT. Primi passi verso un protocollo operativo per la lettura archeosismologica speditiva dei centri storici

The PROTECT project. First steps towards an operational protocol for the light archaeoseismological analysis of historical

Sommario

Dal novembre del 2021 al dicembre del 2023 il centro storico di Siena, in Toscana, è stato interessato dal progetto "PROTECT - Knowledge for PReventiOn. Technique for reparing seismic damage from medieval period To modern era", una ricerca biennale finanziata dal programma Horizon 2020 dell'Unione Europea, con una Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship. PROTECT mira all'applicazione, in via del tutto sperimentale, dei metodi di analisi archeosismologica in funzione di una conoscenza di un centro storico sotto il profilo della prevenzione sismica a diversi livelli di approfondimento. Fra i risultati di maggior rilievo scaturiti dalle analisi condotte sulle architetture di Siena, risulta di grande interesse la strutturazione di un protocollo operativo di analisi speditiva dei fronti stradali dei vicoli. La metodologia è caratterizzata dall'acquisizione e dalla restituzione digitale dei contesti di interesse mediante rilievo laser scanner e fotogrammetrico, associata a una lettura archeologica e strutturale, entrambe effettuate sia sul campo che attraverso strumenti digitali. Mediante questo processo sono state caratterizzate e analizzate le tecniche costruttive e i presidi post-sismici impiegati nel corso del tempo e si è indagato su come questi si siano relazionati con i diversi terremoti. Si tratta, dunque, di un approccio archeologico sperimentale e speditivo, che permette di aggiungere dati di interesse alla conoscenza delle architetture presenti nei centri storici e alla loro valutazione, in funzione delle operazioni di programmazione e pianificazione. Nel caso di Siena, i risultati e la validità del metodo sono stati poi verificati e comparati con gli effetti del sisma che ha interessato la città toscana nel febbraio del 2023. Quest'ultimo, sebbene non abbia causati danni o dissesti particolarmente rilevanti, ha comunque comportato una minima deformazione dei complessi architettonici, in relazione, spesso, alle interfacce stratigrafiche e ai presidi post-sismici presenti, mostrando chiaramente una netta correlazione tra questi elementi.

Abstract
Since November 2021, the historic center of Siena, in Tuscany, has been involved in the project "PROTECT - Knowledge for PReventiOn. Technique for repairing seismic damage from the medieval period to the modern era," a two-year research initiative funded by the European Union's Horizon 2020 program, supported by a Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship. PROTECT aims to apply, on a fully experimental basis, methods of archaeoseismological analysis to gain a deeper understanding of a historical center from the perspective of seismic prevention. One of the most significant outcomes of the analyses conducted on Siena's architecture is the development of an operational protocol for the expeditious analysis of the street fronts of the alleys. The methodology involves digital acquisition and reconstruction of relevant contexts using laser scanners and photogrammetric surveys, coupled with archaeological and structural readings conducted both in the field and through digital instruments. This process allowed for the characterization and analysis of construction techniques and post-earthquake interventions over time, elucidating their relationship to different seismic events. This approach is experimental and expeditious, contributing valuable data to the understanding of architecture in historic centers and facilitating their assessment for programming and planning operations. In the case of Siena, the results and validity of the method were subsequently verified and compared with the effects of the earthquake that struck the Tuscan city in February 2023. Although the latter did not cause particularly significant damage or disruption, it did result in minimal deformation of architectural complexes, often associated with stratigraphic interfaces and post-seismic presences, thereby demonstrating a clear correlation between these elements.

Introduzione
Negli ultimi decenni, il concetto di archeosismologia è diventato sempre più importante nel campo archeologico e non solo. Si tratta dell'analisi degli effetti dei terremoti su antiche architetture, indipendentemente dal loro stato di conservazione.

Questa disciplina, nonostante la sua importanza nella documentazione, prevenzione e salvaguardia del patrimonio culturale, ha avuto uno sviluppo metodologico e applicativo limitato rispetto ad altre aree della sismologia (Guidoboni e Ebel, 2009). Nell'archeologia della costruzione, ad esempio, sono stati fatti pochi tentativi di sviluppare metodi di analisi utili a comprendere gli effetti dei terremoti sugli edifici. In Italia, negli ultimi anni, a causa di una attività sismica significativa, c'è stato un rinnovato interesse nell'applicare l'archeosismologia ai siti di scavo e all'edilizia storica; in particolare, ci sono stati dibattiti su temi storici e archeologici in seguito ai terremoti del 2009 in Abruzzo, del 2012 in Emilia e del 2016 nel centro Italia.

Queste riflessioni hanno ispirato il progetto "*PROTECT - Knowledge for PReventiOn*", finanziato da Horizon 2020 dell'Unione Europea tramite una Marie

Skłodowska-Curie Individual Fellowship presso l'École Normale Supérieure - Università PSL di Parigi. Il progetto, di natura sperimentale, si è basato sull'applicazione di metodi di analisi archeosismologica nel centro storico di Siena, in Toscana, per documentare il contesto sotto il profilo della prevenzione sismica al fine di sviluppare un protocollo operativo per centri storici basato su diverse analisi multidisciplinari, registrando edifici, fronti stradali e centri urbani secondo criteri metodologici specifici (Arrighetti, 2023). Nell'ambito del progetto sono state anche sviluppate linee guida per una corretta conoscenza del costruito storico preventiva all'intervento, inclusa l'analisi archeosismologica. Quest'ultima ha permesso di comprendere la componente storico-costruttiva e meccanica di organismi pluristratificati come i fronti stradali dei vicoli del centro storico di Siena e di formulare ipotesi sul loro stato di conservazione. Di seguito, sono presentate le principali linee metodologiche di questo approccio.

Il rilievo e la documentazione dei dissesti strutturali

Il rilievo costituisce da sempre uno strumento di eccezionale valore per l'archeologia, sia in fase di registrazione che nel delicato momento dell'interpretazione dei dati acquisiti sul campo. Le attuali tecnologie a disposizione permettono l'acquisizione di una grande quantità e varietà di dati, offrendo l'opportunità di lavorare su repliche pressoché esatte dell'oggetto reale.

L'esempio più concreto risiede nell'utilizzo degli *Elevation Maps,* caratterizzazioni bidimensionali di un dato di partenza tridimensionale registrato da strumenti di varia tipologia, come la fotogrammetria o il rilievo tramite laser scanner. La documentazione dei dissesti degli edifici tramite *Elevation Map* è una tecnica utilizzata per analizzare le eventuali deformazioni strutturali che un manufatto edilizio possa aver subito a seguito di eventi come terremoti, alluvioni, frane o di altre cause, naturali o antropiche. Per creare una mappa di elevazione dell'edificio, vengono utilizzati strumenti di rilevamento di vario genere come LiDAR-*Light Detection And Ranging, GPS-Global Positioning System*, fotogrammetria o Laser Scanner 3D; questi strumenti, seppur caratterizzati da specifiche e precisioni differenti, permettono di rilevare le variazioni di altezza tra i punti che compongono le superfici di un oggetto. La teoria che sta alla base di questa tecnica consiste nell'individuare sulla superficie da analizzare un piano di riferimento ideale, il quale viene utilizzato come base per le misurazioni che andranno a comporre la mappa; questo piano ideale è composto dalle sole coordinate X e Z, per cui è possibile misurare tutte le variazioni dei punti nella loro componente Y, associando alla loro ampiezza Delta un dato colore di una scala cromatica assegnata. Nelle scale più frequenti, la porzione di elaborato con un gradiente che tende al rosso identifica le deformazioni positive, mentre quella che tende verso il blu indica quelle negative; con il verde sono indicati i punti più prossimi al piano di riferimento e quindi privi di deformazioni. Le informazioni tridimensionali

fornite con questo grado di precisione consentono l'analisi e l'individuazione delle deformazioni sulle superfici, che non solo permettono di valutare problematiche di varia natura che interessano un manufatto architettonico nel momento in cui viene effettuato il rilievo, ma forniscono anche valutazioni sulle dinamiche collegate agli eventi sismici che hanno interessato l'edificio nel corso del tempo. In questo senso, la registrazione puntuale delle deformazioni, così come delle fessurazioni, diviene un elemento di fondamentale importanza per comprendere l'evoluzione del manufatto, le sue trasformazioni e i suoi dissesti e, conseguentemente, le dinamiche che stanno alla base delle scelte di intervento e di trasformazione del complesso architettonico.

A differenza della classica mappa di elevazione descritta in precedenza, caratterizzata da gradienti di colori, nel progetto PROTECT è stato sperimentato l'utilizzo di una mappa basata su un sistema di rappresentazione simile a quello utilizzato nella topografia terrestre, ovvero tramite polilinee chiuse, come mostrato in Figura 1. Questo tipo di documentazione offre la possibilità di individuare e schematizzare tutti i punti presenti sulla superficie analizzata, correlandoli a un dato Delta. Tale metodo, applicato alla scala minima di rappresentazione, permette di campire e delimitare ogni area di un fronte di un edificio che viene caratterizzata dallo stesso spostamento, riuscendo così a generare una mappatura quotata a curve di livello in grado di descrivere nel dettaglio il quadro deformativo. Il vantaggio nell'utilizzo di questa specifica applicazione degli *Elevation Map* risiede nell'individuazione puntuale dell'estensione di ogni isostatica che descrive l'esatta entità di ogni singola deformazione della superficie, documentando l'andamento e la misura del singolo dissesto visibile sulla muratura analizzata.

L'analisi archeosismologica

L'analisi archeosismologica condotta sull'edilizia storica introduce gli strumenti che, nel corso degli ultimi decenni, l'archeologia dell'architettura ha progressivamente affinato e che sono, quindi, diventati costitutivi di tale settore disciplinare (Brogiolo e Cagnana, 2012). Tuttavia, le metodologie tradizionali sono state oggetto di una rimodulazione, allo scopo di stabilire la prassi operativa ideale al contesto e alle finalità dell'indagine (Arrighetti, 2015).

Gli edifici collocati nelle differenti aree in cui è possibile articolare un centro storico si presentano inevitabilmente complessi e compositi, per cui risulta necessario semplificare e organizzare progressivamente l'immane quantità di dati che caratterizza un complesso architettonico attraverso il lavoro sul campo. Lo studio, dunque, prevede innanzitutto una suddivisione dell'edificio nei diversi corpi di fabbrica che lo compongono: ciò consente di verificare i rapporti tra le differenti strutture e, quindi, di scandire una loro successione cronologica. L'analisi, poi, prosegue verso un maggiore grado di dettaglio, attraverso una lettura stratigrafica per unità stratigrafiche murarie, le USM, per individuate le singole azioni costruttive che caratterizzano

Fig. 1 - Rappresentazione cromatica e mediante polilinee del quadro deformativo di una porzione di via Pendola nel centro storico di Siena.

la pluristratificazione degli elevati, come in Figura 2; ciò consente di mettere in relazione gli interventi attraverso cui le maestranze intervennero nel corso delle epoche e le operazioni che comportarono una progressiva trasformazione delle fabbriche con i danni e i dissesti che ne alterarono le fattezze e la struttura. Attraverso la ricostruzione di una cronologia relativa, è possibile dunque delineare l'evoluzione storica dei fronti stradali.

Come detto precedentemente, tuttavia, generalmente l'analisi non viene condotta in maniera del tutto conforme al *modus operandi* adottato generalmente dagli archeologi nel campo dell'edilizia storica. Le finalità peculiari che guidano una ricerca che tenga conto di quanto finora esposto comportano necessariamente un ripensamento degli strumenti da utilizzare, in modo tale che siano il più possibile funzionali allo svolgimento del lavoro. Si può, quindi, parlare nella fattispecie di "analisi archeologica speditiva": tra i mezzi di cui un archeologo si avvale, vengono selezionati quelli che consentono di raggiungere il necessario grado di approfondimento e di dettaglio, prediligendo i passaggi realmente utili al processo conoscitivo, sulla base degli elementi caratterizzanti di ogni caso studio. Ciò comporta, inevitabilmente, uno snellimento del flusso e dei tempi generali di lavoro. La lettura per unità stratigrafiche murarie viene così utilizzata per soddisfare determinate necessità che l'analisi archeosismologica richiede al fine di assolvere ai suoi scopi e, in particolare, le

Fig. 2 - Lettura archeologica per Unità Stratigrafiche Murarie di una porzione di via Pendola nel centro storico di Siena.

azioni costruttive riscontrate vengono documentate mediante i sistemi di schedatura ritenuti efficienti per le successive interpretazioni. Ad esempio, può essere considerato ridondante procedere con la compilazione delle schede delle singole USM; allo stesso modo, viene ritenuto superfluo delineare le attività e le fasi costruttive. Infatti, analisi di questo tipo, oltre a non fornire elementi di particolare rilevanza all'indagine archeosismologica, rallenterebbero di gran lunga le tempistiche necessarie per l'ultimazione della ricerca. Tra gli approcci analitici congeniali alla sistematizzazione dei dati, risulta, invece, di straordinaria importanza la caratterizzazione delle tecniche costruttive murarie, siano esse tradizionali o meno.

La caratterizzazione delle tecniche costruttive tradizionali e post-sismiche

La documentazione delle tecniche costruttive permette una registrazione di specifiche caratteristiche di ogni singola muratura, non solo sotto l'aspetto della comprensione delle sue caratteristiche materiche, costruttive e meccaniche, ma anche per quanto concerne il suo profilo storico-archeologico. Si tratta di un approccio evolutivo connesso a un'analisi crono-tipologica in chiave territoriale che da un lato consente di connettere specifici sistemi costruttivi a periodi storici di riferimento, e dall'altro offre l'opportunità di confrontare l'evoluzione dei saperi costruttivi con i contesti sociali, politici ed economici in cui questi avvengono. Questo approccio,

se utilizzato in aree a rischio sismico, impone riflessioni importanti sull'evoluzione della dimensione tecnologica in funzione delle capacità tecniche e della specificità delle committenze e delle maestranze che operavano in quel luogo, legando l'utilizzo di specifici materiali e di scelte tecnico-operative alle esigenze imposte dalle dinamiche di emergenza o alle fasi di ricostruzione (Alberti *et al.*, 2019; Arrighetti, 2016; Correia *et al.*, 2015). A causa di queste esigenze si assiste talvolta alla volontà di sperimentare empiricamente nuove soluzioni, varianti più o meno complesse delle tecniche tradizionali, di derivazione locale o meno, che portano alla formazione di culture costruttive tese a contrastare o mitigare gli effetti di nuovi eventi sismici. Si tratta di sistemi costruttivi che permangono invariati in specifiche aree per un breve o lungo periodo, talvolta perdendo la funzione per cui erano state inizialmente pensate (Arrighetti e Minutoli, 2019).

A livello operativo, la documentazione delle tecniche costruttive avviene a margine di una lettura archeologica delle murature, che vengono così caratterizzate stratigraficamente e cronologicamente, insieme a una documentazione dei danni e dei dissesti visibili sull'edificio e degli interventi messi in opera per riparare o per contrastare tali dissesti. Nel progetto qui presentato la registrazione delle tecniche, dei danni e dei dissesti e delle riparazioni viene svolta mediante un'apposita schedatura che ne permette una registrazione puntuale in senso qualitativo e qualitativo, inserendo questi elementi all'interno del processo di indagine stratigrafica dell'edificio. L'obiettivo è, dunque, quello di legare tali interventi al divenire storico-costruttivo del manufatto e di interpretarli nell'ottica di una conoscenza del bene dal punto di vista archeosismologico.

Le tecniche post-sismiche individuate vengono, inoltre, catalogate in un database digitale denominato OPUR-*Outil Pour Unités de Réparation*, sviluppato nell'ambito del programma RECAP-*Reconstruire après un tremblement de terre. Expériences antiques et innovations à Pompéi* da un team di ricercatori dell'École Normale Supérieure - Université PSL di Parigi; in Figura 3 è riportato un esempio di catalogazione. Il database, inizialmente impostato per la documentazione delle tecniche di riparazione post-sismica individuate nel sito archeologico di Pompei (Dessales e Tricoche, 2018; Dessales, 2022), è stato quindi testato e ampliato con il progetto PROTECT.

L'integrazione delle analisi: le "mappe del dissesto stratificato"

Come visto in precedenza, la possibilità di disporre di tecnologie di rilievo per nuvole di punti permette una registrazione tridimensionale accurata delle architetture, proponendo una caratterizzazione e una documentazione di alcune tipologie di dissesto e il monitoraggio delle problematiche strutturali presenti sulla struttura materiale degli edifici. Quando questa tipologia di dati viene integrata con la grande quantità di informazioni ricavate dalla lettura archeosismologica, si assiste a un processo che

Fig. 3 - Un esempio di catalogazione mediante il database OPUR delle tecniche costruttive relazionate a possibili terremoti di una porzione di fronte stradale di Via Pendola nel centro storico di Siena.

porta a una profonda conoscenza del manufatto in esame. Il risultato è la definizione della storia costruttiva e meccanica dell'edificio, ma anche della sua storia sismica. La sfida è stata quella di racchiudere tutte queste informazioni in un elaborato con l'obiettivo di riuscire non solo a periodizzare le fasi di costruzione e distruzione presenti sugli edifici e a definire un'analisi strutturale dei manufatti, ma anche di integrare questi dati al fine di proporre una caratterizzazione periodizzata dei dissesti avvenuti nel tempo e ancora in progress sull'edificio, relazionando i risultati ottenuti alla documentazione storica e sismologica di una determinata città o del suo territorio. Utilizzando i dati elaborati dal rilievo, quali ricostruzioni CAD, fotopiani e mappe di elevazione, e dall'analisi archeologica, ad esempio letture stratigrafiche e caratterizzazione delle tecniche costruttive, questo processo è stato tradotto nell'elaborazione delle "mappe del dissesto stratificato", di cui in Figura 4 è riportato un esempio, ovvero in elaborati che coniugano la lettura archeologica dell'edificio con i suoi principali dissesti, rappresentati dal quadro fessurativo e deformativo. A differenza, però, dalle classiche letture archeologiche o strutturali, in queste mappe si pone l'attenzione anche su quando il dissesto si è verificato e sulla sua relazione con la stratigrafia del monumento. Ne deriva, dunque, una lettura periodizzata della componente materiale dell'architettura, che fornisce ai tecnici dati essenziali, in merito all'aspetto sia cronologico, cioè quando si è formato o si è trasformato un dissesto, sia a quello interpretativo, ovverosia quali sono le cause che hanno determinato il formarsi del dissesto, sia a quello operativo, vale a dire se il dissesto è ancora in atto oppure ci sono elementi che ne hanno determinato un nuovo equilibrio statico. Le mappe del dissesto stratificato costituiscono infatti un palinsesto di informazioni di diversa natura, storico-archeologiche, architettoniche e strutturali, che si connettono tra loro, risultando elementi di grande importanza come base conoscitiva, sia per le attività storico-archeologiche che per le scelte tecnico-progettuali.

Fig. 4 - La mappa del dissesto stratificato ovvero l'integrazione tra il dato stratigrafico (in nero), il quadro fessurativo e le isoipse relative al quadro deformativo.

La validazione del metodo alla luce del terremoto del febbraio 2023

Gli elaborati prodotti a seguito della prima fase di rilievo del progetto, terminata nel gennaio 2023, hanno avuto l'opportunità di essere testati in seguito agli eventi sismici che hanno interessato la città di Siena nel mese di febbraio del 2023, la cui scossa principale, magnitudo Mw 3.7, è avvenuta alle ore 21:51 italiane con epicentro a 1 km da Siena e a una profondità di 11 km ed è stata nettamente avvertita dalla cittadinanza ma non ha causato danni. Il test è avvenuto mediante un processo di riesame dei siti interessati dalle precedenti analisi pre-terremoto, nell'ottica di acquisire nuovamente le porzioni dei fronti stradali e successivamente confrontare tra di loro i risultati emersi dalle due indagini. Operativamente, al fine di ottenere una serie di dati che fossero il più coerenti possibile con quelli ottenuti dalla precedente analisi, sono stati utilizzati gli stessi strumenti e le stesse dinamiche di rilievo, mediante un processo di acquisizione che garantisse la totale coerenza tra i due rilievi. Lo stesso procedimento è stato inoltre utilizzato nelle fasi di editing del dato, dove per l'applicazione del modello usato nel 2023 è stata adottata una prassi operativa caratterizzata dalle stesse tipologie di analisi, utilizzando riferimenti e specifiche della prima fase del rilievo, avvenuta nel primo anno del progetto.

Una volta elaborate e confrontate le restituzioni ottenute dai due rilievi e dalle relative analisi, che hanno mostrato una perfetta congruenza a livello geometrico

e strutturale, sono state ipotizzate e verificate alcune dinamiche che hanno caratterizzato gli edifici a seguito del terremoto. Focalizzandosi, ad esempio, sul tratto di fronte stradale di via Pendola mostrato in Figura 4, sebbene, come detto, la scossa più importante della sequenza sismica di febbraio sia stata di una magnitudo piuttosto contenuta, su tutto il prospetto si può notare in generale una accentuazione di gran parte delle deformazioni precedenti e, in alcuni casi, è possibile apprezzare anche un cambio dello schema delle linee isostatiche. In particolare, è possibile notare alcuni punti che presentano delle trasformazioni estremamente interessanti, come, ad esempio, lungo il paramento a sinistra mostrato in Figura 1 in corrispondenza del terzo ordine di finestre, dove si nota una netta accentuazione della deformazione in corrispondenza del maschio murario, con uno spostamento complessivo di circa 6 cm. La stessa accentuazione si può apprezzare anche in corrispondenza di un punto particolarmente esteso, collocato all'altezza del basamento del fronte nei pressi dell'ammorsatura tra due edifici, con uno spostamento di circa 2 cm, anch'esso in corrispondenza di un maschio murario. Sempre lungo la parte basale del fronte, in corrispondenza della linea di contatto tra altri due edifici, si registra un aumento della deformazione di circa 4 cm. Per quanto riguarda nello specifico la porzione centrale del prospetto mostrato in Figura 1, dove gli spostamenti non sembrano caratterizzare particolarmente la porzione bassa, risulta evidente come la presenza del preesistente contrafforte abbia contribuito a contrastare i possibili ribaltamenti della facciata. Questi sono solo alcuni esempi per mostrare come un rilievo, seppur speditivo, permette di fornire dati accurati e di estremo interesse nell'ottica della documentazione del patrimonio costruito, in questo caso quello di una porzione del centro storico di Siena e di acquisire consapevolezza delle caratteristiche e dello stato di conservazione delle architetture presenti all'interno del contesto urbano.

Conclusioni

La necessità di operare in contesti di emergenza spesso impone di ottenere risultati qualitativamente e quantitativamente importanti in tempi ristretti e di questi interventi non si considerano gli aspetti legati al contesto in cui sono stati effettuati.

Nella sperimentazione di PROTECT, sono state fatte riflessioni per selezionare gli strumenti più adatti alle finalità della ricerca e abbandonare alcune attività, come la determinazione delle fasi costruttive, ritenute non essenziali.

Il processo su Via Pendola, una strada del centro storico di Siena qui presentata come caso di studio, è stato completato in circa venti giorni da una squadra di tre persone e ha documentato il fronte stradale focalizzandosi sulla lettura archeologica, sulla stratigrafia e sulla caratterizzazione delle tecniche costruttive, utilizzando strumenti digitali e cartacei. La qualità dei dati è stata verificata confrontando sistemi di acquisizione diversi. Questa pratica interdisciplinare è un passo importante nella documentazione dei dissesti degli edifici, specialmente in archeologia, in quanto

consente di individuare i problemi strutturali e valutare lo stato di conservazione, e può essere utilizzata per monitorare l'evoluzione dei dissesti nel tempo e valutare l'efficacia degli interventi di riparazione e prevenzione; ma soprattutto fornisce una documentazione che permette di correlare la stratigrafia ai danni e ai dissesti, fornendo una comprensione più approfondita degli effetti dei terremoti sugli edifici, aiutando a pianificare interventi prioritari basati sulla condizione specifica di ogni edificio. Dalla sperimentazione proposta nel presente elaborato, sembrano dunque ravvisabili le enormi potenzialità ottenibili dall'applicazione del metodo archeosismologico a un edificio, ancor di più se quest'ultimo viene integrato a un corretto e completo rilievo strumentale, teso a registrare, identificare e periodizzare i dissesti avvenuti nel corso del tempo.

Ringraziamenti

Il progetto "*PROTECT - Knowledge for PReventiOn. Technique for reparing seismic damage from medieval period To modern era*" è stato finanziato attraverso il programma Horizon 2020 - Ricerca e Innovazione dell'Unione Europea con una Marie Skłodowska-Curie (grant agreement No. 101018762). Sito web del progetto: www.protect.altervista.org.

Gli Autori ringraziano la dottoressa Raffaella Leporini per il contributo nella lettura archeologica delle architetture e delle tecniche costruttive. Inoltre, ringraziano il Prof. Giovanni Pancani e il professore Giovanni Minutoli del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze e l'architetto Gianluca Fenili per il supporto nelle fasi di rilievo e restituzione dei dati da laser scanner e fotogrammetrici. Ringraziano infine la Professoressa Giovanna Bianchi dell'Università degli Studi Siena e gli studenti del corso di Archeologia dell'Architettura per aver contribuito operativamente alle letture stratigrafiche effettuate sul campo.

Bibliografia

Alberti L., Azzara R.M., Clemente P. 2019. Lessons from the past: the evolution of seismic protection techniques in the history of building. Annals of Geophysics, 62 (3).

Arrighetti A. 2015. *L'archeosismologia in architettura. Per un manuale*. Firenze: Firenze University Press.

Arrighetti A. 2016. Materiali e tecniche costruttive del Mugello tra Basso Medioevo e prima Età Moderna. Arqueologia de la Arquitectura, 13.

Arrighetti A. (a cura di). 2023. *Siena e i terremoti. Punti di vista multidisciplinari per una lettura archeologica del centro storico*. Sesto Fiorentino: All'Insegna del Giglio.

Arrighetti A., Minutoli G. 2019. A multidisciplinary approach to document and analyze seismic protection techniques in Mugello from the Middle Ages to Early Modern Time. Annals of Geophysics, 62 (3).

Brogiolo G.P., Cagnana A. 2012. *Archeologia dell'architettura. metodi e interpretazioni*. Firenze: All'Insegna del Giglio.

Correia M., Lourenco P.B., Varum H. (a cura di). 2015. *Seismic Retrofitting. Learning from Vernacular Architecture*. London: CRC Press.

Dessales H. 2022. *Ricostruire dopo un terremoto. Riparazioni antiche a Pompei*. Napoli: Centre Jean Bérard.

Dessales H., Tricoche A. 2018. Un database per studiare le riparazioni post-sismiche. Archeologia dell'Architettura, 23, 19-24.

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

Gian Vincenzo Fracastoro

Breve storia della qualità dell'aria negli ambienti confinati

A short history of Indoor Air Quality

Sommario
Il tema della qualità dell'aria che respiriamo è presente in molti scritti, da Ippocrate in avanti. Ma occorse attendere la fine del XVIII secolo perché Lavoisier gettasse una luce quasi definitiva sulla natura dell'aria e la respirazione. L'attenzione degli igienisti si rivolse da allora alla determinazione della portata d'aria esterna "per persona" per garantire la qualità dell'aria negli edifici. Fu Max Pettenkofer (1858) a proporre la concentrazione di CO_2 come indicatore della purezza dell'aria e a definirne il limite massimo in 1000 ppm. Egli riteneva che al di sopra di tale valore i bioeffluenti che l'accompagnavano rendessero l'aria fonte di "miasmi". Per quanto scientificamente infondata, la teoria dei miasmi portò al risanamento dei centri storici di molte grandi città europee, che erano periodicamente afflitti da epidemie di colera e peste. In netto contrasto con essa, negli stessi anni Pasteur e Koch scoprirono specifici bacilli responsabili di queste malattie. Di fatto, a mano a mano che venivano individuate terapie efficaci contro le epidemie e si riducevano i rischi di contagio, il limite di 1000 ppm di CO_2 restò il criterio preferito dai progettisti di impianti di ventilazione, anche se non più come indicatore di potenziali miasmi, ma di un'accettabile qualità dell'aria dal punto di vista olfattivo. Successivamente, il tema dell'IAQ si è allargato agli altri inquinanti prodotti negli edifici, e a quelli di origine esterna, mentre l'esperienza recente ha riportato di attualità il ruolo positivo svolto dalla ventilazione nel controllo delle nuove epidemie, come quella del COVID-19. E nel frattempo non dimentichiamo che ancora oggi la cattiva qualità dell'aria, interna ed esterna, è considerata dall'OMS la terza causa di morte nel Mondo, con circa sette milioni di morti ogni anno.

Abstract
The issue of the quality of the air we breathe is present in many texts, from Hippocrates onward. However, we had to wait until the end of the XVIII century before Lavoisier shed an almost conclusive light on the nature of air and on animal respiration.

Attention of hygienists was thereafter devoted to the determination of the entity of fresh outside air *per person* which should be provided to guarantee good air quality in buildings. Max Pettenkofer (1858) proposed CO_2 concentration as an indicator of air cleanliness and defined its maximum limit at 1000 ppm. He thought that above that value the bio effluents which accompanied CO_2 emission would make the air a source of "miasmas". Although scientifically ill-founded, the theory of miasmas led to the decontamination of many large European city centres, which were affected by periodic epidemics of cholera and plague. In sharp contrast with such theory, in the same years Pasteur and Koch discovered the specific *bacilli* responsible for these illnesses. Actually, as effective therapies were being discovered against epidemics and risks of contagion were reduced, the 1000 ppm CO_2 concentration limit endured as the preferred criterion by ventilation designers, although no longer considered as an indicator of potential miasmas, but of an acceptable air quality under the olfactive point of view. Later on, the IAQ problem has been extended to other pollutants produced inside the buildings, and to those originated outdoors, while the recent experience has reraised the positive role played by ventilation in the control of new epidemics, like the SARS-COV 2. In the meanwhile, we should not forget that still today unhealthy air (both indoors and outdoors) is considered by the WHO the third cause of death in the World, with about seven million casualties every year.

Introduzione

Questa breve storia della qualità dell'aria interna ha due diversi scopi:

– ripercorrere le vicende che portarono a comprendere di che cosa è fatta l'aria e di come operi il meccanismo della respirazione;
– rievocare le teorie su cui si basava la trasmissione delle malattie per via aerea e dunque l'evoluzione del concetto di "aria salubre".

Questi due filoni di studio e ricerca si sono sempre affiancati ma di rado incrociati, il primo essendo affidato agli scienziati naturali e in particolare a coloro che oggi chiamiamo chimici, e il secondo agli igienisti, ai medici e ai biologi. Tuttavia, per quanto diverse possano sembrare queste due storie, esse convergono sulla necessità di garantire un adeguato ricambio di aria pulita agli ambienti confinati ed è per questo che interessano coloro cui è affidato il compito di scegliere il criterio più corretto per dimensionare gli impianti di ventilazione.

Natura dell'aria e respirazione

Sulla natura dell'aria e sul rapporto fra aria e respirazione hanno indagato per millenni numerosi studiosi, sviluppando teorie che hanno completamente perso nel tempo la loro validità. Ci limiteremo qui a rievocare quelle vicende che, a partire dal XVI secolo, hanno gettato le basi delle attuali conoscenze.

Che l'aria avesse una densità che va scemando con la quota se ne accorse per primo lo spagnolo Josef de Acosta (1539-1600), gesuita e insigne naturalista, inviato dai Gesuiti in Sud America per descriverne la geografia, il clima e i popoli. Acosta racconta che, nell'attraversare un alto passo sulle Ande[1], fu colto da disturbi, che oggi chiameremmo "mal di montagna", che attribuì correttamente alla rarefazione dell'aria: «Vi è in Perù una montagna altissima che chiamano Pariacaca […] quando salii quelle che chiamano le scalinate, il punto più alto di quella montagna, quasi subito fui colto da un malessere mortale, al punto che temevo di cadere da cavallo […]. Non vi è alcun dubbio che questo disturbo sia dovuto all'aria che vi regna, perché il rimedio che adottano è di tapparsi il più possibile orecchi, narici e bocca e coprirsi lo stomaco. Perché l'aria è tanto sottile e penetrante che attraversa tutte le aperture […] e così mi persuado che l'elemento aria è colà così sottile e delicato che non soddisfa la respirazione umana, che abbisogna di aria più spessa e temperata» (Acosta, 1590, pp. 345-387).

Circa mezzo secolo dopo Evangelista Torricelli (1608-1647), allievo di Galileo, inventò il barometro a mercurio, per mezzo del quale misurò con precisione per la prima volta la pressione atmosferica: capovolgendo un tubo pieno di mercurio in un piatto contenente mercurio, egli vide scendere il livello del metallo fino a che il peso della colonna di mercurio non uguagliò quello che la colonna di aria, ovvero la pressione atmosferica, esercitava sul piatto. La sua affermazione di aver creato il vuoto sopra la colonna di mercurio suscitò furibonde polemiche perché contraddiceva il dettato aristotelico secondo cui il vuoto in natura non esiste: il famoso *horror vacui*. In una famosa lettera del 1644 a Michelangelo Ricci, citata in (Belloni, 1975, pp. 657-660) Torricelli descrive l'esperimento, il cui senso è mirabilmente riassunto in questa semplice frase: «Noi viviamo sommersi nel fondo d'un pelago d'aria elementare, la quale per esperienze indubitate si sa che pesa». E più avanti: «Noi abbiamo fatti molti vasi di vetro […] pieni d'argento vivo poi serratagli con un dito la bocca e rivoltati in un vaso dove era l'argento vivo si vedevano votarsi […]; il collo però restava sempre pieno all'altezza d'un braccio, e un quarto, e un dito di più»[2].

Quattro anni dopo, Blaise Pascal (1623-1662) usò il barometro di Torricelli per dimostrare che la pressione scende al salire della quota sopra il livello del mare e nel 1657 Otto von Guericke (1602-1686) dimostrò la forza della pressione atmosferica con uno spettacolare esperimento in cui nemmeno due pariglie di otto cavalli furano in grado di separare due grandi coppe emisferiche cave, in bronzo o rame, accostate e combacianti, i cosiddetti emisferi di Magdeburgo, in cui era stato praticato il vuoto.

L'irlandese Robert Boyle (1627-1691) venne a conoscenza di questi esperimenti e si propose di realizzare una "pompa a vuoto" che permettesse di aprire facilmente il recipiente in cui il vuoto veniva praticato. In tal modo avrebbe potuto compiere al suo interno esperimenti nei quali confrontare il comportamento dei vari processi di suo interesse con aria normale e aria progressivamente rarefatta. La pompa a vuoto fu realizzata in modo assai ingegnoso, con il prezioso aiuto del suo assistente Robert

Hooke (1635-1703), più noto oggi per la sua legge sulla forza elastica. Questi esperimenti furono da lui dettagliatamente descritti in un testo fondamentale (Boyle, 1660) e riassunti in una attenta nota (West, 2005). Grazie al barometro di Torricelli, Boyle dimostrò di poter ridurre la pressione nel recipiente a circa un pollice di mercurio, ovvero a circa il 3% della pressione atmosferica al livello del mare. Soffermiamoci sugli esperimenti di nostro interesse, quelli sulla combustione e sulla respirazione. Nei due esperimenti dedicati alla respirazione animale, Boyle osservò che mosche, api, farfalle e successivamente allodole, passerotti e topi si muovevano con sempre maggiore difficoltà a mano a mano che si sottraeva aria al recipiente, e venivano colti da convulsioni fino a svenire. La rapida reintroduzione dell'aria permetteva ai poveri animaletti di riprendersi, cosa che fece pensare a Boyle che l'aria fosse necessaria alla respirazione: non però per le ragioni che oggi conosciamo, ma perché, come altri, riteneva che essa fosse necessaria a «raffreddare il sangue». Boyle aveva letto il resoconto di Acosta e non gli sfuggì l'affinità fra la rarefazione naturale dell'aria ad alta quota da questi riscontrata e i propri esperimenti condotti con l'aria rarefatta grazie alla pompa a vuoto. Ne concluse che una speciale frazione dell'aria è essenziale alla vita e che quando essa viene rimossa ciò che rimane non permette di sostenerla.

Cento anni dopo, Joseph Priestley (1733-1904) riuscì a isolare dall'aria una misteriosa componente che chiamò «aria deflogisticata» (Priestley, 1774). Fino a quei giorni godeva di grande favore la teoria del "flogisto", la misteriosa sostanza imponderabile contenuta nei combustibili e nei metalli che veniva rilasciata durante la combustione. Anche Priestley vi aderiva e attribuì alla saturazione progressiva dell'aria da parte del flogisto il motivo per cui la combustione rallentava e si esauriva quando avveniva in un contenitore stagno. Pochi anni Lavoisier avrebbe dimostrato che questa "aria deflogisticata" altro non era che ossigeno.

Il contributo di Lavoisier

Gli esperimenti di Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) non furono soltanto un altro importante passo avanti nella strada per comprendere la composizione dell'aria e la respirazione: essi gettarono di fatto le fondamenta della Chimica moderna. A lui dobbiamo anche l'introduzione di una nomenclatura razionale, che sostituì i termini esoterici tipici dell'alchimia fino ad allora utilizzati, quali vetriolo, flogisto, sangue del dragone e argento vivo, e l'individuazione di 33 elementi che, a parte il calorico e la luce, sono stati riconosciuti come tali negli anni successivi. Va inoltre a suo merito l'aver definitivamente messo in archivio la teoria del flogisto, dimostrando come essa violasse la legge della conservazione della massa, da lui per primo enunciata nel 1789. Queste le sue parole: «Nulla si crea, nelle operazioni artificiali, né in quelle della natura, e possiamo porre come principio che in ogni operazione, vi è una eguale quantità di materia prima e dopo l'operazione; che la qualità e la quantità dei principi è la stessa e che vi sono soltanto dei cambiamenti, delle modificazioni. Su

questo principio è fondata tutta l'arte di fare esperimenti in chimica: siamo obbligati a supporre in tutti una vera uguaglianza o identità fra i principi dei corpi esaminati e quelli ottenuti mediante l'analisi» (Lavoisier, 1789).

Lavoisier gettò una luce quasi definitiva nella comprensione del meccanismo della respirazione, di cui la pregevole sintesi di Underwood (1943) sottolinea i passaggi più interessanti. Negli esperimenti condotti insieme al grande scienziato Pierre-Simon de Laplace, Lavoisier fu in grado di misurare sia il diossido di carbonio che il calore prodotti nella respirazione dalle cavie per giungere alla conclusione che la respirazione è «una combustione, seppur molto lenta, del tutto analoga a quella del carbone. […] Il calore prodotto in questa combustione è trasmesso al sangue che passa attraverso i polmoni e da lì all'intero sistema animale» (Lavoisier e Laplace, 1780, p. 355). Qualche anno dopo, i suoi esperimenti dimostrarono che l'aria era un miscuglio di gas e che veniva alterata dalla respirazione: «Dato che l'aria atmosferica non consente che per un periodo limitato la vita degli animali che la respirano, dopo di che si altera nella misura in cui viene respirata, si può concludere che la salubrità dell'aria dev'essere più o meno ridotta nelle sale di spettacolo […] e in tutti i luoghi in cui un gran numero di persone si riuniscono, soprattutto se l'aria vi circola lentamente e con difficoltà». E più oltre confidava un pensiero ancor oggi inquietante: «Viene male a pensare che, in una assemblea affollata, l'aria che ciascun individuo respira sia passata e ripassata un gran numero di volte, in tutto o in parte, attraverso i polmoni di tutti gli astanti, e che si sia caricata di esalazioni più o meno putride. […] Quali malattie rischiamo di prenderci con questo tipo di trasmissione? Quali precauzioni si potrebbero adottare per neutralizzare o distruggere l'influenza pericolosa di queste emanazioni?» (Lavoisier, 1785, p. 676). Lavoisier aveva compreso che non era la scarsità di ossigeno a rendere l'aria inadatta alla respirazione, ma l'alterazione che essa subiva nei nostri polmoni con la formazione di diossido di carbonio, per non parlare del rilascio di «esalazioni più o meno putride».

Dobbiamo dunque a Lavoisier la scoperta della composizione dell'aria e del meccanismo della respirazione. A lui si deve anche l'individuazione delle persone come principale causa della cattiva qualità dell'aria e della trasmissione di malattie all'interno degli edifici, almeno nei luoghi affollati. Ma su quest'ultimo tema, come vedremo nel prossimo paragrafo, si dibatterà ancora per tutto il secolo successivo.

Ventilazione e salute

Se il meccanismo della respirazione dal punto di vista chimico-fisico era andato piano piano definendosi nel giro dei due secoli che separano le esperienze di Acosta dagli esperimenti di Lavoisier, la storia dell'aria come veicolo di infezioni inizia molto prima e forse non è ancora finita.

Viene comunemente attribuita a Ippocrate di Coo (circa 460-370 a.C.), fondatore della medicina scientifica, l'affermazione «l'aria pura è il primo alimento e il primo

medicamento»[3]. Anche se nel ponderoso "*Corpus Hippocraticum*" non se ne trova traccia, è indubbio che Ippocrate abbia attribuito all'aria e alla respirazione una importanza particolare, gettando le basi dell'igiene e postulando la necessità della ventilazione delle abitazioni e dei luoghi di lavoro. A lui si deve inoltre la teoria dei quattro umori corporei, il sangue, la "flegma", la bile gialla e la bile nera, e della loro corrispondenza coi quattro elementi di cui è fatto l'universo, rispettivamente aria, acqua, fuoco e terra, che resisterà per ben due millenni.

Del tema della trasmissione delle malattie si occupò poi Galeno, medico greco originario di Pergamo, in Asia minore, e attivo a Roma dal 162 al 200 d.C., anno presunto della sua morte. Galeno sosteneva che il contagio di alcune malattie come il colera, la peste e la malaria consistesse nell'alterazione degli equilibri fra i quattro umori provocata dai cosiddetti miasmi, esalazioni venefiche prodotte da organismi in via di decomposizione, per cui, allo scopo di evitarne il diffondersi era abitudine comune purificare l'aria con aromi e unguenti profumati.

La teoria dei miasmi era destinata a durare quasi 17 secoli. Neanche il grande Paracelso (1493-1541), cui pure si deve l'introduzione dei primi farmaci di origine minerale, contribuì, con la sua mescolanza di medicina e astrologia, a chiarire il tema della trasmissione delle malattie contagiose: abbandonata la teoria degli squilibri fra i quattro umori corporei, egli individuò come origine di alcune malattie l'influsso astrale con cui i pianeti si collegano all'uomo alterando i tre principi fisici, cioè sale, zolfo e mercurio, di cui tutti i corpi, incluso l'organismo umano, sono costituiti. A suo dire, era la coincidenza di una cattiva influenza astrale e della presenza di miasmi a determinare l'insorgere della malattia.

Fu un medico veronese coevo di Paracelso, Girolamo Fracastoro (1478-1553), ad avanzare per primo l'ipotesi che le malattie infettive fossero trasmesse, oltre che per contatto diretto o tramite un "fomite", l'oggetto che funge da veicolo, anche da "seminaria", corpuscoli minimi, invisibili e attivi trasportati dall'aria (Fracastoro, 1550, pp. 139-351).

Tuttavia, senza le prove che soltanto il microscopio avrebbe potuto fornire, per altri tre secoli la teoria del contagio tramite microrganismi non riuscì a imporsi su quella dei miasmi, sulla quale ancora nella prima metà dell'800 si basavano gli igienisti sociali per spiegare le epidemie di colera che affliggevano periodicamente le grandi città europee: secondo loro, la presenza dei miasmi alterava l'equilibrio interno dei fluidi e portava a contrarre la malattia, che non era quindi intesa necessariamente come contagiosa, cioè trasmissibile da persona a persona. Fra questi occorre ricordare, negli anni '30 del XIX secolo, Edwin Chadwick (1800-1890), un avvocato di Manchester appassionato sostenitore di riforme sociali e politiche, che denunciò il legame fra gli standard di vita e la diffusione delle malattie e che, in un testo divenuto presto famoso (Chadwick, 1843), promosse misure per la pulizia, la ventilazione e la realizzazione di fognature degli edifici della classe povera.

Sulla stessa linea si mosse in Germania Max Joseph Pettenkofer (1818-1901), che sostenne l'importanza di una "città sana", sottolineando il fatto che dell'aiuto dato ai bisognosi avrebbe beneficiato tutta la comunità. Futuro fondatore del primo ufficio d'igiene tedesco a Monaco di Baviera, gli si deve la pubblicazione di un testo fondamentale per il progetto degli impianti di ventilazione, nel quale si pone la domanda «Quando possiamo considerare buona e pulita l'aria in una abitazione?» e si risponde: «Quando la concentrazione nell'aria di anidride carbonica dovuta alla respirazione umana non supera lo 0.1%, ovvero 1000 ppm» (Pettenkoffer, 1858). Pettenkofer sapeva bene che la CO_2 non era pericolosa al di sopra di quel limite, ma aveva osservato che alla sua produzione durante la respirazione si accompagnano i contaminanti biologici, i cosiddetti bioeffluenti, che rendono l'aria viziata e maleodorante: in altre parole, si generano miasmi. La CO_2 era dunque impiegata come "*proxy*" dei miasmi e il valore di 1000 ppm di CO_2 è ancora oggi spesso impiegato come limite da non superare per garantire la qualità dell'aria nelle abitazioni.

Nonostante mancasse di solide basi scientifiche, la teoria dei miasmi contribuì a mettere in luce le carenze igieniche in cui vivevano gli strati più poveri della popolazione delle grandi città europee intorno alla metà del XIX secolo. In effetti in quegli anni furono presi importanti provvedimenti che permisero di bonificare gli impianti idrici e le reti fognarie e migliorare la qualità dell'aria dei centri urbani, rendendo più salubri grandi città come Parigi, Londra e Monaco di Baviera.

Intanto, però, con lo sviluppo delle tecniche microscopiche e il loro impiego in campo medico, già dalla metà del XIX secolo stava riprendendo vigore la teoria del contagio, in particolare grazie agli studi di Pasteur e Koch. Quest'ultimo scoprì il bacillo della tubercolosi nel 1882 e nel 1884 isolò il vibrione del colera[4]. Fu così che la teoria dei miasmi fu relegata nella soffitta della scienza medica, anche se ebbe ancora, per qualche tempo, qualche fervente e tenace sostenitore. Fra questi anche il vecchio Pettenkoffer, che nel 1892 si rese in proposito protagonista di uno sconcertante episodio. Durante un evento pubblico, ingerì una pozione contenente una robusta dose di vibrione del colera per dimostrare la fallacia della teoria di Koch. Misteriosamente, forse a causa di una precedente immunizzazione, questo atto sconsiderato non provocò in Pettenkofer alcuna seria conseguenza.

Ventilazione e qualità dell'aria interna

Ancor prima che fossero chiariti i meccanismi della respirazione e individuate chiaramente le fonti inquinanti quali fumo, polvere e le persone stesse, era evidente che l'immissione di aria esterna "pulita" rappresentava la soluzione migliore per garantire la qualità dell'aria interna. Ma non sempre la ventilazione naturale era sufficiente. Soprattutto negli ambienti affollati, ad esempio sale di riunioni, ospedali e prigioni, ma anche nelle miniere o nelle navi, occorreva introdurre o estrarre aria "a forza".

La storia dei sistemi di ventilazione "forzata" richiederebbe un articolo dedicato. Ci limiteremo qui ad alcuni rapidi cenni, tratti da un breve saggio di Petra Vladykova Bednarova (2016). Per gran tempo la ventilazione forzata fu basata sull'intensificazione dei meccanismi naturali dell'aerazione: il vento e l'effetto camino. Nel primo caso si usavano comignoli ruotanti che accentuavano la depressione da cui fuoriusciva l'aria inquinata, nel secondo si accendevano fuochi alla base di vere e proprie "torri di ventilazione". Il tedesco Georg Bauer, (1494-1555), meglio noto come Georgius Agricola, nella sua opera postuma De re Metallica (Agricola, 1556) dedicata alle miniere, descrisse in modo sistematico e con preziose illustrazioni vari altri modi per ventilare le miniere, tra cui grandi mantici azionati da mulini ad acqua, da uomini o cavalli.

Nel secolo XVIII in Inghilterra iniziarono a realizzarsi sistemi di ventilazione pensati per edifici istituzionalmente affollati: nel 1736 furono installate nella House of Commons di Londra le cosiddette "ruote soffianti", le *blowing wheels*, grandi ventilatori in legno, di 2 m di diametro, azionati manualmente da operai detti "ventilatori". Nel 1741 furono installati sistemi a mantici per ventilare gli spazi sottocoperta delle navi della Regia Marina inglese, la mitica *Royal Navy*. Mantici ancora più grandi furono installati nel 1752 nella Prigione di *Newgate* a Londra, e grazie a essi si ebbe una drastica riduzione della mortalità fra i detenuti.

Col crescere delle dimensioni degli edifici, mantici e ruote soffianti vennero abbandonati e nel 1852 la nuova sede del Parlamento inglese fu munita di doppie torri di ventilazione, quelle di estrazione alimentate dal tiraggio indotto dal fuoco e quelle di immissione dotate di ventilatori azionati a vapore. Finalmente, nel 1854, nella grande St. George Hall di Liverpool furono adottati i primi veri e propri ventilatori, azionati da motori a vapore in grado di fornire 5 l/s di aria pulita a testa a 5000 persone.

Per quel che riguardava il dimensionamento dei sistemi di ventilazione, l'indicatore utilizzato non poteva che essere una portata d'aria minima per persona. Ma a fianco dei sostenitori della teoria dell'aria malsana, o semplicemente "pesante", verso la fine del XIX si diffondeva anche la scuola di coloro, essenzialmente medici e igienisti, che consideravano la ventilazione come un sistema per ridurre il rischio di trasmissione delle malattie, soprattutto della tubercolosi, la tragica "peste bianca". In entrambi i casi è un semplice bilancio di massa che permette di determinare la portata d'aria esterna di ventilazione, una volta noti il tasso di emissione di "quanti" di bioeffluenti o di agenti infettanti e il loro livello massimo accettabile in ambiente.

Seguendo la prima strada e in particolare assumendo con Pettenkoffer (1858) un limite massimo di 1000 ppm di CO_2, un'attività metabolica "normale" dell'individuo e una corrispondente produzione di 20 l/h di CO_2, dal bilancio di massa si ricava una portata minima di 8 l/s per persona. Negli stessi anni l'inglese Florence Nightingale (1820-1910), dopo la sua instancabile attività di assistenza ai feriti durante la guerra di Crimea, divenne una "attivista" della ventilazione. In forza della sua esperienza

negli ospedali militari, non le sfuggì il sovraffollamento delle scuole, cui dedicò considerazioni di sorprendente attualità (Iddon, 2015)[5]. Nel suo Notes on Hospital (Nightingale, 1863) raccomandò una portata di ventilazione di 8÷12 l/s per persona, valore molto vicino a quelli indicati nelle norme attuali.

Seguendo invece la seconda strada, in particolare con l'intento di contenere le infezioni da tubercolosi, il medico Billings nel 1893 propose un valore minimo di 14 l/s, e uno raccomandato di 28 l/s (Janssen, 1999). Con la progressiva scoperta di terapie efficaci per curare le infezioni si tornò a limiti più bassi, legati più alla qualità olfattiva dell'aria che alla salute. Tuttavia, la recente epidemia da Covid-19 ha riportato di attualità, pur se tardivamente, l'importanza del ruolo della ventilazione nel contenimento delle epidemie.

Lo strumento più utilizzato dagli epidemiologi per la stima della probabilità di contagio da virus trasmessi per via aerea è dato dal 1978 dall'equazione di Wells-Riley (Riley *et al*., 1978). Sviluppata da William Wells sulla base del cosiddetto "quanto di infezione" proposto da Richard Riley, fornisce la probabilità di infezione di un individuo in una stanza al variare del tempo di esposizione, del numero di quanti di infezione e della portata d'aria di ricambio. Nuovi e più accurati modelli teorici sono ora allo studio per migliorare le capacità predittive dell'equazione di Wells-Riley. Intanto, proprio a seguito dell'epidemia, il governo americano ha promosso nel dicembre 2022 un Workshop su "*Fact Sheet: Departments and Agencies commit to Cleaner Indoor Air across the Nation*" proprio allo scopo di rivedere al rialzo gli standard di ventilazione negli USA.

Oggi sappiamo che le fonti di inquinamento non si limitano alle persone e ai bioeffluenti o agli agenti infettanti da loro emessi, e che dunque la ventilazione è necessaria anche perché nelle nostre case sempre più ermetiche si originano e si accumulano, anche in nostra assenza, inquinanti che una volta non costituivano un problema, ad esempio formaldeide, pesticidi e radon. Sappiamo anche che la semplice apertura delle finestre spesso non fa che sostituire a questi inquinanti quelli provenienti dall'esterno: in primis il particolato, presente assieme a ozono e ossidi di azoto nelle aree più urbanizzate.

Secondo studi del WHO [1] la cattiva qualità dell'aria, interna ed esterna, sarebbe responsabile di sette milioni di morti ogni anno nel mondo, principalmente concentrati nei Paesi in via di sviluppo e attribuibili in gran parte agli inquinanti emessi nella cottura dei cibi. Ma l'*European Environment Agency* [2] ha individuato anche nei 27 Paesi Membri della UE 310.000 morti premature, di cui 68.600 in Italia. Col 13% della popolazione l'Italia lamenta dunque il 22% dei decessi, attribuibili al particolato (76,6%), agli ossidi di azoto (15,7%) e all'ozono (7,8%): inquinanti esterni, ma in gran parte respirati dentro casa.

In questo quadro così variegato di agenti inquinanti, la pratica sempre più diffusa dei purificatori dell'aria non è una soluzione del tutto convincente, perché essi

si limitano in genere a trattare i composti organici volatili, col rischio di generare nel processo di ossidazione altri composti tossici. Altrettanto poco convincenti, in quanto soggette ai capricci del tempo, risultano le cosiddette griglie di aerazione, comparse recentemente sul mercato.

L'unico sistema razionale sarebbe un impianto di ventilazione meccanica, dotato di sistemi di filtrazione adeguati e recuperatori di calore. Ma questa non è ancora storia, né forse mai lo sarà, almeno in Italia.

Epilogo

«Tutte le arti camminano rapidamente verso il loro stato di perfezione; quella di vivere in società, di conservare nelle loro condizioni di forza e salute un gran numero di individui riuniti insieme, di rendere le città più salubri, la trasmissione delle malattie contagiose meno facile, è ancora nella sua infanzia. I grandi lavori da intraprendere su un tema così importante non possono che essere l'opera di società sapienti». È ancora Antoine-Laurent Lavoisier, nel 1789, a scrivere queste parole che possiamo sottoscrivere ancora oggi, alle quali si oppongono le parole sprezzanti e tristemente celebri attribuite al Presidente del Tribunale rivoluzionario Coffinhal: «*La République n'a pas besoin des savants, il faut que la justice suive son cours*» (La Repubblica non ha bisogno di sapienti, bisogna che la giustizia faccia il suo corso). E quelle di rimpianto di Lagrange, dopo che la ghigliottina aveva svolto il suo tragico compito, l'8 maggio 1794: «*Il ne leur a fallu qu'un moment pour faire tomber cette tête, et cent années peut-être ne suffiront pas pour en reproduire une semblable*» (È bastato loro un solo istante per far cadere quella testa e forse non basteranno cent'anni perché ne rinasca una simile).

Vogliamo chiudere questa memoria con una notizia recente, in qualche modo legata alle sorti di Lavoisier: il suo unico ritratto esistente, in Figura 1, fu realizzato nel 1788 dal grande pittore Jacques-Louis David e rappresenta il grande scienziato con la moglie Marie-Anne, la sua più valida aiutante, nonché allieva di David, intenti alle proprie ricerche. Fino a poco tempo fa non risultava che il pittore, ardente protagonista della Rivoluzione che sarebbe scoppiata di lì a poco, avesse fatto alcunché per salvare il suo generoso committente dalla ghigliottina. Ma nel 2021, nel corso di un'operazione di pulitura intrapresa presso il *Metropolitan Museum of Art* di New York dove il quadro si trova dal 1977, si è scoperto che esso nascondeva una versione ben diversa dei due coniugi, che privilegiava piuttosto il loro aspetto di ricchi aristocratici: sulla testa di M.me Lavoisier compariva un cappello *à la Tarare,* di gran moda in quegli anni, al posto della tovaglia rossa si vedeva un elegante tavolo con fregio in bronzo sul quale non vi era traccia di strumenti e alambicchi. È probabile che David volesse mettere in una luce migliore la coppia di scienziati, e forse anche se stesso, di fronte al tribunale rivoluzionario. Ma, come sappiamo, questo stratagemma non servì a salvare la vita di Lavoisier.

Fig. 1 - L'unico ritratto esistente di Lavoisier realizzato nel 1788 da Jacques-Louis David, Metropolitan Museum of Art di New York.

Bibliografia

de Acosta J. 1590. *Historia Natural y Moral de las Indias (Storia naturale e morale delle Indie)*, 385-387. Sevilla: Juan de Leon.

Agricola G. 1556. *De re metallica Libri XII, Quibus Officia, Instrumenta, Machinae, ac omnia* **...** Basilea: Froben.

Belloni L. 1975. *Opere scelte di Evangelista Torricelli*. Torino: UTET.

Boyle R. 1660. *New experiments Physico - Mechanicall - Touching the Spring of Air and its effects*. Oxford: H. Hall.

Chadwick E. 1843. *The Sanitary Conditions of the Labouring Population*. London: Clowes & Sons.

Fracastoro G. 1550. *De contagione et contagiosis morbis et curatione*. In: *De sympathia et antipathia rerum.* Lugduni: apud Ioan. Tornaesium et Guil. Gazeium, 1550.

Gilbert D. 1983. The first documented description of mountain sickness: The Andean or Pariacaca story. Respiration Physiology, 52(3), 327-347.

Iddon C. 2015. Florence Nightingale: nurse and building engineer. CIBSE Journal, May.

Janssen J.J. 1999. *The History of Ventilation and Temperature Control*. ASHRAE Journal, September, 47-52.

Lavoisier A.L., de Laplace P.S. 1780. Mémoire sur la chaleur. In: Richet C. 1892. *Lavoisier. La chaleur et la réspiration (1770-1789)*, 44. Paris: Masson.

Lavoisier A-L. 1785. Altérations qu'éprouve l'air respiré. In: Richet C. 1892. *Lavoisier*. *La chaleur et la respiration (1770-1789)*, 59-65. Paris: Masson.

Lavoisier A.-L.1789. *Traité élémentaire de Chimie*. Paris: Chez Cuchet.
Nightingale F. 1863. *Notes on Hospitals*. London: Longman, Green, Longman, Roberts, and Green.
Pettenkofer M.S. 1858. *Űber den Luftwechsel in Wohngebäuden*. München: Cotta'sche Buchhandlung.
Priestley J. 1774. *Experiments and Observations on Different Kinds of Air.* Londra: J. Johnson.
Riley E.C., Murphy G., Riley R.L. 1978. *Airborne Spread of Measles in a Suburban Elementary School*. American Journal of Epidemiology, 107(5), 421-432.
Underwood E. A. 1943. Lavoisier and the History of Respiration. In: *Proceedings of the Royal Society of Medicine. Section of the History of Medicine*, XXXVII, 247-262, London: Longmans, Green & C°.
Vladykova Bednarova P. 2016. *History of Ventilation Technology – from a Western perspective*. Gothenburg: Swegon Air Academy.
West J.B. 2005. Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air. Journal of Applied Physiology, 98, 31-39.

Sitografia

[1] https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228
[2] https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution

Note

[1] Recenti studi (Gilbert, 1983) avrebbero identificato il sentiero percorso, che lo portò a un'altezza massima di 4800 m s.l.m.

[2] Dato che un braccio toscano era lungo 584 mm e un dito poteva avere uno spessore di 15-20 mm, tale altezza equivale a circa 745-750 mm. La differenza rispetto ai canonici 760 mm al livello del mare potrebbe spiegarsi con la quota (circa 200 m s.l.m.) della collina di Arcetri (FI), in cui vennero fatti gli esperimenti.

[3] Questa attribuzione è probabilmente apocrifa. Tuttavia Ippocrate, ne "La malattia sacra" (l'epilessia), ipotizza che «quando l'uomo immette l'aria respirata, questa raggiunge prima il cervello, poi il resto del corpo, avendo lasciato nel cervello la parte migliore, che rende l'uomo saggio e dotato di intelligenza».

[4] Fu in realtà un medico pistoiese, Filippo Pacini (1812-1883), a individuare per primo il vibrione del colera nel 1854, trent'anni prima di Koch, grazie al microscopio realizzato da G. B. Amici. Ma la sua scoperta ebbe scarsa eco.

[5] «Oh! L'affollata scuola pubblica! Dove hanno origine così tante epidemie infantili. Quali storie racconterebbe un test sull'aria! I genitori dovrebbero dire… non manderò mio figlio in quella scuola, il test dell'aria segna 'Orribile'», scriveva, anticipando l'invenzione dei sensori di IAQ e postulandone l'adozione nelle scuole nel suo "*Notes on Nursing: What it is, and what it is not"*, pubblicato da Harrison a Londra nel 1860.

Emilio Ciardiello

The Trochotron Beam-Switch Counter

Il contatore numerico Trochotron

Abstract
The Trochotron™ was a true miracle of ingenuity, a divide-by-ten high-speed counter in a single vacuum tube, fully exploiting the combined influences of magnetic and electric fields on electrons moving in a complex electrode structure designed to have ten stable states. Military appreciated its intrinsic reliability, a single tube replacing dozens of components and parts, when they still looked with suspicion at semiconductors. Soon it disappeared, early victim of the migration to solid state solutions.

Sommario
Il Trochotron™ fu un vero miracolo di ingegno, un singolo tubo che contava per dieci ad alta velocità, la cui complessa struttura era progettata per esibire dieci stati stabili e che sfruttava appieno le influenze combinate di campi elettrici e magnetici sugli elettroni in movimento. Per la sua affidabilità intrinseca rispetto all'uso di componenti meno complessi fu apprezzato specialmente dai militari. Presto scomparve, tra le prime vittime della migrazione verso lo stato solido.

The Trochotron™, overview of its developmental steps

Trochotron was the name associated to little-known hot-cathode counter tubes introduced for the first time in 1954 by Ericsson and then perfected by the Burroughs Corporation. In this device, electrons move along trochoid-like trajectories, under the effects of combined electric and magnetic fields, in a complex system of electrodes typically designed to operate with ten stable states. Probably it was the by-product of investigation underway since the 1940s at Bell and other companies on fast electronic step switches, to replace the stepping relays in telephone exchanges. In the Bell System Technical Journal, April 1944, an article described a radial beam device designed to operate as a 30-line multiplexer/demultiplexer [1]. The author, A.M. Skellett, gave details on electron beams directed by magnetic fields in a cylindrical system of electrodes. In Electronics, August 1951 [2], General Electric detailed a complex

Fig. 1 - From National Union, the 6324, the 6090 and the LBS-1 multiplexers and the GI-21 Inditron™ numeric indicator.

25-line multiplexer, electrons being focused and directed by an external magnetic field, perpendicular to the cathode. Since the magnetic focusing generated a double-ended beam, the number of grid systems was doubled, each input- amplifier driving a pair of opposite grids. Five years later, the JETEC Council would register to National Union the couple of beam switching multiplexers shown in Figure 1: the 18-line electrostatic deflection 6090 and the 25-line 6324 with magnetic deflection, similar to the one before described by General Electric. National Union also announced in 1954 the unregistered line of Inditron™ neon indicators and in 1955 the 10-position beam switch LBS-1 with electrostatic deflection, in Figure 1. None of the said switches had intrinsic stable states, all relying upon external sequencers to direct the beam.

Various research lines were also underway in Europe to design selector tubes with stable states capable of switching on clock pulses. Gas-filled counters in Figure 2, also known as Dekatrons™, proved simple to build but operated at low clock frequency, typically 4 kHz for many types. Philips had designed its exclusive E1T/6370 counter, also in Figure 2, its beam being electrostatically deflected. Unfortunately, its counting speed was quite low, 30.000 pulses per second, and the recommended circuitry was complex and considerably critical.

A further line of investigation was based on the theoretical study developed by the Swedish physicist Hannes Alfvén who, along with Harald Romanus, had described in Nature, November 1, 1947 linear counting structures based upon trochoidal trajectories of electrons moving in combined electric and magnetic fields [3]. Several prototypes were experimented with, some of which described by the same authors in an article appeared in Tele-Tech, June 1954 [4]. The article shows fast matrices of linear switches and gridded coaxial geometries, also predicting solutions that would be implemented years later, such as magnets or load resistors moved into the glass bulb. In 1954 Ericsson started manufacturing the first coaxial trochotron, the RYG 10, in Figure 3. Details can be found in its datasheet [5] and in an article from the

Fig. 2 - Two ETL Dekatrons and the Philips E1T / 6370.

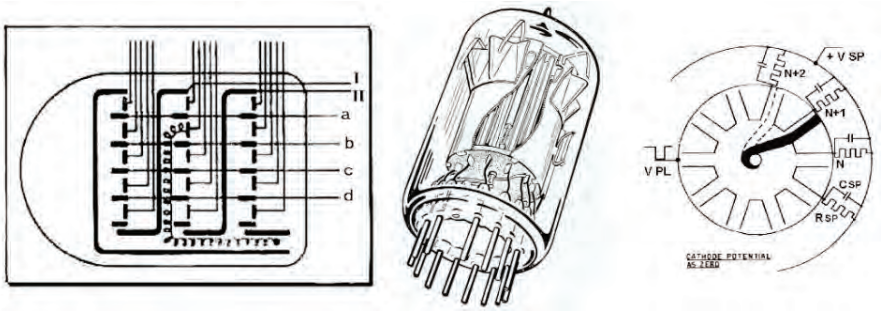


Fig. 3 - A matrix selector by Alfvén, the RYG 10 and representation of its electrodes.

Ericsson Review [6]. Its basic sleeve-anode two-electrode structure is also described in (Millman and Taub, 1956).

It was a crude design, yet it could operate as divide-by-ten counter characterized by stable states. As shown in Figure 3, no grid was available and negative counting pulses were directly applied to the common anode, forcing it to zero in order to release the beam from the current spade. Its operation appeared quite critical. It was necessary to balance voltages and time constants of the spades as well as the intensity of the magnetic field so that the electrons could follow circular trajectories at a given speed along equipotential paths. At the same time, the shape and duration of negative pulses had to be compatible with the flight time, the time necessary for the beam to be released from the current spade and approach the zone of influence of the next one. Once the proper parameters were selected for a given frequency, pulses had to be shorter than 0.8 CV/I, whereas C and V were the spade capacitance and voltage and I was the cathode current, otherwise one or more spades were skipped [7]. Few years later Ericsson would abandon this design for the three-electrode one perfected at Burroughs.

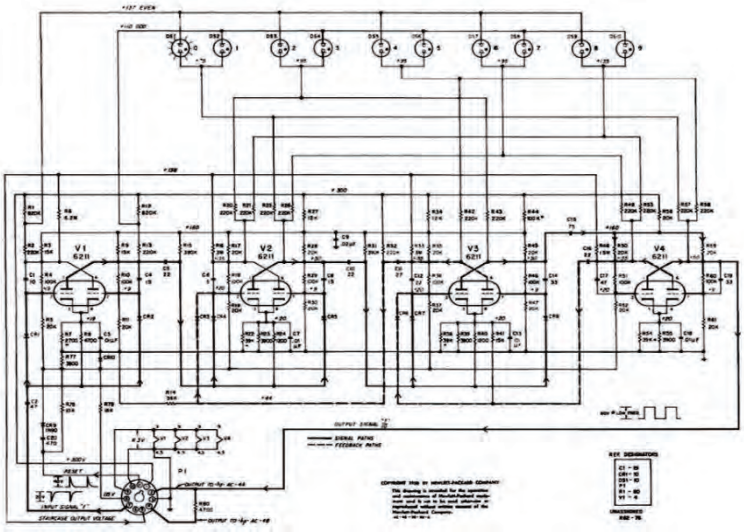


Fig. 4 - Schematic diagram of the HP AC-4D-95 decade counter module.

In the mid-fifties a single decade counter made use of many components. The counter module type AC-4D-95 in Figure 4, used by Hewlett Packard in the 1 MHz counting chain of its 524 frequency meters [8], required four twin-triodes. Even more complex was the 10 MHz counter, with eight high-frequency pentodes.

In 1955, an old firm was ready to enter the scene of electronic digital counters. The Burroughs Corporation, founded way back in 1886, was a leading manufacturer of electro-mechanical accounting machines. To approach the new emerging market it had hired Saul Kuchinsky, who moved from National Union to the Burroughs Research Center in Paoli, PA. In 1954, Burroughs also bought a small tube manufacturer, the Haydu Brothers. In Plainfield, NJ, George and Zoltan Haydu had been in business since 1936, manufacturing precision mechanical parts for the vacuum tube industry: electrodes, spacers, electron guns, anode blocks for magnetrons, glass-blowing machinery, up to small runs of special tubes for large manufacturers.

The first commercial beam-switch counter, the MO-10, was the result of joint developmental work involving Fan and Kuchinsky at the Burroughs Research Center and the Haydu Brothers, as a subsidiary of Burroughs itself. Almost certainly its design was inspired to the Alfvén work, solving the critical issues of the Ericsson RGY 10. Control grids and separate anodes were used and the current distribution to the spades was increased. A preliminary announcement of a still unnamed «beam-switch tube […] perfected by the Burroughs Research Center and precision manufactured in production quantities by the Haydu tube division» appeared in May 1955 in Electro-

Fig. 5 - From left, an early Haydu badged 6700 tube, a later sample with Burroughs label, a low-voltage 6701 and the high-speed MO-10R/6704.

Fig. 6 - From left, the shielded BD-301/6703, the more slim BD316, the BD-401 noise generator and its smaller successor BX-1203/6713.

nics [9]. The MO-10 was registered as 6700 to Haydu Brothers in June 1955, RMA record 1485, see Figure 5. It was referred to as "Haydu Magnetron Beam Tube" in the July 1955 issue of Electronics magazine [10].

The announcement of the low-voltage variant H-B 101 appeared in Electronics, December 1955 [11]. The counter, designed for airborne operation at 26 volts, was shown aside a preliminary view of a Nixie™ numeric indicator. In February 1956 the H-B 101 was registered to Haydu as 6701, RMA/JETEC release 1589. In beam-switch tubes the magnetic field was generated by a cylindrical permanent magnet surrounding the glass bulb. For operation close to cathode-ray tubes or other devices sensitive to magnetic fields, variants with external mu-metal shields were introduced, some unregistered too. The BD-301 shielded counter in Figure 6 was specified for operation up to 2 MHz and registered in May 1961 as 6703. The RMA record 3295 also reports the code 6704, assigned to the high-speed MO-10R, shown in Figure 5, capable to operate up to 10 MHz thanks to built-in spade load resistors.

Several circuits were proposed, using these devices in various applications, as modulo-n counters, event counters, rangefinders and navigation equipment, coding and decoding sets, storage blocks or even as analog signal multiplexers. Partially depopulated types were proposed as pseudo-random noise generators. Being used in secret

Fig.7 - Beam-X counters. From left, cross section of the family, the 6710/BX-1000, the high-current BX-3000 and two shielded types, the BX-4000 and the BX-2005.

radar jammers, the registration of the wide-band noise generator BD-401 as 6702 was delayed until February 1964, taking place at one time with its successor, the more compact Beam-X type 6713/BX-1203. Shielded types were quite large, about 60 mm in diameter. The more compact BD-316, in Figure 6, was then proposed, with thinner electrodes into a glass bulb whose diameter was decreased just above the base.

The variety of trochotron tubes grew in the early sixties with the introduction of the new 'Beam-X' family [12]. The design of the electrodes was modified, moving the source of the magnetic field into the glass bulb. As shown in Figure 7, ten magnetic rods replaced the anode strips, acting as targets while concurring to generate the proper magnetic field. The outer diameter of the unshielded 6710/BX-1000 Beam-X trochotron was only 30 mm, compared to the 44 mm of the 6700 and the 58 mm of the shielded 6703. Burroughs also introduced variants with increased current drive capability as the 6712/BX-3000, shielded types as the BX-2005 used in some Rank Xerox copiers, and also low-voltage variants as the BX-4000 proposed for airborne applications.

The basic design and its operating principle

For each count position the trochotron made use of the three-electrode structure devised by Fan and Saul Kuchinsky at the Burroughs Research Center in Paoli, PA. To understand its operating principle, we refer to the Figure 8, which shows the internal structure and typical connections of a trochotron. An inner ring of ten V-shaped electrodes or spades, one for each counting position, surrounds the cathode. Ten "L"-shaped output plates or targets, from "0" to "9", are all around, partially shadowed by the corresponding spade. A grid rod is between each target and the successive spade. All odd grids are connected together to a base pin while all even grids go to another pin. Typical supply voltage of 200 volts is required, but some types with low magnetic field were specified for 26-volt operation. Targets are fed through load resistors of relatively low value, the value of load resistors to spades being higher, 100

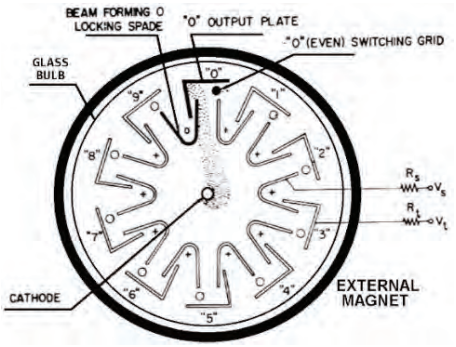


Fig. 8 - Arrangement of electrodes in a divide-by-ten trochotron, with supply connections.

kW or more. The glass bulb containing the described electrode structure is immersed into a cylindrical magnet, flux lines being parallel to the cathode itself.

Out of the typical conditions given in the data sheet, this tube has several modes of operation, even oscillating ones. Here we try to give an intuitive description of its operation as counter, according to the notes of the same Kuchinsky [13]. At power-on, under the combined influence of the external magnetic field and of the electric field generated by the ten spades, the tube is in a cut-off state. Electrons are forced by the magnetic field to follow quasi-circular equipotential orbits in a dynamic equilibrium, in the region between spades and cathode. Due to their curved trajectories and to the shape of spades, influence from the targets in the background is almost entirely masked off.

The initial zero condition is set by pulsing low the S0 spade for a short while. Electrons spiraling in its vicinity now feel the influence of the electric field from the target T0 behind, trajectories being modified due to its attraction. Subsequently their flow deviates to T0. Due to the curved trajectory, about 15% of total electrons hit the spade S0, holding its potential low even after the reset pulse. The resulting current distribution to the target T0 and the spade S0 is roughly illustrated by the dotted path starting from the cathode in the Figure 8. This is a stable state, the current through the selected target being in the order of a few milliamperes.

In typical counting applications the switching grids are driven by a bi-phase sequencer which supplies negative pulses alternately to the even and to the odd grid groups. When a negative pulse of suitable amplitude is applied to the grid close to the holding spade, it counteracts the attraction of the selected target, releasing the beam from the target itself. Repelled electrons, due to the rotating trajectories imposed by the magnetic field, move then to the leading spade. The current increase through the spade cause a remarkable drop of its potential and the beam is then attracted by the corresponding leading target in the background. A new stable condition is then reached at each counting pulse.

Fig. 9 - The Mullard ET51 and the ETL VS10G compared with the Burroughs 6700.

Trochotron found several niche applications mainly in high speed counters, computers, navigation and military equipment. It was bulky and expensive when compared to gas counters as the dekatron, nonetheless it was capable of operation at frequencies as high as 10 MHz with fairly high output current drive. When visual indication of the count was required, the trochotron itself drove special neon indicators containing ten negative electrodes shaped as numbers from 0 to 9. Some types were built under license in Europe. The Mullard/Philips ET51, also listed as CV5277, was equivalent to the 6700, as shown in Figure 9. Ericsson (ETL) made several equivalent types, as the basic VS10G, its shielded variant VS10G/M, the high-current VS10H and the low-voltage version VS10GK.

Numeric indicators: Inditron™, Nixie™ and Pixie™

The trochotron does not give visual indication of the actual count. Due to the DC drop of the active target, its state can be easily detected using neon bulbs connected to each target. Early commercial numeric indicators were the Inditron™ types by National Union [14]. Not directly related to the trochotron, the family was advertised since 1954 for applications in elevators, scoreboards, clocks or game machinery. Ten rods of different length rose up from the base, each bearing a number-shaped electrode. The numbers were at considerably different depths, as visible in Figure 10, therefore reading several indicators side by side was rather awkward. Saul Kuchinsky had just worked at National Union before joining Burroughs as responsible for the trochotron development. The Nixie™ indicator, in Figure 10, was first announced as H-B 106 by Haydu in December 1955 [10] and certainly Haydu badged quantities were produced through 1956. Eventually it was registered as 6844 to Burroughs in January 1957. At that time George and Zoltan Haydu had left the direction of the tube factory, founding their new Haydu Electronic Products Inc. to continue manufacturing precision parts for vacuum tubes [15]. In the same month the double coded 6844/HB-106 was advertised in Electronics as the «newest star in the electronic galaxy». Actually this very compact indicator combined in the same short bulb ten neon lamps with com-

Fig. 10 - Two images of the National Union GI-21 Inditron™, the Haydu-badged HB-106 Nixie™ beside its box and the Amperex/Philips Z550M Pixie™ numeric indicator.

Fig. 11 - Images of the FR-114U frequency meter.

mon anode, closely spaced cathodes being shaped as numerals from 0 to 9. When cathodes were tied to the targets of a trochotron, only the one connected to the active target lighted up. Also, a Pixie™ indicator was proposed as low-cost alternative for the Nixie™. Here the anode was a disc punched with numbers 0 to 9, cathodes being short extensions of the pins below. Its indication resembled that of gaseous dekatron counters. Nixie™ indicators survived trochotron and other tubes, being in use well in the semiconductor age, until replaced by LED, LCD and VFD displays.

Typical applications

The ASE collection includes a couple of counters, both built around trochotron tubes. The first one is of particular interest since, being fully working and complete with its technical manual, it testifies the impressive circuit simplification obtainable with trochotrons. Our U.S. military FR-114U, part of AN/TSM-16 frequency meter in Figure 11, was manufactured around 1960 by Van Norman Industries. It accepts input signals from 20Hz to 1MHz. It actually shows, beyond the typical applications found in the scarce existing documentation, how clean a set designed around these tubes could be, even due to the simple surrounding circuitry required.

Count or frequency are displayed by six 6844 Nixie™ indicators, each driven by a counter module based upon the 6703, as the one in Figure 12. 1 MHz maximum

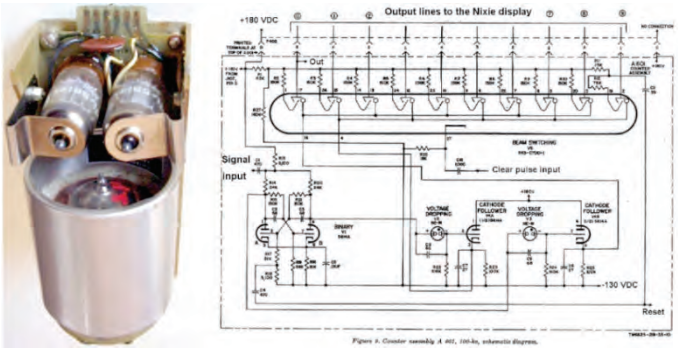


Fig. 12 - The decade counting module with its schematic diagram.

frequency was specified for the set, even if the 6703 could operate to above 2 MHz. Each counter module interfaced through a couple of connectors, the top one to the corresponding display and the bottom one to signal and supply buses.

In Figure 12, the photo of a counting module with its diagram aside [16] show how simple a trochotron counter could be when compared to the diagram of Figure 4. Nixies are directly driven by the targets through short flat cables. Only four signals plus the power buses connect each module to the mainframe and to other modules, through the 6+6-way connector on the small double-sided printed circuit.

Operation is controlled by a sequencer generating timing pulses for reset, count and display states. Before each count, two steps are required to initialize trochotrons: clear and reset. The positive clear pulse applied to cathode unlocks electrons from any target previously engaged. Each trochotron returns in the cut-off state and can now be initialized to its 'zero' count. This is accomplished by a negative reset pulse to the ninth spade S9. The same pulse also sets the input signal flip-flop to its 'even position', so that odd grids are negative and even grids are positive. Due to the polarity of grids and of the ninth spade, the beam skips the target T9 and locks to the next T0, ready to start a new count. Modules operate from +180 and –120 volts supply voltages. Total voltage, 300 VDC, feeds counters through 36 kW target loads and 18 kW cathode resistors. The spade resistors, 150 kW each, are tied to a voltage divider at about 100 V referred to cathode. The input signal is fed to the bi-phase counting flip-flop V1 which, through cathode follower buffers (V4A-V4B), alternately drives even and odd grids of the associated trochotron. The output signal to the next module is directly derived from the T0 target. A single 2D21 thyratron generates both the clear and the delayed reset pulses common to all the counting modules. The simple circuit of the pulser is shown in Figure 13.

In 1962 Lavoie Labs, Morganville NJ, advertised the most advanced frequency meter of that time, the 10 MHz LA-80, fully based upon trochotron counters. It had

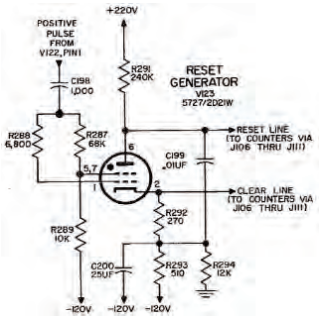


Fig. 13 - Schematic diagram of the reset sequencer.

Fig. 14 - The Lavoie LA-80 digital counter on the left and on its right the HP 5245L, here with the HP 5257 transfer oscillator plug-in..

been engineered to be interchangeable with the HP 524, the counter widely accepted by the military to which refers the diagram of Figure 2. Probably at request of the same military the 20-inch high LA-80 also accepted the HP plug-ins.

Unfortunately, the LA-80 could well be seen as the swan song of the trochotron. One year later, in 1963, HP would have introduced its 5245L solid-state frequency meter, which only retained the Nixie indicators. In its compact cabinet, 130 mm high, this counter was capable of operating up to 50 MHz, also accepting optional prescaler plug-ins to measure higher frequencies. In a few years, soon after the introduction in November 1967 of the revolutionary HP 5260A PLL frequency divider, its measuring range would extend well beyond 10 GHz. The Figure 14 shows an image of the LA-80 from a Lavoie advertisement [17] aside the HP 5245L 50 MHz counter, here equipped with the 5257A plug-in, a transfer oscillator which extended the frequency measurement of the basic meter up to 18 GHz.

Conclusions

No matter how elegant and complex the trochotron principle was, no matter how much effort was needed to achieve a family of properly working and easily usable devices, no matter that man had gone into the space with technologies still based on vacuum tubes: there was no possible competition for trochotron against the now mature solid-state. After all, as early as 1968 the writer was buying for a few hundred lire apiece 7490 TTL decade counters, small integrated circuits specified for operation up to 10 MHz from a single 5V supply and readily made in any quantity by photographic processes.

Acknowledgements

Special thanks go to Tube Collectors Association, in particular to Bjorn Forsberg for his testimony on the assembly of the early bench circuits for the RGY 10 at Ericsson and to Martin Forsberg for his valuable information on the work of H. Alfvén.

References

Millman J., Taub H. 1956. *Pulse and Digital Circuits*. New York: McGraw-Hill.

Datasheets and papers

[1] Bell System Technical Journal, April 1944.
[2] Electronics magazine, McGraw-Hill: August 1951.
[3] Valve with trochoidal electronic motion by H. Alfven and H. Romanus, Nature November 1, 1947.
[4] Tele-Tech & Electronic Industries, June 1954.
[5] Ericsson data-sheet for RGY10.
[6] Ericsson Review No. 1, 1954: Coaxial Trochotron for Pulse Counting.
[7] Multi-electrode counting tubes by K. Kandiah and D.W. Chambers, Journal of the British Institution of Radio Engineers - July 1954.
[8] Hewlett Packard, type HP 523B Counter. Technical Manual, from the HP Archive.
[9] Electronics magazine, McGraw-Hill: May 1955.
[10] Electronics magazine, McGraw-Hill: July 1955.
[11] Electronics magazine, McGraw-Hill: December 1955.
[12] Burroughs Engineering Technical Memo, ETM-149, Beam-X Switches.
[13] Burroughs data-sheets and application notes.
[14] National Union data-sheets.
[15] Electronics magazine, McGraw-Hill: January 1957.
[16] M 11-6625-218-35 Field And Depot Maintenance Frequency Meter AN/TSM-16.
[17] Electronic Design's New Product Locator, 1962, page 359.

Datasheets for Burroughs, Haydu, National Union and Philips tubes listed into registration records of the Radio Manufacturers Association, later Joint Electron Tube Engineering Council, are today preserved in the Tube Collectors Association Data Cache archive.

Webgraphy

Tubes and sets shown in the photos are today preserved in the ASE collection. The entire collection of counting tubes and of frequency meters can be accessed through the links below:
http://www.ase-museoedelpro.org/
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/Catalogo/tubes/T09_computer_hirel.htm
http://www.ase-museoedelpro.org/Museo_Edelpro/Catalogo/Overview/Index/M1-Signal Generators & Freq Meters.htm

Maurizio D'Antonio

Tecniche antisismiche storiche nelle aree interne abruzzesi

Historical anti-seismic techniques in the internal areas of Abruzzo

Sommario
La città dell'Aquila è caratterizzata da una storia sismica importante che ha indotto gli abitanti a adottare accorgimenti antisismici nelle costruzioni. Le particolari tecniche costruttive, impiegate fin dal Quattrocento, si configurano come un vero e proprio sistema costruttivo antisismico che si rinviene in un'area piuttosto vasta dell'Abruzzo interno.

Abstract
The city of L'Aquila is characterized by an important seismic history that has led its inhabitants to adopt anti-seismic devices in their buildings. The particular construction techniques, used since the fifteenth century, are configured as a truly anti-seismic construction system found in a rather large area of internal Abruzzo region.

Due caratteristiche
Dal 1254, anno della sua fondazione ufficiale, al 2009, all'Aquila si sono verificati 137 terremoti di intensità epicentrale superiore o uguale a 5 con una media di un terremoto ogni 5 anni e 6 mesi [1]. La città ha subito ben cinque terremoti devastanti, negli anni 1315, 1349, 1461, 1703 e 2009, senza contare i numerosi eventi minori che comunque hanno causato danni (Guidoboni *et al*. 2018) [2]. È stata distrutta e ricostruita già quattro volte ed è in corso la quinta ricostruzione.

Questa particolarità ha generato due caratteristiche singolari. La prima è che ogni volta la città è stata ricostruita, ma senza cancellare completamente le tracce architettoniche del passato. La gran parte degli edifici del centro storico è il frutto della sommatoria di numerosi interventi costruttivi e ricostruttivi svoltisi nell'arco di circa otto secoli di storia, per cui gli edifici conservano murature e ambienti che possono risalire a ogni secolo della storia cittadina; ogni edificio è un palinsesto di modalità e tecniche costruttive diverse, risalenti a periodi diversi: capita sovente che la stessa parete possa contenere nello spazio di pochi metri quadrati brani murari risalenti a molti periodi diversi.

La seconda caratteristica è la precoce diffusa presenza di presidi antisismici. Rispetto alla citata sequenza sismica non poteva non essersi sviluppata una cultura antisismica e non potevano non essersi sviluppate tecniche costruttive che in qualche modo tentassero di mitigare gli effetti del sisma. La volontà degli Aquilani di ricostruire la città dov'era, sempre e comunque dopo ogni evento, sarebbe stata poco comprensibile, se non fosse stata accompagnata da una certa conoscenza dei meccanismi di danno prodotti dal sisma e delle soluzioni atte a mitigarne gli effetti, concepite naturalmente in rapporto alle tecnologie disponibili al momento.

È noto che la capacità che un edificio ha di opporsi ai terremoti dipende dalla morfologia architettonica e dall'efficienza del sistema resistente. In altri termini da un lato la forma e dall'altro gli accorgimenti costruttivi e i materiali. Questo concetto era stato in qualche modo compreso già nel passato: si pensi a Pirro Ligorio e al suo progetto cinquecentesco di casa antisismica (Ligorio, [1571] 2005) o alle considerazioni di Leonardo da Vinci sui solai lignei riportate a p. 53 del Codice A dell'*Institut de France*. Per restare nel campo storico della città dell'Aquila questo concetto era ben chiaro già dalla seconda metà del Quattrocento, come testimoniato dagli accorgimenti costruttivi capaci di conferire alla costruzione una certa resistenza al sisma già a quell'epoca impiegati: la ricerca di simmetria e regolarità in pianta e in alzato, i muri a scarpa, gli archi soprastrada, o l'inserimento di radiciamenti lignei secondo particolari modalità su cui ci si soffermerà più avanti.

Evoluzione tipologica dell'edificato

A seguito del devastante sisma del 6 aprile 2009 e del processo di ricostruzione e di restauro della città storica sono molti i ritrovamenti, le scoperte o riscoperte che contribuiscono all'affermarsi di una lettura meno lacunosa della storia, architettonica, urbanistica e artistica della città, ma alcune di queste hanno una portata significativa con conseguenze importanti nella percezione che abbiamo della evoluzione storico-costruttiva dell'Aquila. Tra queste va qui evidenziata la frequente scoperta di archi con portico, ricomparsi o restaurati, che si aggiungono a quelli già noti, distribuiti in zone diverse e distanti, che induce a credere a una notevole diffusione della tipologia architettonica di edificio porticato fino al Quattrocento. Si tratta di porticati generalmente a doppio fornice, riferibili spesso all'ampiezza di quattro canne, chiusi lateralmente e aperti frontalmente, non pubblici, ma privati, utilizzati per attività bottegaie o come laboratori al coperto, o ancora per esposizione di merci. Si ricorda, per esemplificare, i due archi in via del Cembalo con tracce successive di altre archeggiature, i grandi archi, purtroppo intonacati, nel palazzo di Via Vittorio Emanuele ai numeri 170-182, i due archi di via tre Marie, i due archi in via Garibaldi difronte palazzo Gentileschi, purtroppo intonacati, i tre archi gotici di palazzo Bucciarelli, un tempo Vivio, in via Sassa, tamponati nel rinascimento e i due archi in via Cavour; inoltre, tracce di probabili piedritti di porticati si rinvengono in via Garibaldi e in via S. Giusta.

Per comprendere la rilevanza di tale riscoperta bisogna ricordare che la città fisica si formò nel primo Duecento con disegno urbano di tipo organico, poi sostituito, dopo la distruzione del 1259 voluta da Manfredi, da un tessuto strutturato geometricamente con una maglia ortogonale secondo il modello ippodameo nel momento della ricostruzione urbica avviata nel 1266 e autorizzata da Carlo I d'Angiò. Il piano urbico angioino prevedeva edifici monofamiliari su lotti predeterminati di misura prestabilita di 4 · 7,5 canne (Buccio di Ranallo, 1907) di cui una porzione veniva edificata e il resto adibito a orto. I lotti, che prendevano il nome di "casalini" [3], venivano accorpati variamente a costituire isolati che a loro volta erano raggruppati in "locali" ossia piccoli quartieri ciascuno corrispondente a un castello del contado che partecipava all'inurbamento[1].

L'edificio monofamiliare tipo del periodo è attestato da documenti e da alcuni esemplari parzialmente conservati in via dei Ghibellini, via Sassa, via Accursio. Si tratta di costruzioni a due piani in *opus* aquilano[2] con tetto ligneo a due falde, generalmente con due portali, uno più ampio a quota strada per l'ingresso alla bottega e uno più stretto, leggermente sopraelevato rispetto alla quota stradale, che conduce all'alloggio del piano superiore (Lorenzetti, 2020). Questa tipologia si mantenne fino al XV secolo.

La recente riscoperta di una diffusa presenza di archeggiature di portico negli edifici privati, distribuiti in zone diverse e distanti, induce a credere a una notevole diffusione della tipologia architettonica di edificio porticato nel Trecento. L'acquisizione di questo nuovo dato porta a configurare una città trecentesca dove lo spazio porticato costituiva elemento di raccordo, di filtro tra pubblico e privato. Era luogo di lavoro, di esposizione delle merci, di contrattazione e di scambio. Luogo protetto dalle intemperie funzionalmente attivo durante tutto l'anno, anche nella stagione fredda.

Si delineò dunque una città mercantile, dove l'architettura degli edifici denunciava una destinazione commerciale, dove lo scambio non aveva solo luoghi esclusivi a questo deputati, come la piazza del mercato, ma anche una diffusa presenza di case bottega con o senza portico. Non a caso il governo della città nei primi secoli fino alle riforme introdotte a metà Cinquecento fu in mano alla classe imprenditoriale che, attraverso le Arti, conservava sia il potere economico che quello politico. Nel Trecento non solo quindi le tantissime piazze, almeno una per ciascun "locale", per ciascun castello inurbato, oltre alla piazza del mercato, la principale, ma anche una teoria di piccoli porticati che assieme alle case-bottega caratterizzarono la città fino allo spartiacque di metà Quattrocento quando il sisma sconvolse la città e determinò una ricostruzione che vide tamponare i fornici superstiti, in funzione antisismica, determinando un cambio di rapporto tra la strada e l'edificato.

Nel XV secolo si realizzò anche una importante evoluzione tipologica dell'edificato residenziale quando si iniziò ad accorpare più lotti edificabili, ovvero più cellule abitative con orto retrostante, per realizzare case palazziate. Sono costruzioni

più ampie, con corte, dal carattere un po' introverso. Una tipologia che attraversò il XV e il XVI secolo con costruzioni sempre più importanti architettonicamente e artisticamente. Siamo in pieno Rinascimento e i cortili erano porticati, con loggiato e monumentali scaloni decorati con sculture e bassorilievi. Gli edifici non erano più aperti alla strada ma chiusi in se stessi, le cornici decorate delle archeggiature non erano più su fronte strada ma all'interno di un cortile. Alla casa con bottega su strada e orto retrostante e alla casa con bottega e portico anteriore si sostituì l'edificio con cortile interno che accorpava più cellule abitative originarie.

Il processo sostitutivo delle casette monofamiliari con ampi palazzi fu incentivato dal sisma del 1461-62, a seguito del quale gli edifici rinascimentali si dotarono di presidi antisismici. Molti, infatti, furono i palazzi costruiti secondo tale tipologia nel Quattro-Cinquecento dotati di presidi che ancora oggi si possono osservare, a esempio nei palazzi Dragonetti, Carli-Benedetti, Franchi, Alfieri ecc.. Si tratta di edifici dalla pianta piuttosto regolare con corte, con un alzato limitato a tre livelli, anch'esso regolare, con cantonali in pietra squadrata piuttosto ampi, diversamente da quelli ottocenteschi dall'ampiezza limitata a un singolo concio, e bucature distanti dal cantonale (si esempla con i cantonali di palazzo Fibbioni, di palazzo Dragonetti, i due cantonali rinascimentali superstiti di palazzo Margherita).

Evoluzione tecnologica dell'edificato

L'evoluzione tipologica e morfologica dell'architettura residenziale, si associa a quella delle tecniche costruttive**.** A partire dai terremoti di metà Quattrocento[3], infatti, si iniziò a edificare con tecniche costruttive antisismiche inserendo nelle murature travi di legno, a seguire l'andamento del perimetro murario: una sorta di cinturino ligneo. Queste travi terminano con capochiavi metallici[4] che ancorano la trave al muro sul lato esterno. Non a caso Christian Wolff (1679-1754) e Jean Baptiste Rondelet (1743-1829) li chiamano "ancore" (D'Antonio, 2018a, p. 112).

I capochiavi sono talora artisticamente lavorati, sono cioè decorati con figure varie tra cui i famosi gigli[5], dei quali alcuni esempi sono mostrati in Figura 1 e sono distinguibili per epoca di realizzazione in base alla forma. Lavorati artisticamente sia nella stanghetta, solitamente pronunciata, che nel bolzone quelli rinascimentali, più semplici quelli sei-settecenteschi, mentre di maggior spessore e con forme regolari e talora a piastra quelli più recenti. Anche la posizione dei capochiavi denuncia se la trave corrispondente sia stata inserita in fase edificatoria o aggiunta successivamente in quanto affiancata alla muratura.

Le travi lignee erano immerse nelle murature con capochiavi metallici, non isolate a collegare due murature, ma interagenti le une con le altre e con la muratura, messe cioè, come mostrato in Figura 2, in modo da costituire una sorta di "cintura", con lo scopo di impedire i movimenti delle pareti, in particolare il ribaltamento, uno dei più frequenti meccanismi di danno. Erano giuntate le une alle altre con chiodature,

Fig. 1 - Esempi di capochiavi rinascimentali (foto dell'Autore).

Fig. 2 - Schema del posizionamento delle travature, a sinistra e due angoli murari con travature interne e relativi capochiavi, al centro e a destra (foto dell'Autore).

anche la stanghetta del capochiave era chiodata alla trave. Ripetute in altezza e unite alle capriate impalettate costituiscono un vero sistema antisismico. Nei fabbricati veniva inserita una cerchiatura di contenimento per ogni piano e poi le capriate del tetto avevano le catene, ossia gli elementi orizzontali della capriata, impalettate, cioè vincolate da un bolzone di legno osservabile sotto lo sporto di gronda di molti edifici.

Le modalità costruttive delle cerchiature sono esplicitate chiaramente da Pellegrino Pellegrini (1527-1595) nel suo trattato di architettura della seconda metà del Cinquecento dove sono definite "ligamenti". Egli, infatti, dice: «Gioverà molto a le fabriche far a ogni altezza d'ordine de stanze farvi uno ligamento nei muri, o di legno biusciato che si atachi alle teste de' travi de' cieli ovvero alle imposte o alle volte, se si farano in volte, che circondi le fabriuche; e se non si vol far di legno si facci di ferro, et anco alle test de' travi porvi le chiavi di fero che intertenghi le muraglie» (Pellegrini, 1990). Anche Leonardo da Vinci, nel Codice A dell'*Institut de France*, mostra una certa conoscenza al riguardo quando afferma: «Ogni trave vole passare i sua muri e esser ferma di là da essi muri con sossitienti catene, perché spesso si vede per terremoti le travi uscire dè muri e rovinare poi i muri e solari; dove se sono incatenate terranno i muri insieme fermi, e i muri fermano i solari».

Il Quattrocento si rivelò dunque un periodo di cambiamento importante sia storico che architettonico, sotto l'aspetto morfologico e tipologico, ma anche del *modus operandi*, della tecnica costruttiva, con l'introduzione di caratteristiche antisismiche, patrimonio del saper fare dei mastri costruttori. Fu una trasformazione connessa ai mutamenti sociali che modificò la concezione urbanistica e sociale della città, del rapporto pubblico-privato nella vita quotidiana; il fenomeno ha implicazioni storiche e sociali oltre che tecniche e costruttive.

Il processo di rinnovo e accorpamento di unità immobiliari monocellulari, prima descritto per il periodo rinascimentale, si ripropose nel Settecento dopo il sisma del 1703. La ricostruzione post sismica offre molti esempi di palazzi settecenteschi importanti che rinnovano il volto architettonico della città, ad esempio Palazzo Centi, Quinzi e Ardinghelli; per contro il sisma e la ricostruzione successiva cancellarono gran parte della città medievale, non interessata dal rinnovamento rinascimentale, e perciò non dotata di presidi antisismici, quindi incapace di offrire un minimo di resistenza al sisma.

Conferma dell'efficacia del sistema antisismico viene dalla permanenza di edifici rinascimentali rispetto a quelli medievali: non resta quasi nulla dell'architettura civile medievale realizzata tra il XIII e il XV secolo. Del Medioevo si conservano soprattutto gli apparati murari, costruiti nel noto *opus* aquilano, nei piani terra degli edifici sopravvissuti ai vari terremoti e inglobati nelle ricostruzioni successive, mentre, a partire dal rinascimento, i palazzi con corte, piuttosto numerosi in città, hanno resistito ai vari sismi e, seppur fortemente danneggiati, sono rimasti in piedi. Analogo esito hanno avuto gli edifici costruiti dopo il sisma del 1703. Questo è dovuto proprio alla presenza negli edifici rinascimentali e settecenteschi di quei presidi antisismici che invece erano assenti in quelli medievali. Si sa infatti che il percorso storico evolutivo degli edifici cittadini è segnato fortemente dai processi di ricostruzione, a seguito dei quali si concentrano le novità artistiche e architettoniche, in particolare, ciò avvenne per i decenni a valle delle sequenze sismiche del 1456 e 1461-62 e del 1703 e 1706.

Testimone di questo diverso comportamento dell'architettura medievale da quella del secondo Quattrocento è il convento di S. Domenico, dove il chiostro di fine Quattrocento, costruito con criteri antisismici, superò indenne il sisma del 1703, diversamente da quanto accadde al chiostro trecentesco, perduto con il sisma, che fu ricostruito nel Settecento con due "cinturini" di legno complanari, immersi nelle mura perimetrali di pianta quadrangolare e collegati trasversalmente da travi lignee poggianti sui frenelli delle volte a formare un telaio orizzontale.

Le tecniche costruttive qui descritte vennero largamente impiegate nella ricostruzione dopo il sisma del 1703, talora con miglioramenti tecnologici che non è possibile illustrare in questa sede, e si svilupparono fino ad arrivare alla realizzazione di una tipologia costruttiva che è nota con il nome di "casa baraccata": una fattispecie

della casa intelaiata che nacque con finalità antisismiche di cui all'Aquila sono attestati alcuni esemplari, due dei quali sono stati studiati in dettaglio, uno documentato fotograficamente durante la demolizione, l'altro ancora esistente. Essi mostrano una tecnica costruttiva che impiega tronchi scortecciati e connessioni realizzate mediante gattelli chiodati[6], secondo una concezione più semplice di quella applicata nella casa baraccata che trova in Vivenzio la prima documentazione grafica pubblicata nel 1783 (D'Antonio, 2018a), ma che vede le origini nel territorio sismico del meridione italiano nei decenni precedenti.

Purtroppo, queste modalità costruttive antisismiche sono andate in disuso e perse nella memoria collettiva tra l'Ottocento e il Novecento, quando un diverso modo di pensare e nuove tecniche costruttive si imposero. Dalla fine del Settecento si incominciò a nascondere i capochiavi sotto l'intonaco e nella muratura. Dall'orgoglio rinascimentale di possedere un edificio antisismico, testimoniato dai capochiavi decorati con gigli, si passò a nascondere i bolzoni a vantaggio del nuovo senso estetico. Nel corso dell'Ottocento tali presidi vennero sempre meno usati finché se ne perse il significato e la funzione e nel Novecento vennero spesso rimossi, particolarmente quando i tiranti lignei o metallici erano a vista attraversando ampie sale, in quanto, interferivano con la visione delle pareti affrescate, come nel refettorio del convento di S. Bernardino o nella chiesa della Beata Antonia. Quest'ultima oltre le cerchiature aveva 5 catene lignee che attraversavano la navata e tetto con capriate impalettate.

L'assenza di presidi si ritrova nella maggior parte delle opere di modifica e adattamento eseguite sugli edifici storici nel corso dell'Ottocento e del Novecento. Tali modifiche, realizzate per adeguare i complessi edilizi alle esigenze imposte dalle nuove destinazioni d'uso, si pensi al riuso dei conventi quali sedi di uffici pubblici, come nel caso di S. Francesco e di Sant'Agostino, o la destinazione a uffici di organismi rinascimentali come Palazzo Margherita, hanno comportato nuove distribuzioni funzionali degli spazi, lo stravolgimento dei percorsi e dell'apparato delle bucature senza tener conto degli effetti talora squilibranti di tali lavori nell'assetto costruttivo e senza introdurre nuovi accorgimenti antisismici a integrazione di quelli esistenti o in sostituzione di quelli rimossi. Un esempio eclatante è costituito dal'edificio del Palazzo del Governo, ex convento agostiniano ricostruito nel Settecento con presidi antisismici e ampiamente trasformato nell'Ottocento, che ha visto il crollo di gra parte delle aggiunte e modifiche ottocentesche realizzate per l'adeguamento alle nuove funzioni come sede dell'Intendenza borbonica nel primo Ottocento e della Prefettura nel secondo Ottocento. Tuttavia, dopo i sismi del 1915 e 1958 nei fabbricati vennero inserite catene metalliche, concepite non più come sistema preventivo di cerchiature, ma di semplice collegamento tra murature con funzione puntuale o di riparazione locale. L'insieme di tutti questi presidi, cerchiature lignee rinascimentali e settecentesche e tiranti metallici novecenteschi ha contribuito a evitare il crollo generalizzato delle facciate degli edifici storici sulle strade durante il sisma del 2009 (D'Antonio, 2018b).

Alcuni esempi di edifici dotati di presidi antisismici

La quasi totalità dei palazzi storici rinascimentali e settecenteschi che non hanno subito pesanti rimaneggiamenti otto-novecenteschi mostra capochiavi metallici nei cantonali distribuiti a diverse altezze secondo i piani, che sono indice della presenza di travature lignee. Un esempio significativo con capochiavi gigliati è palazzo Dragonetti. Esempio emblematico è il settecentesco palazzo Centi, che presenta regolarità e simmetria in pianta e in alzato, masse decrescenti con l'altezza, cerchiature lignee (Ceradini e Andreassi, 2005) e muri a scarpa sapientemente dissimulati nell'architettura dei cantonali, in Figura 3.

Fig. 3 - In alto a sinistra: disegno con particolare delle tirantature trasversali poste sugli archi delle volte (Natali, 2015, pp. 503-504)*; in alto a destra: cantonale di Palazzo Centi. In basso a sinistra: cantonale della biblioteca di San Domenico con tre livelli di capochiavi, muri a scarpa e capriate impalettate; in basso al centro: abside di S. Maria di Collemaggio con 6 livelli di cerchiature e mura a scarpa; in basso a destra: cantonale della chiesa della Madonna d'Appari con tre livelli di capochiavi* (foto dell'Autore).

Fig. 4 - Basilica di S. Bernardino: le linee e le frecce indicano travature cerchianti e tiranti antiespulsivi (foto dell'Autore).

Nella monumentale chiesa di S. Bernardino sono rilevabili accorgimenti costruttivi antisismici realizzati nella fase edificatoria quattrocentesca e nella ricostruzione settecentesca. Il campanile per esempio, fortemente danneggiato dal sisma del 2009, con il crollo dell'unica cella campanaria superstite del sisma del 1703, fu costruito nel 1468-69 ed era in origine costituito da una porzione basamentale di muratura continua alta 25 metri e da due celle soprapposte formate da 4 vele murarie finestrate e coperto da una piramide lignea rivestita da lastre di piombo (D'Antonio 2019; D'Antonio e Mignemi, 2019). All'interno dell'apparecchio murario perimetrale, a varie quote e in corrispondenza degli orizzontamenti, furono inserite travature lignee terminanti con capochiave metallico per realizzare una serie di cerchiature a vari livelli della torre, evidenziate dal sisma del 2009, che causò anche la frantumazione dei cantonali. L'abside della basilica conserva inalterata la struttura muraria e la volta appartenenti all'edificio rinascimentale: le sue mura presentano un sistema di travature lignee terminanti con chiavi metalliche che tendono a cerchiare il corpo di fabbrica; inoltre sono presenti tiranti antiespulsivi che attraversano la spessa muratura. Il sistema di presidi antisismici, realizzato nel Quattrocento, nella fase del primo impianto costruttivo, fu poi riproposto nel Settecento nella fase di ricostruzione successiva al sisma del 1703 in tutte quelle porzioni nuovamente edificate come il tamburo dove sono state realizzate cerchiature lignee e inseriti 64 tiranti antiespulsivi nella muratura, che supera i 2 metri di spessore, disposti su due file, 8 per ogni lato dell'ottagono murario. In Figura 4 è riportata una foto che evidenzia travature cerchianti e tiranti antiespulsivi. Durante i lavori di recupero postsismico è capitato pure che nell'eseguire i perfori per il posizionamento di tiranti metallici si sono spesso trovate travi lignee all'interno della muratura che seguivano lo stesso percorso. La sopraelevazione muraria delle mura del tamburo al di sopra della cornice modanata in pietra è stata realizzata per contenere un cinturino[7] metallico formato da 8 tiranti metallici, impalettati fra di essi agli angoli murari, e completamente affogati nell'apparecchio murario; questo intervento, voluto dall'arch. Giovan Battista Contini nei primi anni del Settecento, rimediava a una trascuratezza verificatasi nel corso dei lavori di ricostruzione della cupola, crollata a seguito del terremoto del 1703.

Altro complesso interessante è quello del convento di S. Domenico che conserva presidi relativi sia alla fase costruttiva quattrocentesca che a quella settecentesca.

L'edificio costruito alla fine del Quattrocento per ospitare la biblioteca **e** l'infermeria del convento presenta ancora oggi una cerchiatura lignea che si articola su tre livelli in corrispondenza dei tre piani in cui si sviluppa, ha muri a scarpa e capriate impalettate, volta al piano terra e in origine un solaio ligneo al primo piano, in Figura 3. Delle strutture murarie costruite nel Settecento, in sostituzione del chiostro trecentesco crollato, si è già detto. Per quanto riguarda la chiesa di S. Domenico durante i lavori di riparazione post 2009 sono state trovate travature lignee settecentesche nella sopraelevazione muraria perimetrale e, secondo una modalità costruttiva che coincide con quella descritta da Giovan Battista Natali nel manoscritto "Estrato rememorativo" del XVII secolo[8], sugli archi trasversali e sui frenelli della navata, in Figura 3.

Nella chiesa di S. Maria del Soccorso sono presenti tre livelli di cerchiature e capriate impalettate; nella chiesa della Madonna d'Appari, pure si notano tre livelli di cerchiature, come mostrato in Figura 3 e catene lignee trasversali a vista nell'aula chiesastica.

Nella chiesa di S. Maria di Collemaggio, l'abside maggiore, ricostruita dopo il sisma del 1461, mostra sul paramento in pietra concia esterno almeno 6 livelli di radiciamenti corrispondenti ad altrettante cerchiature, si veda la Figura 3. A queste e alla muratura a scarpa probabilmente si deve la conservazione della struttura in relazione al terremoto del 1703. La volta dell'abside invece è stata lesionata dal sisma del 6 aprile 2009 probabilmente perché alla sua imposta in anni recenti furono eliminate due catene metalliche che chiudevano la cerchiatura a quel livello.

Questi accorgimenti qui descritti si possono ritrovare in un'area piuttosto vasta dell'Abruzzo interno, per esempio, a Sulmona, a Popoli, a Tagliacozzo, a Pescocostanzo, a Castel di Sangro e a Fontecchio, tutte aree interessate da sismi sia nel Quattrocento che nel Settecento.

A Celano nel Castello sono ancora visibili in molte porzioni murarie capochiavi di radiciamenti con funzione di catene o cerchiature.

Nei pressi di Capestrano, in località Presciano**,** si possono ammirare capochiavi gigliati posti sulla facciata della chiesa rinascimentale di S. Maria, testimoni di un sistema di tirantature lignee.

La chiesa di S. Maria delle Grazie, presso Civitaretenga in comune di Navelli, di edificazione rinascimentale, ha un sistema di cerchiature su tre livelli e tirantature trasversali, in corrispondenza delle lesene esterne, che si manifestano con bolzoni artistici che assumono in facciata la forma di croci, come mostrato in Figura 5.

Va evidenziato infine che aree sismiche culturalmente ed economicamente legate alle aree interne abruzzesi, per la transumanza e i pellegrinaggi, presentano elementi architettonici e tecniche antisismiche analoghe. Ad esempio in provincia di Foggia, nel comune di S. Marco in Lamis, la chiesa di S. Maria di Stignano, costruita nel XVI secolo, presenta sia la tipica facciata quadrangolare aquilana, sia capochiavi nei cantonali che sono indice di un sistema di radiciamenti realizzato in fase costruttiva.

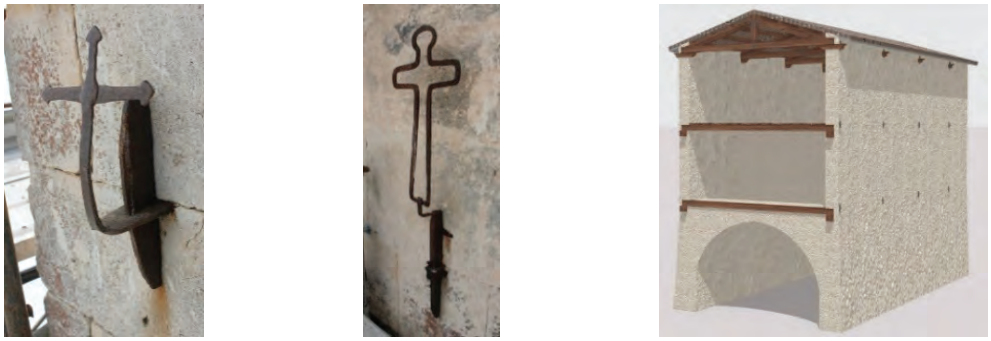


Fig. 5 - Navelli, chiesa di S. Maria delle Grazie: capochiave rinascimentale, a sinistra, e settecentesco, al centro, e schema ricostruttivo di edificio antisismico rinascimentale, a destra.

Conclusioni

L'impiego dei radicamenti nelle costruzioni dell'Abruzzo interno a partire da metà '400 e fino a tutto il '700, assurge a vero e proprio sistema costruttivo antisismico per edifici fino a tre piani. Nella forma completa, già presente nel Quattrocento, questo sistema è costituito da travature lignee inglobate nella muratura a seguire l'andamento perimetrale e trasversale in funzione di contenimento cerchiate per ciascun piano, volte in muratura al piano terra, solaio in legno al primo, volte di incannucciato al secondo, con capriate impalettate e muri a scarpa come nello schema ricostruttivo di Figura 5. L'impiego dei nuovi materiali e la perdita di conoscenza delle tecniche costruttive del cantiere antico che si realizza tra '800 e '900 portano ad abbandonare tale sistema e a compiere, con poca consapevolezza delle conseguenze, manomissioni, alterazioni e trasformazioni strutturali negli edifici dotati di tali presidi che il sisma del 2009 ha denunciato con evidenza.

Bibliografia

Buccio di Ranallo 1907. *Cronaca aquilana rimata* (a cura di V. De Bartholomeis). Roma: Forzani e C. tipografi del Senato.

Ceradini A., Andreassi M. 2005. L'appalto integrato nel restauro di Palazzo Centi a L'Aquila. In: *Manutenzione e recupero nella città storica*. *Conservazione e normativa: Esperienze recenti*. Quaderni ARCo.

D'Antonio M. 2015. La chiesa primitiva di S. Bernardino. In: *L'osservanza minoritica dall'Abruzzo all'Europa* (a cura di L. Aliucci, M. R. Berardi, W. Capezzali). Atti del convegno, L'Aquila, ottobre. L'Aquila: Colacchi.

D'Antonio M. 2018a. *Ita terrae motus damna impedire. Note sulle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo*. Pescara: Carsa Edizioni

D'Antonio M. 2018b. I presidi storici antisismici. In: Aloisio *et al*. *L'Aquila. La città e il nuovo millennio*. Pescara: Carsa Edizioni.

D'Antonio M., Mignemi A. 2019. San Bernardino, criteri di metodo per il restauro del campanile. In: *La ricostruzione dell'Aquila.* Pescara: Carsa Edizioni.

Guidoboni E., Comastri A. 2005. *Catalogue of Earthquakes ans Tsunamis in the Mediterranean area: 11th –15th century*. Bologna: INGV-SGA.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2018). CFTI 5Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy from 461 BC. to 2000 and in the Mediterranean area, from 760 BC. to 1500*, INGV, An Advanced Laboratory of Historical Seismology, WEB GIS http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/

Lorenzetti F. 2020. Le cosiddette "porte del morto" all'Aquila: la trasformazione di un modello edilizio medievale. Archeologia dell'Architettura, XXV, 209-221.

Natali G.B. 2015. *Estrato rammemorativo, osia Anotacioni (ms. Vat. lat. 10305). Memoria e saperi di un artista lombardo del Seicento tra Cremona e Roma* (a cura di A. Maccabelli). Cremona: Biblioteca Statale di Cremona.

Pellegrini P. 1990. *L'Architettura* (a cura di G. Panizza). Milano: Il Polifilo.

Pirro Ligorio. [1571] (2005). *Libro di diversi terremoti*, codice 28, Ja II 15, Archivio di Stato di Torino, Introduzione e apparato critico di E. Guidoboni, Edizione Nazionale delle Opere di Pirro Ligorio, Roma, De Luca editore.

Sitografia

[1] https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/
[2] http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/
[3] http://ducange.enc.sorbonne.fr/

Note

[1] La fondazione dell'Aquila è il risultato dell'inurbamento degli abitanti dei castelli del contado, 99 nell'immaginario leggendario ma in realtà appena qualcuno di meno, che si uniscono a formare la nuova città costruendo ciascuno un piccolo quartiere detto "locale".

[2] Definito anche *apparecchio aquilano,* è una muratura formata da filari regolari paralleli orizzontali sfalsati di bozzette di pietra, quadrate o rettangolari, di 10-15 centimetri di altezza.

[3] Per i danni del sisma del 1461 alla città dell'Aquila si veda (Guidoboni e Comastri, 2005, pp. 734-742).

[4] Il capochiave è costituito da un elemento orizzontale, la stanghetta, e un elemento verticale, il bolzone. La stanghetta veniva chiodata alla trave e sporgeva all'esterno del muro dove formava un'asola in cui veniva inserito il bolzone.

[5] I capochiavi a forma di giglio sono famosi non solo per la valenza artistica e per essere diffusi nel centro storico dell'Aquila, ma anche a seguito di un elzeviro della scrittrice Laudomia Bonanni pubblicato nel 1974.

[6] Nel caso specifico i gattelli sono elementi in legno di forma prismatica triangolare atti a realizzare una connessione efficace tra elementi lignei verticali ed orizzontali.

[7] Termine usato da Contini.

[8] L'unica differenza è costituita dalla presenza di due bolzoni anziché uno unico per le due stanghette.

Giovanni Cangi

Criteri costruttivi e tecniche antisismiche premoderne

Construction criteria and pre-modern anti-seismic techniques

Sommario
Esiste una regola costruttiva che accomuna gran parte dell'edilizia storica e che indirizza verso la realizzazione di edifici uniti strutturalmente per assicurare reciproca stabilità. Un criterio opposto a quello adottato nelle moderne costruzioni, dove prevale la realizzazione di giunti tecnici per rendere le strutture indipendenti anche quando realizzate in adiacenza. Si prende spunto da questo principio per illustrare le tecniche che fin dall'antichità hanno guidato la costruzione di fabbriche isolate, di organismi complessi e di interi aggregati edilizi, per evolvere fino alla scala urbana, al fine di costruire edifici belli, funzionali, solidi e per questo anche antisismici.

Abstract
There is a common construction rule for the large part of historic buildings and it suggest which is the way to build structural joined buildings to ensure mutual stability. This guideline is as opposed to design modern constructions and indeed the technical joints are used to make independent structures even when the buildings are next to others. We take inspiration from this principle to illustrate the ancient techniques applied during the construction of isolated edifices, complex building organisms, building aggregates until you get the urban scale. All of this aims to ensure beautiful, functional, solid and therefore ant seismic the constructions.

Introduzione
Guardare al passato per prevedere il futuro e affrontare il presente è un modo di dire alquanto appropriato quando si parla di terremoti. Infatti secondo una regola nota fin dall'antichità è certo che «Dove la terra ha tremato tremerà ancora», come scriveva Plinio il Vecchio. Se questo non consente di prevedere con certezza quando il fenomeno si manifesterà, è comunque sufficiente per ricavare indicazioni utili sul modo in cui è destinato a ripresentarsi in futuro. Le fonti archivistiche, infatti, possono fornire informazioni importanti sulla massima intensità sismica locale e sui tempi medi di ritorno del terremoto.

Ricerche più approfondite potrebbero offrire ulteriori elementi per individuare nell'ambito di ogni singolo territorio le aree interessate dal fenomeno con modalità e tempi diversi, quindi mai simultaneamente, con notevoli vantaggi nella previsione dei più probabili scenari di danno. In realtà questo aspetto del rischio sismico non viene molto considerato, mentre sarebbe molto utile tenerne conto.

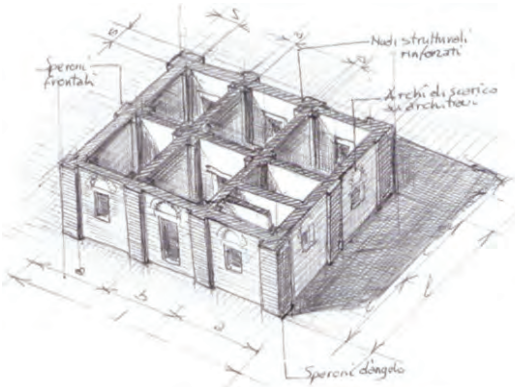
Guardare al passato significa anche e soprattutto cercare testimonianze degli eventi accaduti e conoscere gli effetti, oltre ai provvedimenti assunti per prevenire i danni in base all'esperienza acquisita.

È molto probabile che gli antichi coltivassero l'idea di realizzare costruzioni solide, secondo il concetto vitruviano e quindi anche antisismiche, con la convinzione che la solidità in sé fosse requisito sufficiente per far fronte ai terremoti. In effetti certi accorgimenti costruttivi efficaci sul piano statico si dimostrano anche dei validi presidi antisismici, per cui resta difficile e poco utile distinguerli in base a questo criterio. Per i Romani, ad esempio, l'approccio al problema della prevenzione sismica è stato sicuramente favorito dalla dimestichezza che avevano acquisito nel controllo delle spinte generate da archi e volte, che pongono problemi non dissimili da quelli che sopraggiungono con il sisma. Al contrario, nell'architettura basata sul modello trilitico, non spingente, l'azione sismica stravolge i meccanismi resistenti con gravi conseguenze.

Le raffinate tecniche costruttive sviluppate nell'antichità lasciano presupporre una chiara consapevolezza del rischio sismico. Tutte le civiltà fiorite nell'area del Mediterraneo hanno dovuto confrontarsi in qualche modo con i terremoti.

Per comprendere la logica adottata dagli architetti e dai mastri del passato è opportuno distinguere comunque fra criteri costruttivi e provvedimenti antisismici, per evitare di confondere i principi generali della prevenzione sismica con gli espedienti adottati come semplici interventi correttivi o di riparazione di strutture danneggiate. Archi di sbatacchio, catene, speroni e contrafforti rientrano fra le tecniche di prevenzione sismica più diffuse nell'edilizia antica e premoderna, ma l'idea che la prevenzione sismica possa ridursi a questi provvedimenti sarebbe fuorviante, per il fatto che da soli non sono mai sufficienti a conferire a una struttura il carattere di costruzione antisismica. La prevenzione sismica si affida infatti a criteri costruttivi che riguardano la struttura nella sua globalità, dall'organizzazione planimetrica delle maglie murarie alle connessioni che permettono di assicurare un comportamento d'insieme. Solo quando la struttura mostra carenze evidenti, originarie o sopraggiunte a causa di eventi calamitosi o per vetustà, i provvedimenti di cui sopra possono costituire rimedi risolutivi.

L'operazione richiede un approccio simile a quello che nel XVI secolo ha ispirato Pirro Ligorio nella definizione dei principi costruttivi della "casa antisismica", peraltro ripresi sostanzialmente dalla Legge n. 64/1974, che stabiliva regole geometriche simili da rispettare nel progetto di nuovi edifici in muratura. Pirro Ligorio propose un modello di casa in grado di resistere al terremoto grazie all'applicazione di regole



Regole costruttive per la costruzione di una "casa antisismica":

- *regolarità in pianta;*
- *interassi contenuti fra i muri portanti;*
- *spessori consistenti delle murature;*
- *cantonali rinforzati;*
- *rinforzo degli incroci murari;*
- *ordinata disposizione delle aperture;*
- *presenza di archi di scarico sopra gli architravi.*

Fig. 1 - Modello di "casa antisismica" ricostruito sulla base dello schema elaborato dall'architetto Pirro Ligorio in seguito al terremoto del 1570 a Ferrara (G. Cangi 2010).

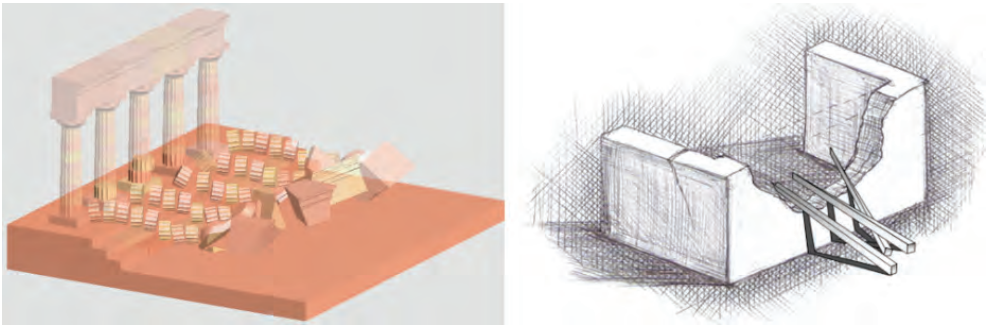


Fig. 2 - Cinematismi di collasso prodotti da azioni ortogonali per ribaltamento fuori del piano di strutture di colonne a rocchi, a sinistra, e di pareti murarie, a destra.

elementari che vanno dalla forma planimetrica compatta, agli interassi contenuti dei muri portanti, alla realizzazione di robuste pareti; inoltre suggerì il rinforzo dei fronti e dei cantonali mediante la realizzazione di paraste capaci di funzionare come speroni, anche se appaiono come elementi decorativi, in Figura 1. Regole che si basano sull'osservazione e sull'analisi dei danni tipici e ripetitivi causati da eventi sismici su edifici in muratura e quindi sull'esperienza maturata nel corso di molti secoli.

I danni causati agli edifici in muratura dai terremoti recenti sono del tutto simili a quelli che si rilevano nelle strutture antiche, caratterizzate da ribaltamenti con formazione di tipiche rotture dal profilo parabolico. Dall'osservazione di questi cinematismi elementari, in Figura 2, si possono ricavare indicazioni utili per l'analisi della risposta sismica degli edifici storici, in relazione alla configurazione geometrico-strutturale, ai materiali impiegati e alla qualità delle connessioni.

Regole costruttive generali

Dagli scenari di danno post-sisma emerge una regola costruttiva fondamentale che accomuna gran parte dell'edilizia storica e che indirizza verso la realizzazione di edifici uniti strutturalmente per assicurare reciproca stabilità. Un criterio opposto a quello adottato comunemente nelle moderne costruzioni, dove prevale la realizzazione di giunti tecnici per rendere le strutture indipendenti anche quando realizzate in adiacenza. La prova evidente di questo modo di concepire il costruito storico è offerta dall'edilizia a schiera tipica di molti centri costituiti da unità affiancate, che dal reciproco contrasto traggono condizioni favorevoli per un migliore comportamento d'insieme, soprattutto in risposta alle azioni sismiche.

Il modello rappresentato in Figura 3 costituisce la sintesi grafica di questo approccio pratico che ha regolato i criteri costruttivi tradizionali, soprattutto dell'edilizia ordinaria. Approccio semplice e intuitivo, forse troppo semplice per potersi spiegare con la teoria della Scienza delle Costruzioni.

L'edilizia ordinaria dei centri storici offre molti riscontri in tal senso e tanti altri se ne potrebbero scoprire attraverso analisi più approfondite che non si limitino alla sola osservazione dei caratteri costruttivi emergenti. Le interazioni infatti si esplicano a più livelli, attraverso la continuità delle murature e degli orizzontamenti di piano e di copertura, chiamando in causa gli elementi strutturali degli organismi edilizi contigui e i sistemi di connessione orizzontali e verticali. In pratica l'edilizia storica raccoglie l'esperienza e le tradizioni costruttive che si sono evolute progressivamente con l'affermazione di tipologie edilizie rispondenti a esigenze funzionali, a criteri di economicità e a requisiti di sicurezza, anche antisismica, che hanno segnato lo sviluppo di tanti borghi antichi, con soluzioni tecniche che si sono perfezionate grazie a continui adattamenti e al superamento di gravose prove di collaudo. Le interazioni fra edifici costituiscono quindi un punto di forza dell'edilizia seriale, che rimanda ai principi di funzionamento delle strutture spingenti, considerate come uno dei principali problemi per la risposta sismica degli edifici, mentre l'esperienza dimostra che, se ben contrastate, queste strutture possono migliorare la risposta sismica grazie allo

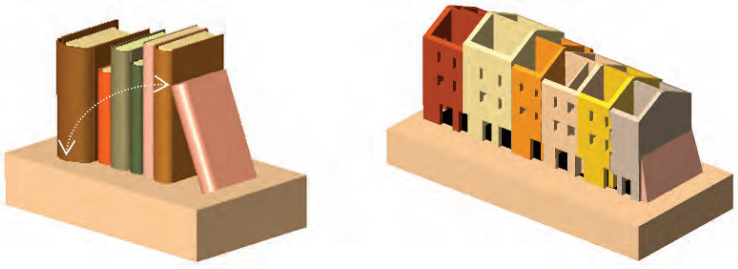


Fig. 3 - Modelli strutturali di aggregati edilizi assimilabili a solidi affiancati a formare un unico organismo edilzio.

Fig. 4 - Archi superstiti fra le rovine di un antico castrum distrutto da eventi sismici a Um ar Rasas, in Giordania (Foto di G. Cangi, 2015).

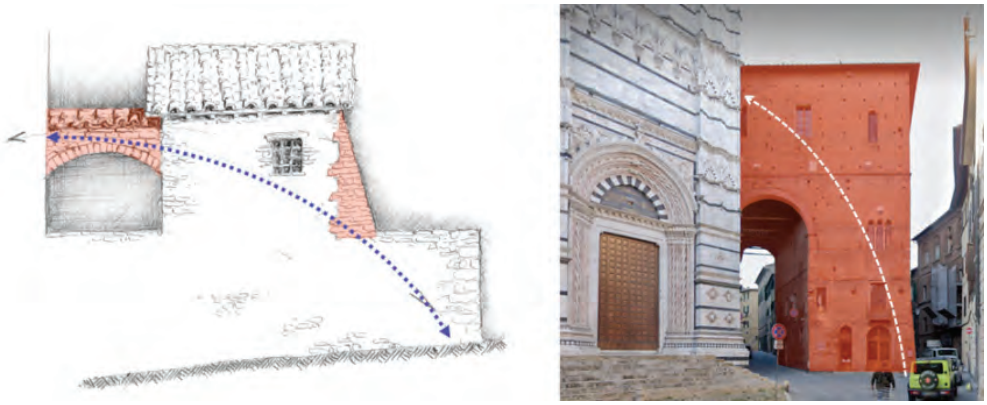


Fig. 5 - Esempi di interazioni fra edifici continui con azione di contrasto: casi rilevabili in strutture ordinarie e nell'edilizia di pregio.

stato di precompressione orizzontale che si genera nelle masse murarie, da cui deriva un forte effetto stabilizzante, come mostrato in Figura 4. Quando il contrasto non è assicurato le strutture diventano vulnerabili a prescindere dagli effetti del sisma e possono subire dissesti già in condizioni di esercizio ordinario.

Gli archi e soprattutto le volte, presenti in modo diffuso nell'edilizia storica, considerati come elementi spingenti dominanti nell'organismo edilizio, possono offrire le migliori prestazioni strutturali proprio in fase sismica, come elementi passivi, quando sono in grado di interagire con gli organismi confinanti. Questa visione si può estendere dalla piccola alla grande scala, ovvero da singoli elementi costruttivi contrapposti all'unione di due o più unità strutturali, fino alla dimensione degli aggregati edilizi e infine alla scala urbana. Gli esempi riportati nelle Figure 5 e 6,

Fig. 6 - Siena, esempi di strutture composte interagenti e articolate secondo la configurazione di pendio: Palazzo del Governo con il Teatro, a sinistra, e modello di case a schiera disposte secondo la massima pendenza, a destra.

riferibili al contesto urbano della città di Siena, rimandano a questo modello interpretativo, che ha guidato la formazione e lo sviluppo del centro storico.

In particolare la Figura 6, dove sono rappresentati due esempi di complessi edilizi che seguono i rispettivi pendii mantenendo una continuità strutturale, a destra pure tipologica, che risponde allo stesso principio volto a garantire il contrasto progressivo dei corpi a valle. Nel caso del Palazzo del Governo di Siena la configurazione è più articolata, facendo capo ad un'edilizia specialistica che comprende il palazzo stesso, il teatro, altri corpi realizzati appositamente per assicurare una continuità strutturale e pure funzionale. Seguono le case poste a valle che chiudono con un edificio speronato. La presenza della torre a monte, che manifesta un comportamento diverso rispetto agli altri edifici, nulla toglie al criterio seguito nella costruzione dei corpi a valle.

Sotto questo aspetto ogni centro storico, a prescindere dalle dimensioni, dalla collocazione e dalla conformazione, costituisce un laboratorio per lo studio delle tecniche costruttive tradizionali e delle soluzioni antisismiche premoderne. Siena, in particolare, è una città storica che combina i caratteri preminenti dell'ambiente urbano con quelli tipici dei piccoli borghi sparsi nel suo territorio, quindi costituisce un esempio fra i più interessanti per comprendere gli effetti delle interazioni che insorgono fra i fabbricati e il suolo su cui si impostano. Sulla risposta sismica influisce infatti anche l'orografia e soprattutto la configurazione di pendio, come fattore di rischio di cui le attuali norme tecniche tengono conto attraverso il coefficiente topografico, cui si aggiungono le caratteristiche stratigrafiche, altrettanto importanti.

Fra le grandi città Siena ha pure la particolarità di occupare una posizione di crinale, per cui nella sua evoluzione ha risentito di questa caratteristica orografica che

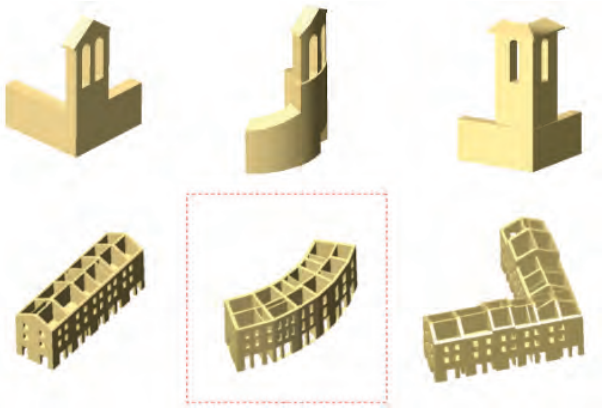


Fig. 7 - Similitudini fra pareti isolate di campanili a vela piana, curva e d'angolo, con aggregati edilizi di forma equivalente.

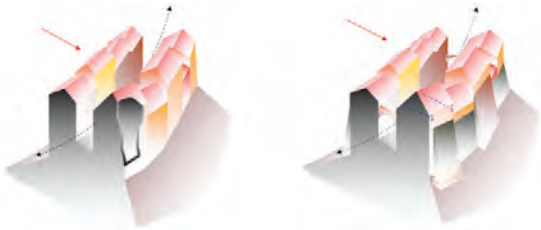


Fig. 8 - Modello di aggregato edilizio esposto ad azioni sismiche ortogonali con dissesto del fronte convesso amplificato dalle condizioni orografiche. Provvedimenti anstisismici per contrasto e trattenuta delle pareti.

la rende simile a tanti centri minori, ma in un contesto che offre un ampio scenario di situazioni e casi di studio. Nei borghi collinari si rileva la tendenza a costruire aggregati edilizi lungo i versanti disposti secondo l'andamento naturale delle curve di livello per fare in modo che gli edifici prospettino sia a monte che a valle su strade piane, collegate da tratti in pendenza lungo le testate; un'alternativa sono gli edifici che seguono le dorsali di massima pendenza, con le case scalate e appoggiate l'una sull'altra fino ad assumere una configurazione d'insieme ad arco rampante. Dal funzionamento degli archi, ovvero dalla forma, gli aggregati edilizi traggono un'altra risorsa di resistenza, come accade per le pareti isolate, nelle quali si attivano gli stessi meccanismi, ma con un salto di scala, si veda la Figura 7. Allo stesso modo la capacità di far fronte alle azioni sismiche orizzontali può essere potenziata o, al contrario, compromessa in relazione alla conformazione planimetrica degli aggregati, lineari o curvi, concavi o convessi, con combinazioni che possono risultare particolarmente gravose nel caso di convessità rivolta a valle del pendio, si veda la Figura 8. Gli effetti

più gravi consistono nel ribaltamento sommitale di estese porzioni dei fronti convessi, meno evidente, o addirittura scongiurato, laddove la concavità favorisce l'innesco di meccanismi resistenti che sfruttano l'effetto diga. In questo caso le cellule edilizie affiancate sono chiamate a lavorare come i conci di un grande arco planimetrico che si estende fino a comprendere l'intero aggregato.

Tecniche antisismiche premoderne

Gli effetti descritti si possono contrastare mediante la realizzazione di speroni e l'inserimento di tiranti di trattenuta che costituiscono i provvedimenti antisismici più comuni e di semplice realizzazione. La notevole diffusione di questi presidi ne testimonia l'efficacia e l'affidabilità; il loro impiego inoltre risponde a criteri di recupero conservativi e si presta alla realizzazione di interventi minimi ma risolutivi, riconducibili a interventi locali secondo le attuali norme tecniche sulle costruzioni.

A questi si aggiungono gli archi di sbatacchio, in Figura 9, che attraverso i vicoli creano una continuità strutturale fra aggregati edilizi prospicienti, fino a costituire un unico organismo edilizio esteso alla scala urbana.

L'impiego degli speroni, o muri a scarpa estesi su ampie porzioni di muri perimetrali, utilizzati nell'opera di consolidamento e prevenzione sismica costituisce una delle soluzioni più efficaci e vantaggiose, per la possibilità di ripristinare la stabilità di pareti fortemente danneggiate e destinate altrimenti alla demolizione. Questi elementi, realizzati mediante apporto di materiale, permettono di recuperare la verticalità dei muri finiti fuori piombo, impedendone il ribaltamento. In questo modo è possibile conservare il muro vecchio anche se il paramento originario viene coperto dalla nuova struttura. L'azione è più efficace se gli speroni sono realizzati con profilo a scarpa. L'esperienza dimostra che la stabilità delle pareti consolidate con speroni migliora sensibilmente solo se questi vengono ingranati nel muro originario, come praticato dai mastri muratori e suggerito dagli architetti del passato. Pietro Ferrari, Architetto Camerale Pontificio di fine '700, coordinatore della ricostruzione in vari

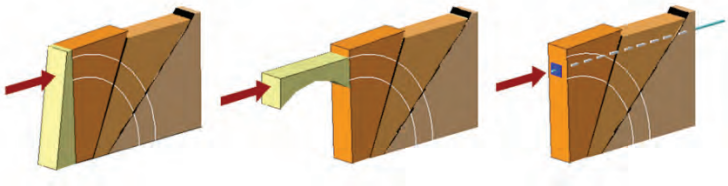


Fig. 9 - Speroni, archi di sbatacchio e tiranti contro il distacco dei cunei di estremità, modello ad archi virtuali

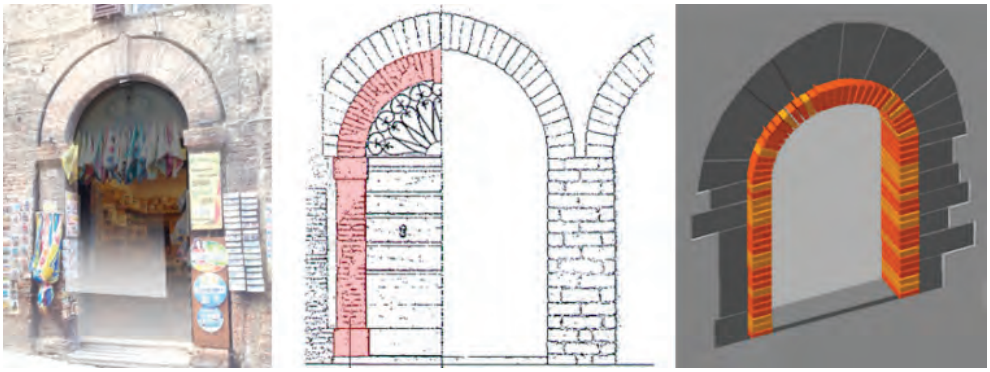


Fig. 10 - Riduzione apertura con arco laterizio di rincalzo. Quando disposto in sovrasquadro il sottarco funziona come uno sperone efficace contro il ribaltamento della parete.

territori del centro Italia, scriveva: «Ove poi trovansi gli Edifizj danneggiati, per essere i muri esterni usciti di piombo, e dal suo sesto, il migliore, ed il più efficace mezzo per restituire alli medesimi la primiera stabilità, e per conservarli lungamente, è quello dello sperone, ossia muro à scarpa, il quale potendosi poco dilatare nelle case delle strade più anguste, dovrassi internare nel muro vecchio, poichè operando lo stesso effetto se ne ritrae anche il vantaggio di avere quasi tutto rinnovato il muro dell'Edifizio» (Archivio Comunale di Città di Castello, 1789).

Un limite degli speroni deriva dal fatto che vanno inevitabilmente a coprire i muri vecchi alterando l'immagine originaria dell'edificio. Di questo problema in genere non si è mai tenuto conto, salvo casi particolari, dove si è cercato di riprodurre paramenti simili a quelli originari con l'impiego degli stessi materiali e attraverso la riproduzione di un apparecchio murario simile. Il risultato si può apprezzare in alcuni fronti degli edifici di Siena riparati e consolidati nel XIX secolo, che ripropongono finiture tipiche della tradizione rinascimentale.

Fra gli interventi meno invasivi che rispondono allo stesso principio e permettono di conservare i paramenti originali vi sono gli archi di rincalzo realizzati in sovrasquadro, quindi sporgenti rispetto al filo della parete originaria. Costituiscono elementi inseriti all'interno di aperture esistenti, che di conseguenza vengono ridotte parzialmente, dai quali si trae anche il beneficio di una migliore risposta sismica alle azioni complanari, come mostrato in Figura 10.

Gli archi di sbatacchio posti a cavallo delle vie per collegare edifici prospicienti sono una chiara espressione della ricerca finalizzata ad assicurare continuità strutturale fra organismi edilizi diversi, per creare una catena che tiene assieme edifici altrimenti indipendenti e che trova il punto di forza nel comportamento d'insieme. Questi caratteristici presidi antisismici premoderni, in Figura 11, lavorano per contrasto come gli

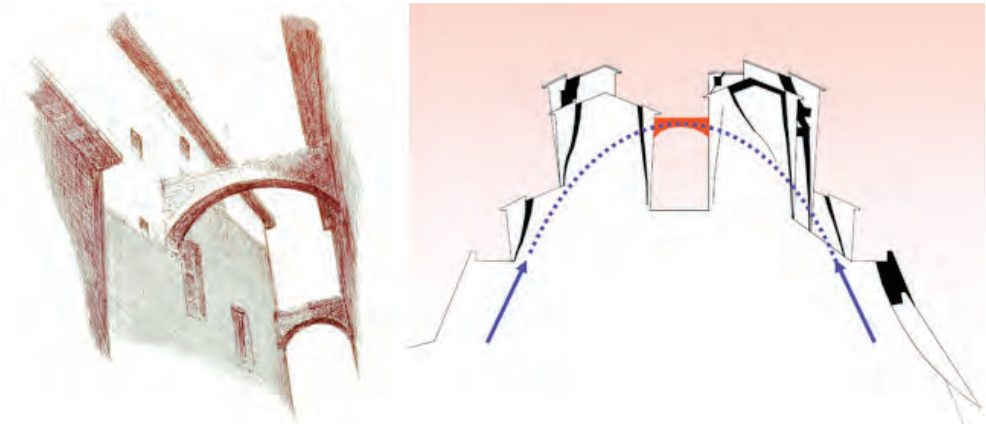


Fig. 11 - Archi di sbatacchio fra edifici contrapposti come chiavi ideali di archi globali, estesi ai pendii opposti attraverso le masse dei fabbricati.

speroni, ma con meccanismi diversi attraverso contatti puntuali. Sono particolarmente utili in corrispondenza dei vicoli più stretti, dove si crea la minima distanza fra i fabbricati; per funzionare al meglio vanno realizzati fra muri complanari, per cui sono posizionati di regola all'imbocco delle vie per unire pareti di facciata allineate. L'evoluzione di questa tecnica ha permesso di risolvere anche problemi distributivi, funzionando come elementi di collegamento fra fabbricati, quindi trasformati in ballatoi o logge coperte, con soluzioni raffinate anche sotto l'aspetto architettonico.

Fra i presidi tradizionali i tiranti sono quelli che trovano ancora applicazione, a differenza degli archi di sbatacchio e degli speroni, caduti in disuso. I dispositivi resistenti a trazione sono utilizzati per contrastare il ribaltamento delle pareti perimetrali, quando disposti in senso ortogonale, ma servono soprattutto a migliorarne la risposta sismica nel piano, se disposti in direzione complanare. Il tirante, o catena, è inteso generalmente come una barra metallica fissata a due chiavi di estremità poste a contrasto dei muri. In realtà a questa categoria appartengono tutti gli elementi resistenti a trazione, come i radiciamenti lignei o "travi morte" utilizzati nelle murature "animate", inglobate nelle pareti e vincolate alle estremità mediante chiavi metalliche. Soluzione simile a quella utilizzata per far funzionare le travi dei solai come tiranti e analoga è quella utilizzata in Medio Oriente con impiego di pietre ingranate per formare una catena per la trattenuta dei cantonali, in Figura 12.

Ogni singolo presidio strutturale fra quelli descritti è in grado di migliorare la risposta sismica locale degli edifici, ma è dalla loro combinazione e dall'estensione all'intera fabbrica che deriva un reale miglioramento del comportamento d'insieme. Questo perché gli speroni mentre sono efficaci alla base dei fabbricati, ai piani alti soffrono l'assenza di uno stabile confinamento. La soluzione ottimale consiste nella combina-

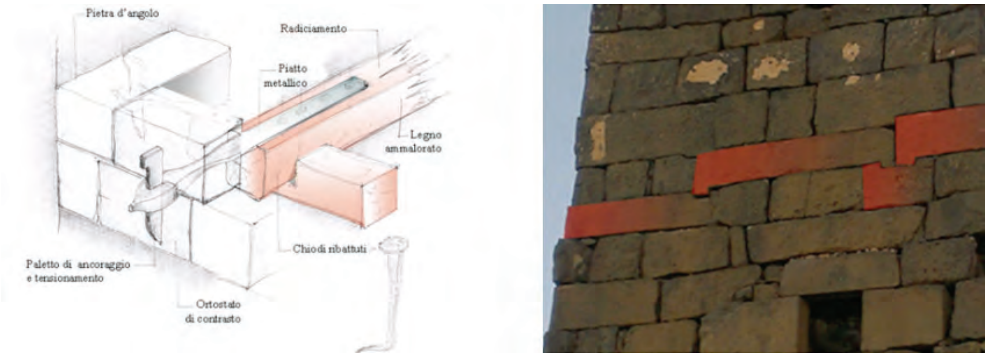


Fig. 12 - Presidi antisismici di trattenuta costituiti da radicamenti lignei inseriti nelle murature a L'Aquila, a sinistra, e incatenamenti in pietra di basalto utilizzati in Medio Oriente, a destra.

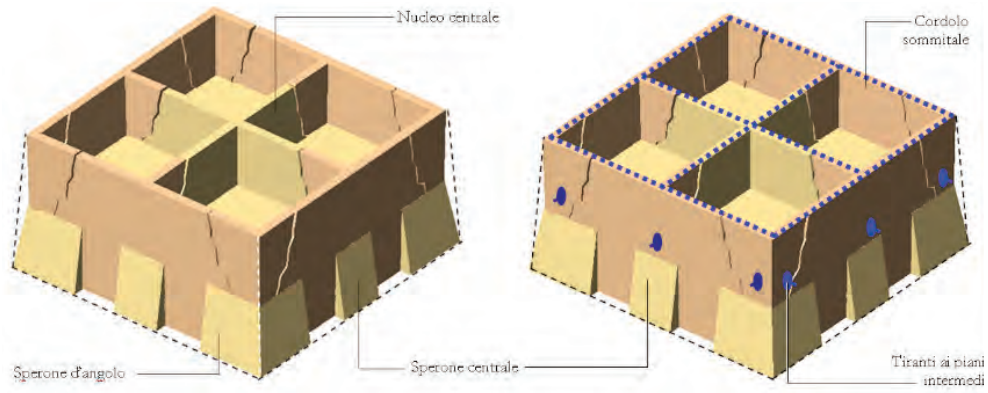


Fig. 13 - Contenimento della scatola muraria mediante speroni centrali e d'angolo integrati con elementi di trattenuta disposti ai livelli intermedi e a coronamento.

zione di elementi di contrasto collocati alla base degli edifici e di tiranti posizionati in quota, come in Figura 13, secondo una regola pratica che ha permesso di preservare gran parte del patrimonio edilizio storico da danni gravissimi e irreparabili.

Conclusioni

La storia delle costruzioni insegna che le regole costruttive antisismiche tradizionali, tuttora utilizzate, sono dettate sostanzialmente dall'intuito e sono frutto dell'esperienza, come risultato di una maturazione lenta che ha consentito correzioni e adattamenti progressivi. Il pregio di queste soluzioni deriva dal fatto che prevedono

Fig. 14 - Confronto fra un dipinto del XVII secolo e l'immagine fotografica di un cantiere di fine '800, indicativo del permanere delle tecniche costruttive e cantieristiche.

l'impiego degli stessi materiali utilizzati nella costruzione primitiva e gli stessi criteri di posa in opera, quindi del tutto compatibili con l'esistente e in grado di integrarsi sia sul piano estetico, sia sotto l'aspetto funzionale e delle prestazioni meccaniche. Ne risultano edifici caratterizzati da una stratificazione di interventi che, sebbene di epoche diverse e riconoscibili, si integrano fra loro senza togliere alla costruzione la sua identità originaria, come nelle immagini in Figura 14.

Queste caratteristiche e qualità possono essere compromesse nel cantiere moderno a causa di interventi invasivi, condotti con materiali non compatibili con quelli tradizionali e non sufficientemente sperimentati, oltre che per l''impiego di tecniche che snaturano la costruzione e che si riflettono anche sul comportamento strutturale.

La tradizione insegna infatti che la prevenzione sismica nell'edilizia storica è perseguibile adottando poche regole, elementari ma di provata efficacia, senza rinunciare alle moderne tecnologie, da sfruttare comunque in modo consapevole, recuperando anche quell'approccio pratico che in passato guidava il progetto e l'attività di cantiere. Regole dell'arte come quelle richiamate nel decalogo di norme riportate nella scheda qui di seguito, riferita ai provvedimenti prescritti per la riparazione e il consolidamento degli edifici danneggiati dal forte terremoto che colpì gli abitati di Citerna e Monterchi il 26 aprile 1917, cui seguirono provvedimento da parte del competente Ufficio del Genio Civile di Arezzo.

CORPO REALE DEL GENIO CIVILE

Ufficio speciale per il servizio terremoto di VILLE MONTERCHI (Arezzo)

DISPOSIZIONI
e norme tecniche da osservarsi per le riparazioni da eseguire nelle località danneggiate dal terremoto del 26 Aprile 1917.

——— – ———

Per le riparazioni i proprietari degli stabili dovranno seguire le sane regole dell'arte in modo da ridurre il fabbricato in condizioni di stabilità soddisfacente.

Più particolarmente saranno da osservarsi le seguenti norme:

1) Le volte esistenti saranno tollerate a condizione espressa che non siano lesionate o siano impostate su muri lesionati o strapiombati e purché sia provveduto ad eliminare le spinte con l'apposizione di robuste catene o chiavi tiranti.
2) Al posto delle volte spingenti saranno sostituiti, specie negli ultimi piani, impalcati o soffitti piani.
3) Le scale dovranno possibilmente poggiare sopra due muri; in caso contrario debbono poggiare sopra intelaiature di legno o di ferro o di cemento armato.
4) I tetti dovranno essere resi non spingenti con l'apposizione di opportune catene.
5) Le condotte e le canne di scarico di qualsiasi specie dovranno essere disposte in modo da non intaccare le murature, ma da permettere anzi l'integrazione ove l'indebolimento sia avvenuto.
6) Gli edifici lesionati dovranno essere rinforzati da collegamenti di ferro orizzontali all'altezza dei diversi piani e a quella della gronda.
7) Le murature comunque lesionate che presentano strapiombo eccezionale da non poter essere ricondotte verticali con l'uso di chiavi e tiranti di ferro, dovranno essere demolite, quelle invece che non presentino i caratteri anzidetti dovranno essere riparate riprendendone la costruzione per ciascuna lesione con muratura da farsi esclusivamente con buona malta, fino ad immorsarsi con profondi attacchi con la parte sana.
8) Le travature dei solai dovranno, almeno ogni tre, poggiare su tutta la grossezza dei muri ed essere collegate con il telaio di consolidamento ove esiste.
9) I soffitti ed i rivestimenti dei solai da rifarsi, dovranno formarsi con materiali leggeri quali tele, assicelle, cartone, lastre sottili, reti metalliche, canne schiacciate e simili.
10) Le nuove murature in luogo di quelle demolite dovranno essere fatte con buona malta e mattoni ovvero pietrame, rimanendo esclusi i ciottoli arrotondati.

Si avverte infine che ciascun proprietario prima di procedere ai lavori di riparazione dovrà renderne edotto l'Ufficio del Genio Civile al quale presenterà la descrizione dettagliata dei lavori che intende di fare i quali saranno dall'Ufficio stesso sorvegliati.

Ville Monterchi, 5 Giugno 1917.

Fonti archivistiche

Archivio Comunale di Città di Castello, 1789 - Rapporto sul terremoto del 30 Settembre 1789.

Bibliografia

Cangi G. 2014. Tecniche antisismiche nell'antichità. In: *Atti del VII Convegno Nazionale A.R.Co.* (a cura di A. Centroni e M.G. Filetici), Roma, ottobre 2013. Roma: Gangemi Editore.

Giuliani C.F. 2006. *L'edilizia nell'antichità*. Roma: Carocci Editore.

Raffaele Mauro, Anna Maragno

La concezione dell'andamento plano-altimetrico delle strade: dal modello ferroviario a quello odierno

The plano-altimetrical road alignments: from the railway model to today's model

Sommario
Nel lavoro, dopo brevi richiami introduttivi sul nastro viario, si ripercorre per punti salienti l'evoluzione dei criteri di progetto della geometria stradale, illustrando, dalle iniziali impostazioni di tipo ferroviario ai risultati attuali, come si sono configurati nel tempo i principi per il proporzionamento e la verifica del tracciato orizzontale e del profilo longitudinale dell'asse, nonché le indicazioni per il loro mutuo coordinamento, in vista di un esercizio viario funzionale e sicuro.

Abstract
This paper delineates the milestones in the evolution of road geometry design criteria. It presents the progression over time of the principles for proportioning and verifying the horizontal and longitudinal alignments, as well as their coordination (from the initial railway-type approaches to the current results).

Introduzione
La progettazione geometrica di una strada consiste nello studio del nastro stradale e delle interconnessioni rappresentate dagli incroci con altre strade (Esposito *et al*., 2022).

Il nastro stradale, in Figura 1, è costituito, nel caso più generale, da superfici rigate che si appoggiano a un asse e, pertanto, per ovvie ragioni pratiche, l'asse e la sezione trasversale della via si studiano separatamente. Nel seguito di questa nota si tratterà solo dell'evoluzione dei criteri ideativi dell'andamento plano-altimetrico dell'asse, in genere una linea non piana come mostrato sempre in Figura 1, il cui studio viene a sua volta suddiviso, sempre per ragioni pratiche, in quello relativo all'andamento planimetrico e quello relativo all'andamento altimetrico.

L'andamento planimetrico, detto anche tracciato orizzontale, è definito come la proiezione dell'asse della strada su un piano orizzontale, si vedano le Figure 1 e 2; riportato su una carta a quote di livello e opportunamente completato con il disegno

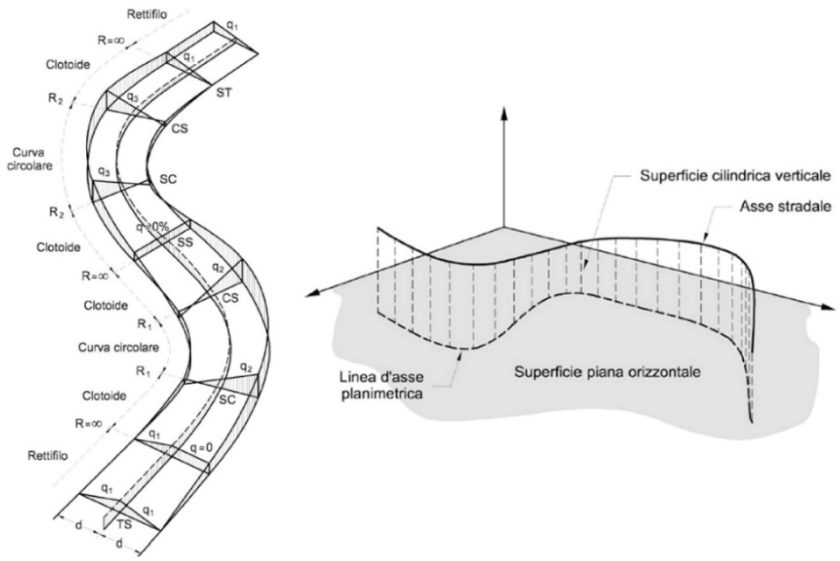


Fig. 1 - Il nastro stradale, a sinistra, e l'andamento plano-altimetrico, a destra (Esposito *et al*., 2022, p. 156).

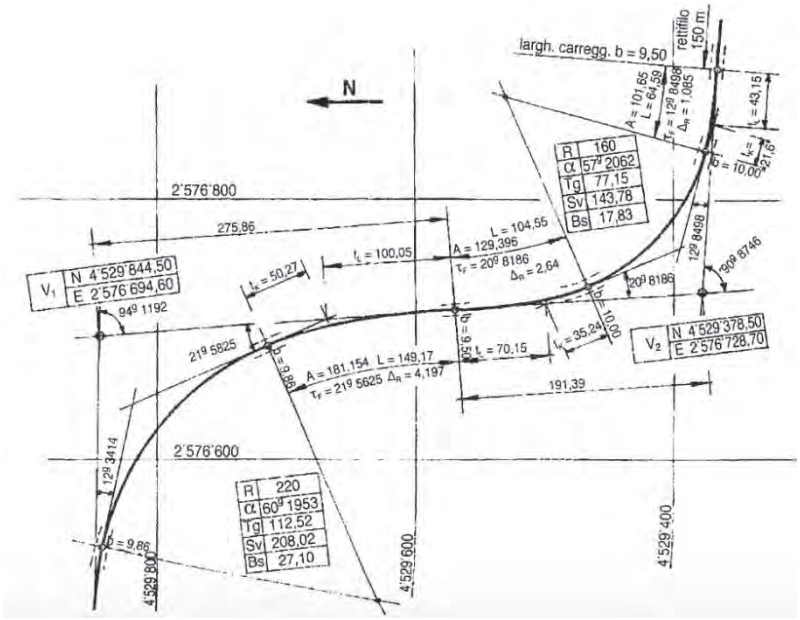


Fig. 2 - Andamento planimetrico e planimetria di tracciamento (Ferrari e Giannini, 1991, p. 322).

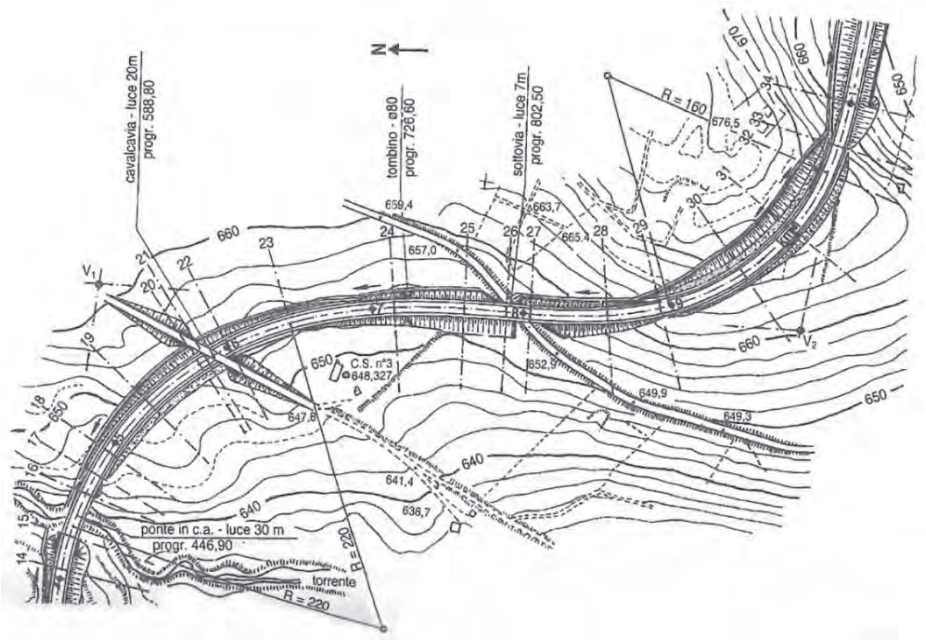


Fig. 3 - Planimetria di una strada a curve di livello (Ferrari e Giannini, 1991, p. 322).

in pianta delle sezioni trasversali che su di esso insistono dà poi luogo alla planimetria dell'infrastruttura, in Figura 3.

L'andamento altimetrico, detto anche profilo longitudinale, è la linea piana nella quale si trasforma l'asse stradale disegnato su una superficie cilindrica a generatrici verticali, avente per direttrice il tracciato orizzontale quando tale superficie viene sviluppata su di un piano, operando una rettificazione. Insieme all'asse stradale viene anche disegnata l'intersezione della superficie cilindrica con il terreno sul quale insiste la via, in modo da evidenziare in ogni punto del tracciato la posizione dell'asse rispetto al terreno; si veda la Figura 4.

È evidente che, anche se studiati separatamente, l'andamento planimetrico, l'andamento altimetrico e la sezione trasversale della strada formano un tutt'unico, appunto il nastro stradale in Figura 1 e devono quindi essere opportunamente coordinati e armonizzati tra di loro, così da pervenire a una soluzione, oltre che sicura, anche funzionale e confortevole per gli utenti della strada ed esteticamente valida.

Infine, va ricordato che l'andamento plano-altimetrico e l'ampiezza della piattaforma di una strada sono da sempre influenzati dalla orografia e dalla costituzione geologica dei siti interessati dalla infrastruttura. Ormai da molto tempo anche altri fattori influenzano il progetto geometrico di una via e, tra di essi, risultano fondamentali la domanda di mobilità relativa alla strada, le velocità dei veicoli e quelle

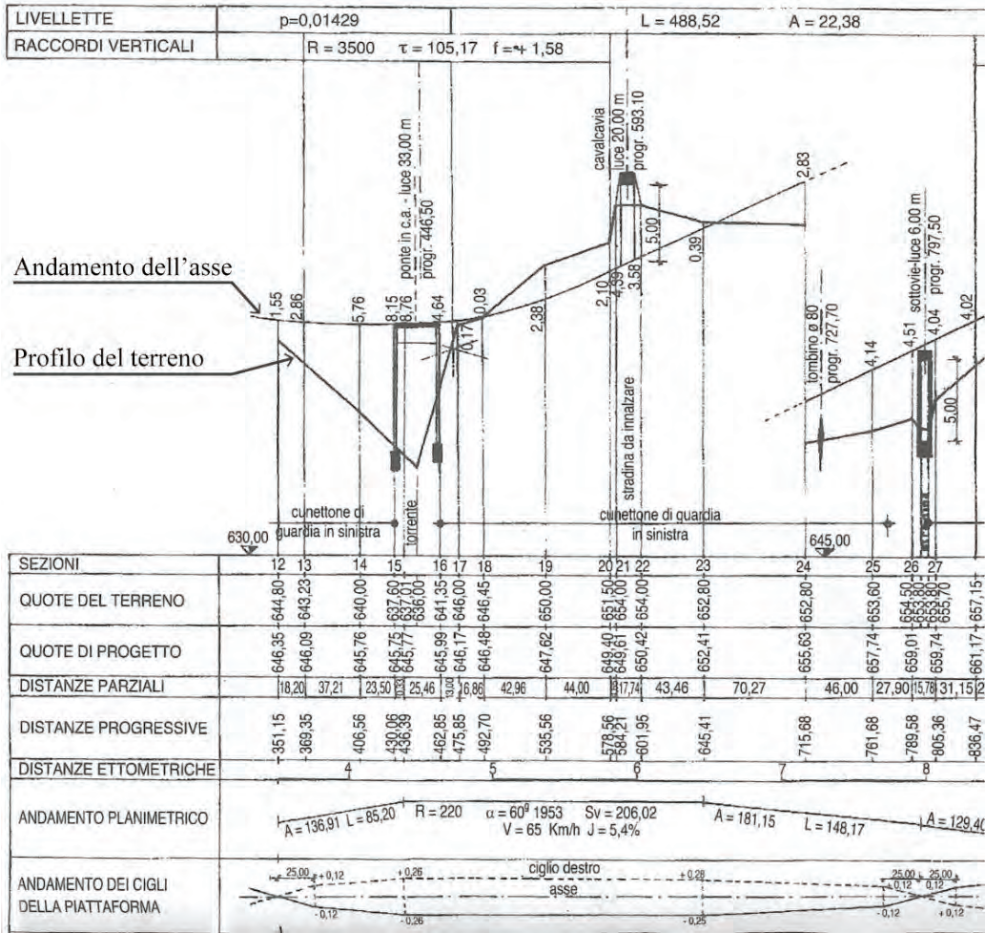


Fig. 4 - Andamento altimetrico (Ferrari e Giannini, 1991, p. 322).

attuate dagli utenti e il grado di sicurezza che si intende conferire alla circolazione. La considerazione di tutti i fattori appena richiamati è alla base delle regole di buona progettazione delle strade, da condurre in osservanza delle Norme di settore che disciplinano il proporzionamento e la verifica del tracciato e dei suoi singoli elementi geometrici in termini, ad esempio, di rettifili, curve circolari e di transito e raccordi.

Evoluzione della concezione dell'andamento planimetrico delle strade

Come viene ricordato in (Ferrari e Giannini, 1991, pp. 40-41): «[…] da quando i romani introducono il raccordo circolare tra due rettifili la geometria delle strade non subisce evoluzione alcuna per secoli; neppure l'introduzione dei primi veicoli

stradali a motore modifica la progettazione stradale, per cui può dirsi che lo studio planimetrico dei tracciati in senso moderno inizia in campo ferroviario».

Intanto, tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, si assiste a progressi via via crescenti per l'autoveicolo, sia come diffusione, sia come prestazioni. Emerge, quindi, la necessità di progettare razionalmente la geometria della strada e, per farlo, si adottano gli stessi criteri utilizzati per la Ferrovia.

L'impostazione permane nella pratica tecnica per lunghi anni, dando luogo, quando possibile, a tracciati con lunghi rettifili raccordati da curve circolari, come mostrato in Figura 5. L'ampiezza dei raggi di queste ultime è determinata dalle caratteristiche morfologiche locali dei siti attraversati e comunque, in presenza di zone orograficamente difficili, per contenere i costi di costruzione si continuano a concepire tracciati tortuosi con forti pendenze.

Si perviene così alla metà degli anni '30. L'esercizio viario, con l'aumentata velocità dei veicoli, necessita, per la sicurezza degli utenti, di strade concepite diversamente dal modello ferroviario fino ad allora seguito; la ragione di questa scelta risiede nelle differenze tra il trasporto su ferro e quello su strada. Il sistema ferroviario è, infatti, a guida vincolata a causa del binario e a marcia predeterminata, un tempo da una tabella, oggi da un segnale continuo in cabina. Il sistema stradale è, invece, a guida e a marcia libere, perché stabilite dal conducente che le determina in base alla percezione che via via ha dell'andamento e dello stato della strada che sta percorrendo in date condizioni ambientali. Per iniziare a tenere conto di queste questioni, nel 1936 negli USA, e quasi contemporaneamente in Germania, viene introdotta la velocità di progetto (FHWA, 2009, p. 9), un parametro con il quale calcolare i valori limiti della maggior parte degli elementi geometrici del tracciato quali raggi di curve, pendenze e distanze di visibilità. Tutto ciò costituisce una innovazione notevole perché con essa inizia la progettazione geometrica dell'asse riferita alla grandezza più importante della circolazione e non solo a considerazioni economiche e costruttive come avvenuto fino a questo momento.

Dall'immediato secondo dopoguerra, sempre con l'intento di migliorare la sicurezza dell'esercizio viario, i tecnici stradali danno ormai come risultato acquisito che il comportamento del conducente, cioè la velocità da mantenere sui diversi elementi del tracciato, le accelerazioni e i rallentamenti, gli devono essere progressivamente suggeriti dall'andamento stesso della strada. In questa direzione, risultano significative le ricerche effettuate a partire dalla fine degli anni '40 per individuare il tipo più idoneo di curva di transito da inserire nei tracciati planimetrici al fine di raccordare rettifili e curve circolari e anche curve circolari con altre curve circolari, cioè i raccordi di continuità e di flesso. Gli elementi planimetrici di transizione servono per ottenere, nell'inserzione dei veicoli in curva, da un lato traiettorie regolari e continue, dall'altro l'applicazione graduale della forza centrifuga per evitare il contraccolpo e, quindi, in linea di principio, una marcia più confortevole e più sicura.

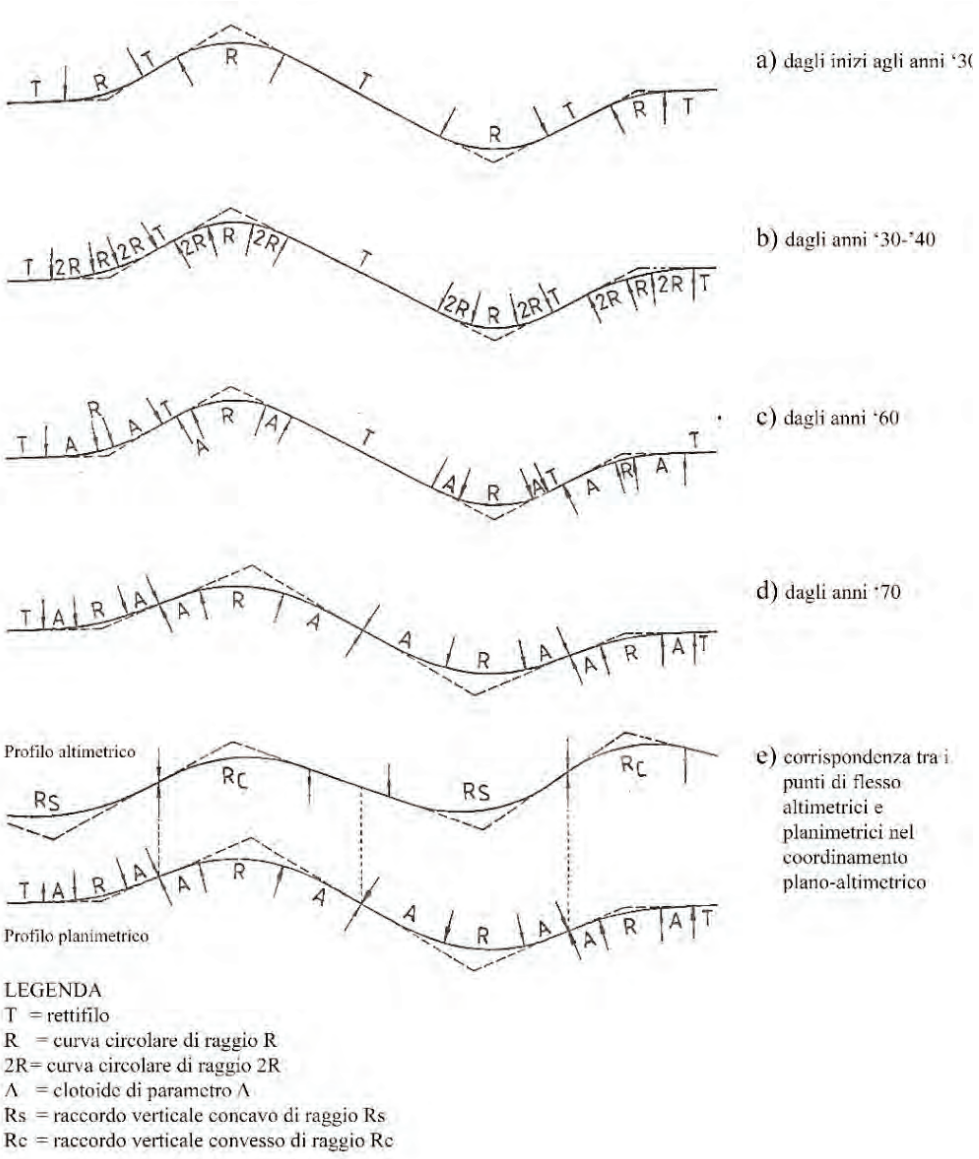


Fig. 5 - Sviluppo nel tempo della concezione del tracciato stradale (disegno a cura degli Autori).

In definitiva, dagli inizi degli anni '60, dopo accurate comparazioni tra tutte le curve di transito via via proposte e adottate nelle applicazioni progettuali concrete, dapprima le policentriche a tre centri, poi le clotoidi e infine le spirali di Searles (Bolis, 1969, pp. 72-84), si impone la clotoide, che risulta ancora oggi la curva di transito di fatto universalmente utilizzata, se non l'unica, e prevista nelle normative di settore di molti Paesi.

Nello stesso periodo, in esito alla grande mole di studi condotti in prosecuzione con quelli già avviati negli anni '30 sulle relazioni tra conducente, veicolo e via, si perviene a riconoscere nella geometria delle curve planimetriche, ovvero nel raggio, nello sviluppo e nelle pendenze trasversali, gli unici elementi in grado di condizionare il conducente e indirizzarlo verso una condotta di guida sicura.

Si giunge quindi, negli anni '70, alla proposta di adozione di tracciati a curvatura continua, si veda ancora la Figura 5, eliminando pressoché del tutto i rettifili. Un tal modo di procedere può essere accettabile per le strade a doppia carreggiata ma non può, in genere, essere adottato per le strade a due corsie con doppio senso di marcia, per i motivi che saranno specificati nel seguito. L'assenza di rettifili peggiorerebbe, così, la qualità della circolazione e molto spesso aumenterebbe il rischio di incidenti. In base a queste considerazioni, per le strade a carreggiate separate è stata rivista l'impostazione di tracciato planimetrico a curvatura continua, ritenendo oggi possibile l'introduzione, dove necessario per la qualità e la sicurezza della circolazione, di rettifili di idonea lunghezza, funzione della velocità di progetto, così come indicato in genere dalle norme di settore.

Dagli anni '90, infine, sempre per aumentare la sicurezza, si propone di determinare gli elementi che maggiormente possono influenzarla, ad esempio visuali libere e sopraelevazioni in curva, tenendo in conto il comportamento dell'utente tipo e riferendosi, quindi, alla cosiddetta V_{85}, definita come la velocità superata dal 15% degli utenti (Esposito *et al*., 2022, pp. 68-70; 279-290).

In Figura 5 è consegnata schematicamente l'evoluzione nel tempo dei criteri compositivi dell'andamento planimetrico dell'asse stradale, come finora ricordata.

Evoluzione storica del progetto altimetrico delle strade

Come mostrato in Figura 4, il profilo longitudinale dell'asse stradale è generalmente costituito da una successione di tratti rettilinei, detti livellette, e di tratti curvi, detti raccordi verticali. Questi ultimi, a seconda che risultino convessi o concavi, se osservati dal basso verso l'alto, per significative differenze di pendenze tra le livellette raccordate, vengono anche rispettivamente detti dossi o sacche.

Anche per il profilo longitudinale, come per quello orizzontale trattato al punto precedente, in principio i criteri di progetto sono mutuati dalla costruzione delle ferrovie. In esse il profilo longitudinale, tra l'altro per i rapporti tra peso del convoglio e potenza degli apparati di trazione, si contraddistingueva, e ancora oggi si contraddistingue, per

valori molto bassi, dell'ordine dei per mille, delle pendenze dei tratti rettilinei. Questi ultimi, con i raccordi verticali, compongono il profilo longitudinale del tracciato. È evidente che fino all'avvento della motorizzazione, per strade ordinarie prevalentemente percorse con mezzi a trazione animale con scarsi volumi di traffico, l'adozione di una tale impostazione risulta spesso economicamente onerosa e assai poco agevole sul piano costruttivo, specie se le vie sono impiantate in contesti orograficamente difficili. Con l'avvento della motorizzazione di massa e con l'aumento delle prestazioni dei veicoli si possono ammettere per le livellette pendenze ben maggiori di quelle specifiche ferroviarie, dell'ordine dei per cento. Inoltre, per il proporzionamento dei raccordi verticali, si assume la necessità che, in prossimità di essi siano sempre disponibili per i dossi le visuali libere per l'arresto e, lì dove richiesto, per il sorpasso; per le sacche deve essere assicurata la salvaguardia dagli abbagliamenti.

In definitiva, l'idea di organizzare l'andamento altimetrico con una successione di livellette raccordate da opportuni archi di cerchio o di parabola non subisce variazione ideativa dagli inizi fino agli anni '30 del Novecento, se non per la sostituzione dei criteri di puro raccordo geometrico tra le livellette da attuarsi con raccordi verticali, con gli indispensabili requisiti relativi alla disponibilità di idonee visuali libere in grado di assicurare condizioni di sicurezza e di comfort nell'esercizio della strada.

In questa direzione, già nel 1939, venivano definiti criteri e modelli di calcolo ancora oggi validi e universalmente recepiti nelle normative nazionali di settore per il progetto del profilo altimetrico delle strade (Kissam, 1929, pp. 89-109).

Il progetto geometrico delle strade

Per quanto fin qui detto, la definizione separata del tracciato planimetrico e altimetrico dettata da evidenti ragioni pratiche può non condurre, sul piano funzionale a soluzioni soddisfacenti in termini di qualità dell'esercizio viario e sicurezza, anche se si sono rispettati a pieno i criteri e le procedure di calcolo indicati dalle norme e dalle regole della buona progettazione. Infatti, l'asse stradale è una linea che si sviluppa nello spazio, presentando a tratti una doppia curvatura, e non va quindi trascurata la circostanza che chi guida non osservi il solo asse, quando è materializzato dalla striscia della segnaletica orizzontale, ma l'intero nastro stradale. Una sfavorevole combinazione degli elementi plano-altimetrici può dar luogo a difetti di percezione ottica di vario tipo che possono essere solo esteticamente criticabili, ma a volte anche potenzialmente pericolosi in quanto l'utente attinge le informazioni che determinano la sua condotta di guida in parte dalla segnaletica, ma prevalentemente dall'andamento del nastro stradale quale gli appare nella visione prospettica che si forma nel piano sul quale è focalizzato il suo sguardo. Quando queste informazioni risultano inesatte o, peggio, vengono addirittura a mancare, possono verificarsi comportamenti di guida incerti o errati, con obiettive condizioni di insicurezza e rischio di incidenti. A partire dagli anni '60 queste situazioni, note in Ingegneria stradale come problemi di

coordinamento plano-altimetrico, appaiono ai tecnici del settore stradale ben chiare e di sicura rilevanza applicativa: così, nel giro di meno di un decennio i problemi di coordinamento plano-altimetrico sono inquadrati e risolti con semplici procedure di verifica, come il criterio della corrispondenza tra i punti di flesso planimetrici e altimetrici, si veda la Figura 5. Già in tale periodo, il modo migliore per risolvere i problemi predetti è individuato nella costruzione delle prospettive dinamiche: si tratta, in effetti, di disegnare le prospettive relative allo spazio di moto, cioè nastro stradale e contesto circostante, come appaiono a chi guida, tenendo conto della sua velocità. Infatti, la distanza del piano di focalizzazione delle immagini, in base alla fisiologia della visione, aumenta con la velocità di chi guarda, mentre diminuiscono gli angoli della visione distinta e periferica. Tra gli anni '60 e '70 il disegno delle prospettive dinamiche è reso possibile da una serie dettagliata di indicazioni operative spesso contenute nella trattatistica tecnica di settore, ad esempio in (Kraemer *et al*., 2003, pp. 215-226). A partire dalla fine degli anni '90, la costruzione delle viste prospettiche dinamiche e, anche, la percorrenza virtuale della via in progetto sono rese possibili da codici di calcolo del progetto stradale, da subito di ampia diffusione e implementabili su *personal computer*.

Altro aspetto di particolare rilievo che incide sulla sicurezza e sul comfort degli occupanti del veicolo è la regolarità della marcia, nota internazionalmente come *consistency*: è opportuno, cioè, che i diversi elementi del tracciato che si susseguono siano dimensionati in modo da non dar luogo a variazioni di velocità eccessive nel passaggio da un elemento al successivo. Anche i problemi connessi alla regolarità di marcia sono, già dalla fine degli anni '60, ben presenti agli studiosi dell'Ingegneria stradale. A quell'epoca, infatti, risale la introduzione, come valido strumento solutorio di tali problemi, del modello denominato "diagramma di velocità", la cui costruzione, già dagli anni Settanta, trova indicazioni nelle normative di molti Paesi industrializzati (La Camera, 1985, pp. 253-269). Anche per i diagrammi delle velocità sono disponibili codici di calcolo come moduli di programmi commerciali di progettazione geometrica delle strade, di caratteristiche e dai nomi commerciali facilmente reperibili in rete.

Va infine ricordato come, sempre dalla fine degli anni '60, è ritenuto necessario che il controllo del tracciato avvenga anche con la costruzione di diagrammi di visibilità, uno per ogni senso di percorrenza della strada, con i quali porre a confronto le visuali libere richieste per la sicurezza della marcia e quelle realmente disponibili lungo il tracciato. Infatti, la distanza di arresto va assicurata in ogni sezione trasversale per tutti i tipi di strada, mentre la visibilità per il sorpasso va garantita, nella maggior misura possibile, per le sole strade a due corsie dove è quasi sempre impossibile in curva. Sia la distanza di arresto che quella per il sorpasso si valutano in funzione della velocità, deducendo quest'ultima, in ogni punto dell'asse, dal diagramma delle velocità.

Egualmente importante è la determinazione della visibilità disponibile, che è la distanza alla quale il conducente riesce a percepire un ostacolo che si trova nella traiettoria della sua marcia, o ne limita le visuali disponibili lungo curve planimetriche o in corrispondenza di raccordi verticali convessi, dossi. Fino agli inizi degli anni '80 anche i diagrammi di visibilità venivano determinati con metodi grafici di tipo manuale, poi sostituiti dal disegno con il CAD, fino alla situazione odierna, dove i diagrammi di visibilità, come le prospettive dinamiche e i diagrammi di velocità, vengono forniti direttamente da codici di calcolo dedicati al progetto geometrico delle strade.

L'evoluzione dei criteri di progetto dell'andamento plano-altimetrico delle strade, sinteticamente trattato in questa nota, può essere dettagliatamente ripercorso consultando le successive versioni delle norme di settore dei diversi Paesi, spesso reperibili in rete. Fondamentale per la ricognizione in oggetto risulta il Green Book dell'AASHTO nelle sue sette edizioni dal 1954 al 2018 (AASHTO, 2018).

Attualmente, l'implementazione di tecnologie informatiche in tutto l'ambito dei trasporti e gli sforzi industriali in campo automobilistico per la produzione dei veicoli automatici lasciano intravvedere un'ulteriore rivoluzione anche nel progetto e nella ideazione delle infrastrutture stradali in vista dell'attuazione della "strada automatica", l'*automated highway* (Guerrieri *et al*., 2021).

Questi argomenti non sono giunti ancora a un livello di maturazione tale da poter essere oggetto di una completa trattazione sistematica utile ai fini pratici per i tecnici del settore stradale. Per questo motivo, tali argomenti non sono stati affrontati in questo lavoro.

Conclusioni

Lo studio razionale del tracciato viario nasce con la Ferrovia ed i criteri per esso elaborati vengono poi adottati per un lungo periodo anche per la definizione della geometria stradale. Questo periodo si estende dalla nascita del fenomeno della circolazione autoveicolare al suo primo sviluppo.

Poi, dagli anni '30 del secolo scorso, in seguito all'aumento delle prestazioni dei mezzi, in particolare delle velocità, si constatano sempre di più le differenze tra il trasporto su ferro e quello su strada.

Ne segue l'emancipazione della concezione plano-altimetrica delle strade dal modello ferroviario.

Nella stessa epoca iniziano in diversi Paesi numerose ricerche, teoriche e osservazionali, sui rapporti tra conducente, veicolo e via.

Dal secondo dopoguerra, grazie ad una continua attività di studio e a significative esperienze progettuali e realizzative, si assiste a progressivi perfezionamenti nei principi ideativi della geometria stradale, fino ai risulti attuali, finalizzati alla concezione di tracciati in grado di condizionare i conducenti e indirizzarli verso una guida confortevole e sicura.

Infine, gli attuali sviluppi della *automated highway* non permettono ancora di valutare il ruolo della geometria delle strade, nella sua possibile ulteriore evoluzione, per la configurazione del sistema.

Bibliografia

AASHTO. 2018. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Green Book, edizioni dal 1954 al 2018. Washington D.C.: AASHTO.

Bolis B. 1969. *Progettazione e costruzione delle strade*. II edizione. Milano: Touring Club.

Esposito T., Mauro R., Corradini M. 2022. *La progettazione geometrica delle strade*. Roma: Edizioni Efesto.

Ferrari P., Giannini F. 1991. Ingegneria stradale. In: *Geometria e progetto di strada*. 1. Torino: ISEDI.

FHWA. 2009. *Speed Concepts: Informational Guide*.

Guerrieri M., Mauro R., Pompigna A., Isaenko N. 2021. Road Design Criteria and Capacity Estimation Based on Autonomous Vehicles Performances. First Results from the European C-Roads Platform and A22 Motorway. Transport and Telecommunication Journal, 22(2), 2, 230-243.

Kissam P. 1929. *Highway curves*. New York: John Wiley and sons.

Kraemer C. et al. 2003. *Ingeniería de carreteras*. I. Madrid: Mc Graw Hill.

La Camera F.M. 1985. *Il calcolo del progetto stradale*. I. Roma: ESA.

Maria Teresa Como

La costruzione di architetture centriche a inizio Cinquecento: geometria sottesa e dettagli costruttivi nelle cappelle Caracciolo di Vico e di Caterina Pignatelli

The construction of central plan architecture in the early 16th century: underlying geometry and construction details in the Caracciolo di Vico and Caterina Pignatelli chapels

Sommario
Il contributo mette in luce ricchezza e difficoltà esecutiva dell'apparato architettonico in forme complesse delle due cappelle napoletane di inizio Cinquecento, la monumentale rinomata Cappella Caracciolo di Vico nella chiesa di San Giovanni a Carbonara e la piccola meno nota Cappella per Caterina Pignatelli nella chiesa di S. Maria Assunta dei Pignatelli. La lettura della geometria sottesa, come impianto geometrico e modulo di progetto, guida a riconoscere gli strumenti di guida e controllo nella pratica costruttiva. I caratteri emersi attribuiscono identità alle due cappelle e nuovi elementi per l'attribuzione.

Abstract
The paper sheds light on the richness and executive difficulty of the architectural apparatus, in complex forms, of the two Neapolitan chapels of the early 16th century, the monumental renowned Cappella Caracciolo di Vico in the church of San Giovanni a Carbonara, and the lesser-known Cappella of Caterina Pignatelli in the church of S. Maria Assunta dei Pignatelli. The reading of the underlying geometry, as a geometric layout and design module, guides to recognise the devices of guidance and control in construction practice. The characters that emerged attribute identity to the two chapels and new elements for their attribution.

Introduzione
Le due cappelle napoletane, Caracciolo di Vico nella chiesa di San Giovanni a Carbonara e la piccola meno nota di Caterina Pignatelli nella chiesa di Santa Maria Assunta dei Pignatelli al Largo Corpo di Napoli, fondate nella seconda decade del Cinquecento, sono testimonianze di architetture rinascimentali a impianto centrico di altissima qualità. Entrambe sono inoltre di attribuzione controversa, principalmente per l'architettura, poiché mancanti di dati documentali che facciano luce sugli artefici. La critica

storico-artistica ha tuttavia riconosciuto, secondo pesi e compiti diversi, l'attività del giovane grande architetto e scultore iberico Diego de Siloe in ambedue (Bologna, 1988-1889; Negri Arnoldi, 1997, p. 92; Speranza, 2003; Asher, 2006; Leone de Castris, 2010, p.105; Leone de Castris, 2013, pp. 63-65; Leone de Castris, 2015): nella cappellina di Caterina Pignatelli, fatta costruire tra fine 1513 e inizio 1516 dal fratello della defunta Ettore, e nella prima fase costruttiva della cappella Caracciolo di Vico, testimoniata dall'epigrafe dedicatoria del 1516, dall'avvio nel 1514 alla morte del suo primo committente, Galeazzo Caracciolo (1460-1517).

L'approfondimento dei caratteri dell'architettura delle due cappelle, generalmente motivato proprio al fine di individuare l'autore nascosto, si è tradizionalmente soffermato sulla partitura dell'ordine classico e sui relativi dettagli decorativi nel confronto con architetture coeve e dell'antico (Pane, 1975; Nichols, 1988; Aceto, 2010). Maggiore attenzione è stata posta alla più grande e nota cappella Caracciolo di Vico, sottolineandone i riferimenti all'architettura romana di primo Cinquecento, in particolare alle opere di Bramante per lo spazio interno ispirato al modello centrico del Tempietto di San Pietro in Montorio e per la corrispondenza nella scansione dei fronti con il Cortile della Pigna del Palazzo del Belvedere, ma anche a Raffaello nella cappella Chigi a Santa Maria del Popolo per la ricerca della forma centrica in una cappella interna a una chiesa. Come ancora, nell'uso dell'ordine binato di semi colonne ad Andrea Sansovino, in riferimento all'apparato ornamentale della Casa Santa a Loreto, e a Giuliano da Sangallo, nel progetto per la facciata di San Lorenzo a Firenze. D'altra parte, le similitudini, se possono aver suggerito per la cappella Caracciolo di Vico l'importazione di un disegno di progetto dalla cerchia del possibile primo autore, non sono state risolutive a individuare l'artefice.

Poca attenzione è stata invece posta negli studi alla lettura materiale delle cappelle come opere costruite, al fine di leggere gli elementi concreti dell'architettura, distinguendone le parti di struttura muraria e di rivestimento che le conformano. In entrambe le cappelle le soluzioni costruttive adottate appaiono di particolare raffinatezza, perché atte a risolvere difficili questioni pratiche realizzative, che sono proprie della costruzione delle nuove architetture centriche del Rinascimento.

L'analisi diretta, nei modi di un'ispezione sensibile agli aspetti costruttivi, rivolta anche all'impianto architettonico delle due chiese in cui le cappelle sono inserite, guida a leggere i caratteri costruttivi degli elementi fisici delle due architetture e soprattutto a rilevare una straordinaria competenza tecnica degli artefici, che rivela l'interesse a esercitare nella difficoltà, per il controllo e l'esecuzione delle forme complesse in marmo sagomato che conformano le due cappelle.

La messa in luce di questi aspetti riporta l'architettura delle due cappelle e i mezzi tecnici utilizzati per la loro realizzazione alla storia delle tecniche costruttive. L'analisi indaga infatti su tecniche e strumenti adottati per controllare le forme complesse, in riferimento ai relativi materiali costruttivi, delle due architetture centriche.

Attraverso l'esame di forma e costruzione delle cappelle emerge, sottolineata nei dettagli materiali, la loro raffinatezza tecnico esecutiva, che generalmente non è contemplata dagli studi tradizionali. Si ritiene che proprio questo carattere costituisca un aspetto identitario delle due architetture e tale da apportare nuovi elementi per l'attribuzione all'attività napoletana del giovane Diego de Siloe, prima del suo ritorno in Spagna.

Caratteri generali della costruzione delle due cappelle

Le piante centriche su base circolare delle due cappelle sono ricavate all'interno di scatole murarie in tufo preesistenti cui è ammorsato il vestito architettonico in marmo. Le forme vere e proprie dell'architettura sono infatti ottenute, in entrambi i casi, attraverso la lavorazione di elementi marmorei che configurano la partitura architettonica e i decori delle superfici perimetrali dello spazio. Queste sono in arcate su pilastri, inquadrate da ordini di semicolonne e nicchie variamente elaborate, che realizzano un sontuoso apparato architettonico in cui l'architettura è scultura e, viceversa, la scultura è architettura.

La cappellina di Caterina Pignatelli, in Figura 1, di diametro interno pari a circa 3,35 metri al netto delle nicchie, è interamente rivestita in marmo. Il rivestimento è stato realizzato sagomando lastre in curvature complesse, anche all'intradosso della copertura d'inedita composizione, che è per tre quarti cupola di rotazione di un meridiano ellittico e per il quarto restante, che la completa in continuità, l'unghia dell'arcata di accesso alla cappella.

Fig. 1 - Cappella di Caterina Pignatelli nella chiesa di Santa Maria dei Pignatelli: il fronte sull'aula della chiesa (foto dell'Autrice).

La Cappella Caracciolo di Vico, in Figura 2, di diametro interno di circa 6,90 metri sempre a netto delle nicchie, è coperta invece da una vera e propria cupola muraria di rotazione che emerge all'estradosso dalla scatola muraria per circa 2/3, cosicché anche il basso tamburo con finestre e nicchie su cui la cupola si imposta è all'interno della scatola muraria. Il primo ordine, di arcate su pilastri inquadrate da un ordine binato emergente di semicolonne, è interamente in marmo lavorato, mentre

l'intradosso della cupola e le superfici interne del tamburo sono rivestite a intonaco a stucco. Complessa è anche l'apparecchiatura in blocchi di tufo del profondo cassettonato all'intradosso della cupola, in cinque anelli concentrici di 16 lacunari ciascuno; anch'essa pertanto manifesto di un lavoro esecutivo difficile, che non trova simili in ambito napoletano. Il pavimento in commesso, inoltre, disegna specularmente la proiezione a terra di cassettonato e oculo in geometrica corrispondenza.

L'architettura di entrambe le cappelle è dunque definita dall'apparato marmoreo che riveste le superfici dello spazio interno e che è ammorsato alle scatole murarie in tufo in cui le cappelle sono inserite. Il rivestimento si compone di elementi monolitici di grosso volume, colonne, basi, piedistalli, capitelli, parti o pezzi degli elementi architettonici sporgenti dalla superficie interna, e di lastre, sagomate in accordo con le superfici curve di pareti e intradosso, che sono decorate a bassorilievo sul lato visibile.

Fig. 2 - Cappella Caracciolo di Vico nella chiesa di San Giovanni a Carbonara: l'interno dall'arcata di accesso (fotocomposizione dell'Autrice).

La lettura di commessure e giunti tra gli elementi lapidei dell'apparato marmoreo di rivestimento mostra che pezzi e lastre sono tagliati in modo conforme alle regole della costruzione in pietra da taglio, cioè in modo tale che questi siano ammorsati tra loro e i giunti degli archi siano opportunamente inclinati. L'architettura dello spazio interno, in volte, archi, architravi ed elementi verticali di pilastri, colonne e pareti della partitura architettonica in marmo delle cappelle, sebbene costituisca un rivestimento alla muratura di tufo della scatola muraria, è dunque coerente nei pezzi componenti a forme adeguate al trasferimento dei pesi di una struttura muraria, così da poter essere considerata struttura. Può dirsi pertanto che lo scultore con il decoro abbia conformato lo spazio, così che il rivestimento si fa architettura, seguendo una modalità che è comune alle due cappelle[1].

Anche i due ingressi alle cappelle, un'arcata su pilastri inquadrata dall'ordine, sono allo stesso modo composti dal rivestimento lapideo che incornicia il vano. Nella cappella di Caterina Pignatelli l'arcata di ingresso a tutto sesto, inquadrata dalla sovrapposizione di un ordine binato di colonne corinzie e un ordine attico di erme

Fig. 3 - Cappella Caracciolo di Vico: l'arco sghembo di accesso (foto dell'Autrice).

per l'altezza dell'arco, salienti dal fronte, corrisponde alla misura in altezza della cappella: il primo ordine alla parete verticale e l'ordine attico alla cupola.

L'ordine che inquadra l'arcata di ingresso della cappella Caracciolo di Vico, in Figura 3, analogo ma proporzionalmente minore all'ordine binato di semicolonne doriche su piedistalli che scandisce le pareti dello spazio interno, ha la trabeazione alla quota d'imposta delle arcate delle quattro grandi nicchie a esedra interne alla cappella. In questo modo, l'altezza della parete verticale è circa il doppio di quella dell'ordine dell'arcata di ingresso, il cui arco sghembo in cinque conci è evidenza e intenzionale manifesto della maestria tecnica praticata nella cappella.

Nella cappella di Caterina Pignatelli la trabeazione dell'ordine dell'arcata di accesso è forgiata all'interno della cappella a seguire il perimetro ad andamento circolare delle pareti interne e funge da imposta per la cupola. Le superfici interne, interamente rivestite in marmo lavorato e sagomato, sono coerenti con la rotazione dell'ordine delle semicolonne a inquadrare tre nicchie perimetrali, la centrale, più stretta, semicircolare coperta a catino emisferico, che fornisce profondità sull'asse di ingresso, e due uguali ai lati, più ampie e trabeate, che dilatano lateralmente lo spazio.

I rivestimenti alle pareti di fondo delle nicchie sono tutti in marmi lavorati a seguire superfici cilindriche e sferica per la nicchia absidale a esedra. La superficie all'intradosso della cupoletta di peculiare geometria, perché come si è detto è per ¼ l'unghia dell'arcata di accesso e i restanti ¾ cupola di rotazione di un meridiano ellittico, è tutta in lastre marmoree lavorate e sagomate in spicchi meridiani e disco di chiave. La forma inedita è generata dalla rotazione intorno all'asse centrale della cappella del bordo dell'unghia a tutto sesto dell'arcata di accesso e quindi di una

curva ellittica. Anche questa scelta formale per la copertura appare segno intenzionale di un'esercitazione nella configurazione delle forme complesse generabili in architetture centriche con cupole di rotazione.

Nella Cappella Caracciolo di Vico la trabeazione dell'ordine, qui di semicolonne doriche scanalate su alto piedistallo, accoppiate con un intercolumnio per una campata breve ad accogliere sulla parete di fondo una più piccola nicchia a esedra, acquisisce forma curva ruotando intorno all'asse centrale della cupola. L'ordine è poi saliente dalle pareti perimetrali, così che il profilo curvo della trabeazione, in architrave, fregio e cornice con relative sporgenze e decori scolpiti, per gli intervalli dell'ordine emerge in accordo dalle pareti cilindriche della cappella. Piedistallo, base e abaco di ogni semicolonna sono invece singolarmente ruotati rispetto all'asse centrale della cappella senza deformazione dei profili. Infine, la partitura architettonica delle pareti in arcate su pilastri è in marmo lavorato secondo superfici curve ancora più complesse, in doppia curvatura alle quattro arcate delle grandi nicchie a esedra in cui sono ingresso, altare e monumenti funerari, come anche alle quattro nicchie piccole negli intercolumni, perché le ghiere in fasce semicircolari degli archi vengono curvate sulla superficie cilindrica concava delle pareti perimetrali. L'interno di nicchie grandi e piccole a esedra è poi rivestito in marmo rosso secondo superfici cilindriche e semisferiche, a conchiglia con nervature meridiane, che partono dalla chiave delle arcate per le nicchie grandi.

Geometria sottesa alle due cappelle

Il ridisegno architettonico della pianta delle due cappelle ha messo in luce il tracciato della costruzione geometrica del progetto e la maglia modulare sottesi alla forma architettonica, che si ritiene abbiano costituito gli strumenti di base per il controllo esecutivo del progetto architettonico. La geometria, attraverso le sue diverse applicazioni, cioè disegno del modello, proiezioni ortogonali e prospettiva, tracciamento in situ, disegno dei modani per il taglio di lastre e blocchi di marmo e guida alla messa in opera, ha diretto, con il controllo delle attività, la costruzione del progetto. Pertanto, nelle due architetture le applicazioni pratiche della geometria hanno costituito il principale mezzo per superare le complessità esecutive nello sviluppo di forme di rotazione dei profili e degli elementi della partitura architettonica, in particolare per guidare a sagomare in superfici e volumi complessi i paramenti in marmo di pareti e intradosso e per apparecchiare la cupola muraria cassettonata della cappella Caracciolo di Vico.

Il progetto architettonico della cappella di Caterina Pignatelli appare basarsi e giocare sulla relazione tra cerchio e quadrato reciprocamente inscritti e circoscritti. L'aula centrica ha pianta in forma di cerchio che, sul lato dell'ingresso, è tagliato per la parte eccedente dal quadrato in esso inscritto, che definisce, inoltre, la profondità dell'arcata di accesso, come mostrato in Figura 4. Nella fisicità della cappella, e dunque nello sviluppo in altezza della forma centrica dell'invaso, il cerchio della

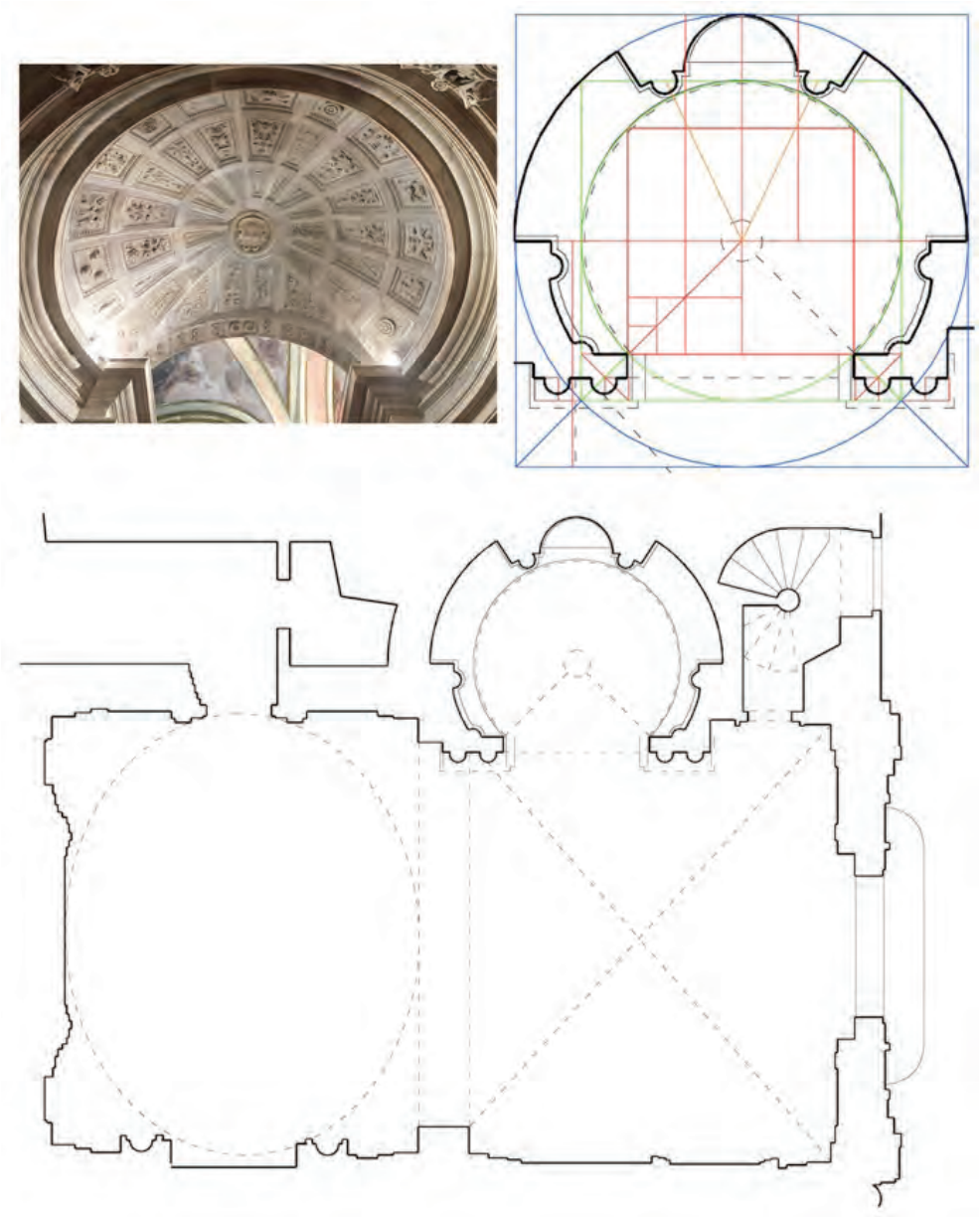


Fig. 4 - Cappella di Caterina Pignatelli: foto dell'intradosso della cupola, in alto a sinistra, lettura dell'impianto geometrico e della maglia modulare sottesi, in alto a destra, e pianta della cappella nel complesso della chiesa di S. Maria dei Pignatelli, in basso (elaborazioni e foto dell'Autrice).

pianta è tracciato dalle sagome circolari del basamento delle nicchie e dalla rotazione intorno all'asse centrale della cappella della trabeazione, che funge da imposta della cupola. Il cerchio della pianta è poi dilatato da nicchie, delimitate dalle proporzioni derivate da inscrizione e circoscrizione di cerchio e quadrato. Il quadrato che inscrive il cerchio della pianta intercetta i centri delle semicolonne ai lati della nicchia centrale e dei quarti di colonna nella controparete e contiene l'ordine binato di facciata; a sua volta, il cerchio che inscrive il quadrato determina la profondità delle nicchie centrale e laterali. Direttrici radiali di definita apertura fissano poi la disposizione delle colonne e l'ampiezza delle nicchie.

Attraverso la scomposizione del quadrato inscritto in maglie quadrate sottomultiple di 8 unità per lato sembrerebbe potersi riconoscere il modulo della cappella[2].

La maglia modulare sovrapposta alla circoscrizione di una forma proporzionata al cerchio e al quadrato inscritto richiama la costruzione geometrica dell'*homo ad circulum et ad quadratum* di Cesariano (1483-1543), in Figura 5, suggerendo il metodo pratico utilizzato per l'impostazione geometrica e modulare del progetto.

La soluzione dell'innesto dell'unghia a tutto sesto dell'arcata di accesso in una cupola richiama invece il disegno prospettico e la trattazione di Sebastiano Serlio per la rappresentazione in prospettiva di una volta a crociera su base quadrata, in Figura 6, che richiede curve ad andamento ellittico per le costole. Nella Cappella di Caterina Pignatelli la curva ellittica al perimetro dell'unghia dell'arcata di accesso, ruotando intorno all'asse della cappella, genera la superficie intradossale della cupola ribassata.

I confronti suggeriscono che le scelte formali dell'architettura della cappella siano state dettate dall'interesse a esercitare ragionamenti, metodi costruttivi e modelli in fermento a Roma a inizio Cinquecento.

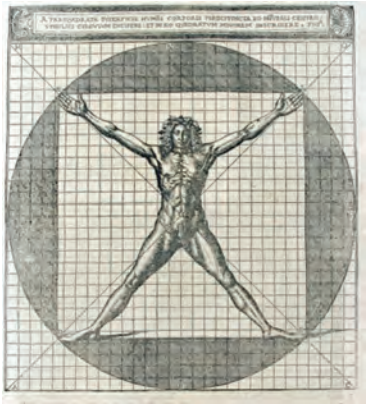


Fig. 5 - Homo ad circulum et ad quadratum di Cesariano (1521: III, LII).

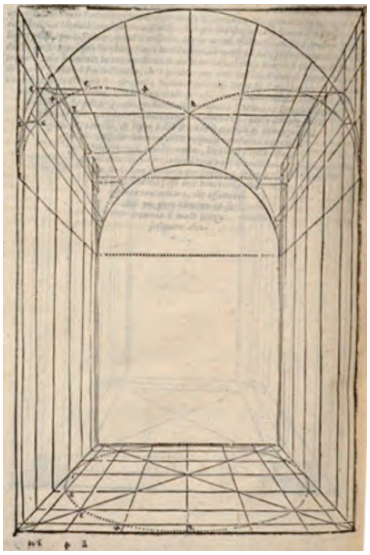


Fig. 6 - Costruzione geometrica di una volta a crociera in prospettiva nel Secondo Libro di prospettiva di Serlio (1584, p. 35r).

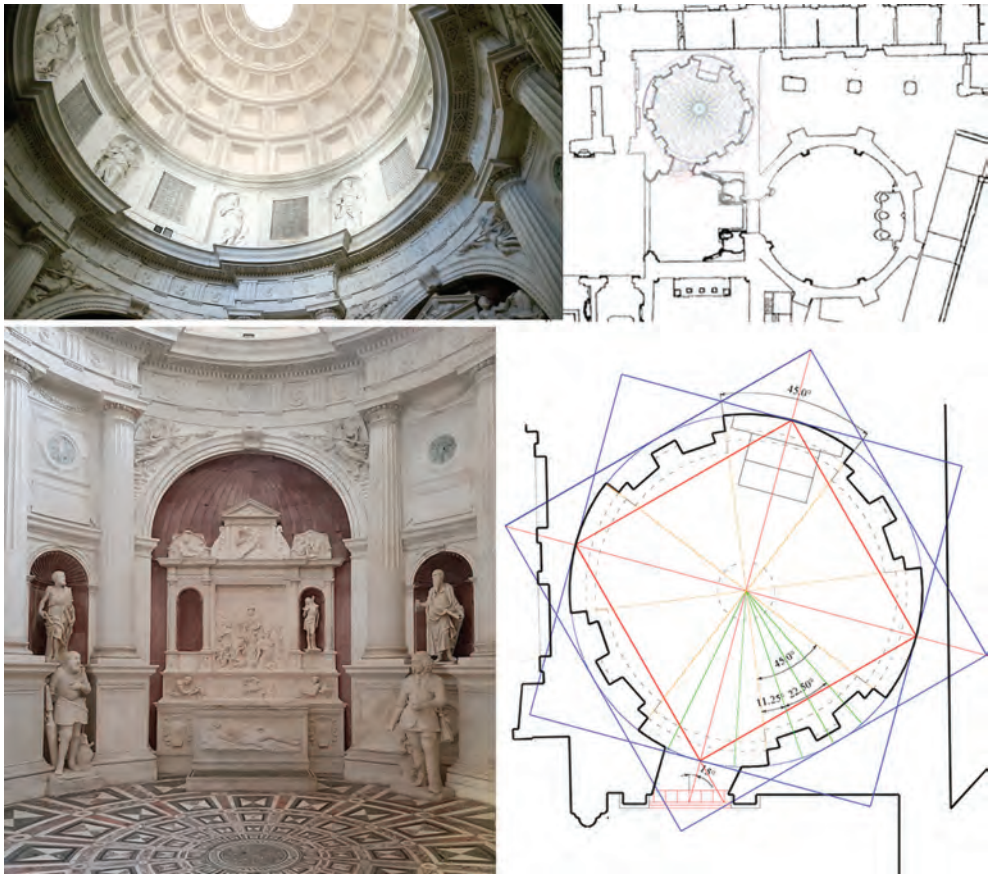


Fig. 7 - Cappella Caracciolo di Vico: foto dell'invaso della cappella, a sinistra in basso e in alto, pianta della cappella nel complesso della chiesa di S. Giovanni a Carbonara, in alto a destra e lettura dell'impianto geometrico e dell'unità angolare sottesi (elaborazioni e foto dell'Autrice).

Nella Cappella Caracciolo di Vico la costruzione geometrica dei due quadrati che inviluppano il cerchio in pianta della cappella nella sua dimensione massima, pari a 8,10 metri di diametro e contenente la profondità delle quattro nicchie maggiori, l'inscritto e l'inscrivente costruiti sugli assi principali della cappella, come in Figura 7, descrive l'intenzionale rotazione della cappella dalle direzioni principali della chiesa, di 15° dall'asse trasversale. Ancora in analogia con l'*homo ad circulum et ad quadratum* di Cesariano, si presume che la scomposizione modulare di questi due quadrati definisse il modulo di progetto[3]. La geometria sottesa evidenzia che disposizione e proporzionamento degli elementi architettonici della cappella sono governati da direttrici radiali dall'asse centrale della cappella secondo unità angolari

di 11,25°, dividendo radialmente il cerchio in 16 parti uguali. Le arcate maggiori di 45° sono ampie quattro unità, mentre l'ordine binato delle semicolonne emergenti ha interasse 22,50°, due unità. Il proporzionamento per raggi proiettivi e proiezioni ortogonali è evidente nei lacunari all'intradosso della cupola cassettonata e nella pavimentazione in *opus sectile*; l'apertura angolare di 22,50°, due unità, e la proiezione sulla superficie sferica intradossale e piana del pavimento definiscono l'apparecchiatura dei blocchi di tufo per costole meridiane e fasce parallele della cupola, poi intonacate, e il taglio in forme geometriche delle lastre pavimentali.

Conclusioni

L'osservazione delle due cappelle negli aspetti della forma e della costruzione riporta queste opere d'arte all'impegno tecnico per la loro concreta realizzazione, ripercorrendo il passaggio dal progetto all'esecuzione pratica, che si serve di disegno e geometria come strumenti di controllo a taglio, lavorazione e messa in opera della pietra di marmo in accordo con i principi delle costruzioni murarie. Il passaggio restituisce arte e architettura all'ingegno e alle tecniche costruttive, che in queste architetture centriche, mirabili per qualità artistica, appaiono aspetti particolarmente significativi, rilevando una sostenuta componente tecnica accanto a quella artistica. La configurazione di elementi marmorei della partitura architettonica in forme curve, messa in atto con pesi differenti in entrambe le cappelle, è infatti di notevole difficoltà da richiedere grande perizia e mostra l'interesse a sperimentare soluzioni ai problemi complessi che le forme centriche richiedono. L'accurata costruzione geometrica della forma architettonica e l'interesse ad affrontare problemi tecnico costruttivi di difficile soluzione nel controllo di forme complesse e di rotazione di una struttura in elementi lapidei sagomati sono infatti caratteristiche delle cappelle e ne forniscono peculiare identità.

I dettagli costruttivi dell'architettura delle due cappelle, che la lettura materiale rileva, appaiono nel confronto con esempi e studi coevi (Calvo López, 2010) legare insieme la cultura iberica di tracciamento e taglio della pietra con il controllo geometrico-prospettico delle forme nel Rinascimento italiano. Questo aspetto aggiunge, accanto alle analisi stilistiche degli storici dell'arte, nuovi elementi per riconoscere in mancanza di dati documentali la mano di un grande artista (Como, 2022) che, radicato nella cultura iberica del taglio e della costruzione in conci lapidei, avvia l'esercizio pratico in architettura elaborando gli strumenti della prospettiva e le nuove forme centriche del Rinascimento italiano, cariche di rimandi e riferimenti all'Antico.

Bibliografia

Aceto A. 2010. La Cappella Caracciolo Di Vico in San Giovanni a Carbonara a Napoli (1514-1517) e il problema della sua attribuzione. Bollettino d'Arte, 647-80.

Ascher Y. 2006. Politics and Commemoration in Renaissance Naples: The Case of Caterina Pignatelli. Zeitschrift für Kunstgeschichte, 69. Bd., H. 2, 145-168.

Bologna F. 1990. Un'aggiunta a Pedro Machuca, l'iconografia di "Gesù bambino porta-croce" e la tomba Bonifacio di Bartolomé Ordóñez a Napoli. In: Scritti in ricordo di Giovanni Previtali, I, Prospettiva 53-56, 353-361.

Calvo López J. 2010. Perspective versus Stereotomy: From Quattrocento Polyhedral Rings to Sixteenth-Century Spanish Torus Vaults. Nexus Network Journal, 12, 77-111.

Cesariano C. 1521. *Di Lucio Vitruvio Pollione De Architectura libri dece* …Como: Da Ponte.

Como M.T. 2022. Geometria sottesa e dettagli costruttivi delle cappelle napoletane a impianto centrale a cui lavorò Diego de Siloe. In: *Diego de Riaño, Diego Siloé y la arquitectura en la transición al Renacimiento* (a cura di J.L. Ampliato Briones, R. López Guzmán, J.C. Rodríguez Estévez) , 251-257. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla y Granada.

Leone de Castris P. 2010. *Studi su Gian Cristoforo Romano*. Napoli: Paparo.

Leone de Castris P. 2013. La cappella Pignatelli. In: *Le savoir sur la falaise. Luoghi e storie dell'Università Suor Orsola Benincasa*. Milano: Electa, pp. 63-65;

Leone de Castris P. 2015. Roma, Napoli, la Spagna. Note sulla cappellina di Caterina Pignatelli. Napoli Nobilissima I, 5-29.

Negri Arnoldi, F. 1997. *Scultura del Cinquecento in Italia Meridionale.* Napoli: Electa Napoli.

Nichols, C. 1988. *The Cappella Caracciolo di Vico in Naples and early Cinquecento architecture*. PhD. New York: New York University.

Pane R. 1975. *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*. Vol. II, Milano: Comuunità.

Serlio S. 1584. *Il secondo Libro di prospettiva di Sebastiano Serlio bolognese*. Venezia.

Speranza, F. 2003. Sul soggiorno napoletano di Diego de Siloe: la pala della cappella Tocco in Duomo e altre questioni, Napoli Nobilissima s.V, IV, 1-20.

s.a. 1857. *Tavole di ragguaglio fra le misure e pesi dello Stato Pontificio colle misure e pesi del Sistema metrico.* I, 11-12. Roma: Tipografia della Rev. Cam. Apostolica.

Note

[1] Esempi simili, come la Cappella Chigi a Roma di Raffaello, avviata nel 1513, o la Cappella Pellegrini a Verona di Michele Sanmicheli, avviata nel 1528, mostrano al contrario il tentativo di limitare l'uso di elementi marmorei sagomati in forme complesse.

[2] Dalla misura del lato di circa 237 cm l'unità della maglia è conforme al piede antico di 29,6 cm. La misura perdurava nel Moderno come evidente dal suo inserimento tra le misure lineari romane della canna architettonica nell'esempio materiale nel cortile del Palazzo dei Conservatori disposto nel 1535 dal giureconsulto Luca Peto (s.a., 1857, pp. 11-12). La maglia ricavata esclude l'uso del palmo napoletano pari a 26,3 cm. Pur volendo mettere in luce tali questioni, per ampiezza e necessari approfondimenti non possono trovare spazio nel presente contributo.

[3] La scomposizione in 30 unità del quadrato maggiore, in conformità con il disegno di Cesariano, fornisce un'unità di 27 cm, vicina al palmo napoletano di 26,3 cm.

Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari

Il pavimento a fiori nella biblioteca del palazzo ducale di Urbino, ripreso nel palazzo ducale di Gubbio: solo un esercizio grafico di Francesco di Giorgio?

The flowered floor in the library of the ducal palace of Urbino, reproduced in the ducal palace of Gubbio: just a graphic exercise by Francesco di Giorgio?

Sommario
Le mattonelle con fiori a quattro petali poste nei palazzi ducali di Urbino e di Gubbio, sono qui presentate in riferimento al contesto storico in cui vennero collocate. Si argomenta per comprendere la loro disposizione e la loro costruzione, espressa graficamente da Francesco di Giorgio attraverso la sua armonica concezione di metrica e le sue approssimazioni grafiche. Dal rilievo della geometria del fiore si risale al simbolismo così caro al Rinascimento e in particolare alla corte Urbinate.

Abstract
Hereby the tiles with four-petaled flowers placed in the ducal palaces of Urbino and Gubbio are presented in reference to the historical context when they were placed. An argument is made to understand their arrangement and construction, expressed graphically by Francesco di Giorgio through his harmonious conception of metrics and his graphic approximations. We tried to make a correlation between the relief of the flower geometry and the symbolism, so dear to the Renaissance and particularly to the Urbino court.

Introduzione
Le mattonelle con il fiore a quattro petali, in Figura 1, realizzate in cotto con diverse gradazioni di colore dovute alla diversa quantità di materiali ferrosi presenti nelle argille di partenza, sono usate in alcuni pavimenti del Palazzo di Urbino, in particolare nella biblioteca e nella cancelleria (Polichetti, 1985; Raggio, 1999). Tali mattonelle, pur con leggere differenze nella forma del disegno come visibile nella Figura 2, vengono riproposte nelle sale più importanti del piano nobile del palazzo ducale di Gubbio, compresa quella che ospita il famoso studiolo, fatto costruire dal Duca Federico da Montefeltro per il figlio Guidobaldo (Cappanelli, 2008).

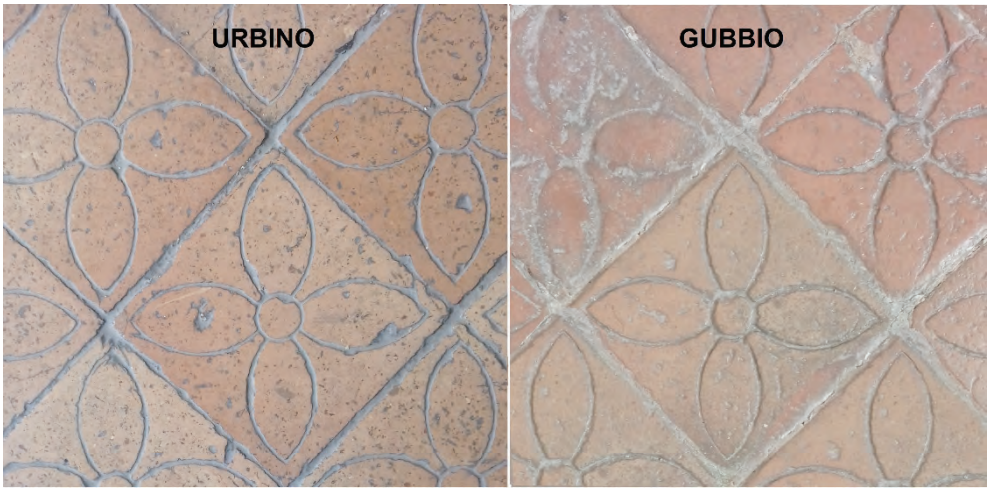


Fig. 1 - Le mattonelle del pavimento del palazzo ducale di Urbino, a sinistra, e di Gubbio, a destra. Si notino le leggere differenze di forma del fiore.

La mattonella è perfettamente quadrata con lato di 263 mm. Al centro ha impresso un fiore stilizzato con quattro petali a forma di amigdala che si sviluppano da una corolla circolare e si allungano, seguendo le diagonali, quasi a toccare gli angoli. La distanza tra gli estremi opposti dei petali, e pertanto la misura del fiore, è di 335 mm. Il valore non è casuale, ma rappresenta fedelmente l'unità di misura più diffusa in quel periodo nel Montefeltro: il piede urbinate (di Giorgio Martini, 1967). Questa misura era già stata impiegata da Francesco di Giorgio per costruire il lato della mattonella di Federico, in Figura 2, ampliamente usata nel palazzo ducale di Gubbio per lo sporto del tetto nel cortile. L'impiego diffuso di una unità di misura per quantizzare ciò che ci circonda ricorda come Piero della Francesca abbia rappresentato se stesso nel quadro di Brera con un regolo a fianco [1].

Anche la misura del lato della mattonella con il fiore, pari a 263 mm, non è casuale dato che racchiude uno dei temi grafici del Rinascimento: la quadratura del cerchio, che qui si particolarizza nella costruzione di un quadrato avente perimetro uguale alla circonferenza di un cerchio dato. In effetti il fiore è inscritto in una circonferenza avente diametro di un piede urbinate, circonferenza che ha lo stesso perimetro della mattonella. Secondo i dettami vitruviani alla perfezione geometrica corrisponde anche un risultato estetico. La dimensione del fiore appare così la più armonica possibile rispetto alla cornice che la alloggia.

Sia a Urbino sia a Gubbio le mattonelle sono sovrapposte a un precedente pavimento con mattonelle rettangolari, come i sondaggi eseguiti nel corso di restauri misero in evidenza (Polichetti, 1985).

Fig. 2 - La mattonella di Federico, a sinistra, e quella con il fiore di Francesco di Giorgio, a destra, con la misura del piede urbinate di 335 mm.

La disposizione delle mattonelle a Gubbio è riportata in Figura 3. In tutte le stanze, a parte quelle che hanno subito importanti variazioni con spostamento di tramezzi o collegate a esse, la posa segue la diagonale dominante, diretta da sinistra in basso a destra in alto, a seconda del senso di ingresso alla stanza. Nel pavimento dello studiolo del Duca le diagonali che soddisfano i requisiti sono ben tre; la terza, se prolungata, appare disegnare con la prima e con i bordi della nicchia la grande M dei Montefeltro (Ambrogi, 2016).

È evidente che nella nuova linea di posa il committente non badò a spese, dato che la nuova disposizione richiede numerosi tagli delle mattonelle con gli inevitabili scarti, quanto piuttosto cercò con l'architetto la resa visivo-cromatica dell'insieme che vuole la vista ortogonale del fiore sovrapposta alla disposizione rombica delle mattonelle. La loro sapiente disposizione ricorda, adattata all'ambiente, la spina alla quale fa riferimento Vitruvio, soprattutto nel commento del Barbaro che dice «mirabilmente piane, & distese, & specialmente vaghe» (Vitruvius, 1556).

Ponendo l'attenzione al pavimento rinascimentale in cotto (Gardelli, 1993) occorre leggere (Alberti, 1966) che scrive: «*Maximeque pavimentum refertum velim esse lineis et figuris, quae ad res musicas et geometricas pertineant, ut ex omni parte ad animi cultum excitemur*» (Libro VII, Cap.10 f. 125r). Giontella traduce: «Mi pia-

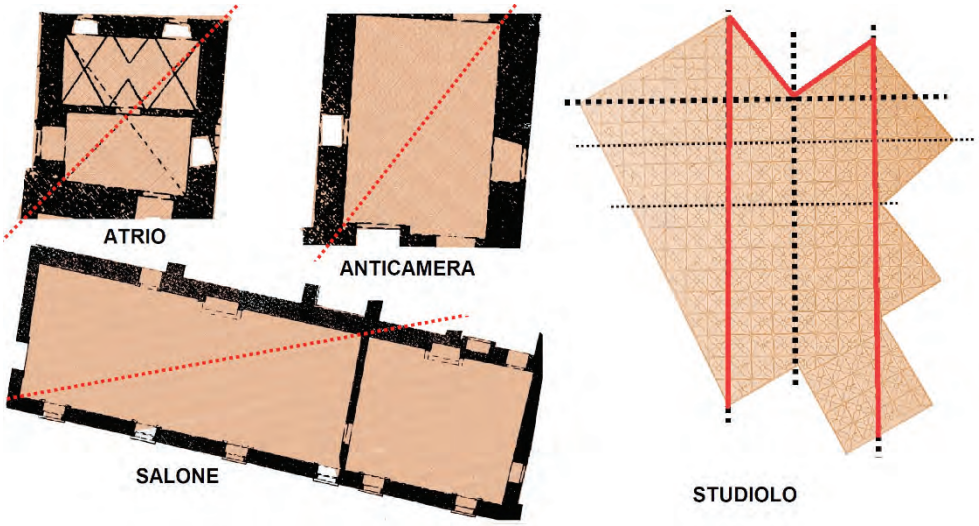


Fig. 3 - Le linee di posa delle mattonelle nelle varie stanze del piano nobile del palazzo ducale di Gubbio seguono la diagonale dominante, indicata con la tratteggiata. Nello studiolo la diagonale principale e le secondarie disegnano una M che suggerisce l'iniziale dei Montefeltro.

cerebbe soprattutto che il pavimento fosse ricco di linee e figure di tipo musicale e geometrico, così che ogni parte solleciti l'animo alla cultura» (Alberti, 2010).

Non abbiamo nei Trattati di Francesco di Giorgio i disegni promessi per i pavimenti, e tanto meno quelli di Alberti che, seguendo Platone, evitava il disegno, ma abbiamo i pavimenti costruiti sotto la loro guida e abbiamo anche un dipinto di Neroccio de' Landi, già in sodalizio con Francesco di Giorgio, in Figura 4 (Raggio, 1999). Possiamo quindi attivarci per cogliere lo spirito con il quale questi grandi architetti, con Federico da Montefeltro e Ottaviano Ubaldini della Carda, a Urbino (Polichetti, 1985; Raggio, 1999) e a Gubbio (Capannelli e Sannipoli, 2008; Höfler, 2010) hanno ricoperto di fiori i pavimenti (Ambrogi, 2016; Polichetti, 1985; Vitruvius, 1511). Questi fiori, coerenti con la concezione generale dei palazzi, vanno così interpretati come reliquie dello studio sapiente, *emanatio* dall'alto attraverso la cosiddetta *pentecoste laica*, che vengono *gutate per terra* dai sapienti per venire gustate da coloro che li frequentano.

Il disegno del fiore

Ricordando la frase di Alberti, i nostri Architetti non potevano che partire, come già detto, da un cerchio generatore come simbolo della perfezione e del cielo e da questo derivare il quadrato di contorno come simbolo del tormentato mondo terreno, passando attraverso una figura poligonale intermedia (Di Giorgio Martini, 1967).

Fig. 4 - Il pavimento nella pala attribuita a Neroccio de' Bardi (Raggio, 1999)*, al tempo del sodalizio con Francesco di Giorgio, al quale va attribuita la figura della Vergine. Nella cartouche in alto a destra un ingrandimento con i fiori.*

Per costruire il fiore di Urbino Francesco di Giorgio usa il suo modulo, pensato come elemento di base dell'armonia dell'universo, che equivale, nella corrispondenza uomo-dimensione divina, alla dimensione della testa essendo questa un settimo dell'altezza: 1/7 = 0,1429 (Di Giorgio Martini, 1967).

In particolare, la costruzione sembra seguire la seguente successione:

Fase 1 - Il piede urbinate come unità

Il piede urbinate è la base delle dimensioni di tutte le costruzioni del Ducato. Nel caso della mattonella con il fiore a quattro petali diventa il diametro del cerchio, simbolo della perfezione (non visibile), che contiene il fiore.

Fase 2 - La rettifica della circonferenza per definire il perimetro della mattonella

Dalla misura della circonferenza di questo cerchio si costruisce un quadrato con lo stesso perimetro.

La rettifica della circonferenza viene posta quindi alla base di questa costruzione. Francesco di Giorgio ne propone due soluzioni grafiche approssimate, in Figura 5: «Tirata la circunferenzia, sia quadripartita da quattro rette linee; di poi le due linee angulari, cioè ABC, sieno ciascuna quadripartita. Di poi si tiri una linea diagonia dal ponto D E [in figura 5 il punto indicato con F viene corretto in E], e dalla linea diagonia al ponto G si tira una traversa linea chiamata GF; il qual diamitro sie partito in parti cinque, delle quali parti si troverà la circunferenzia trecento sessanta cinque. Di poi tirando un'altra linea diagonia dal ponto GE con la traversa HI, la qual parte

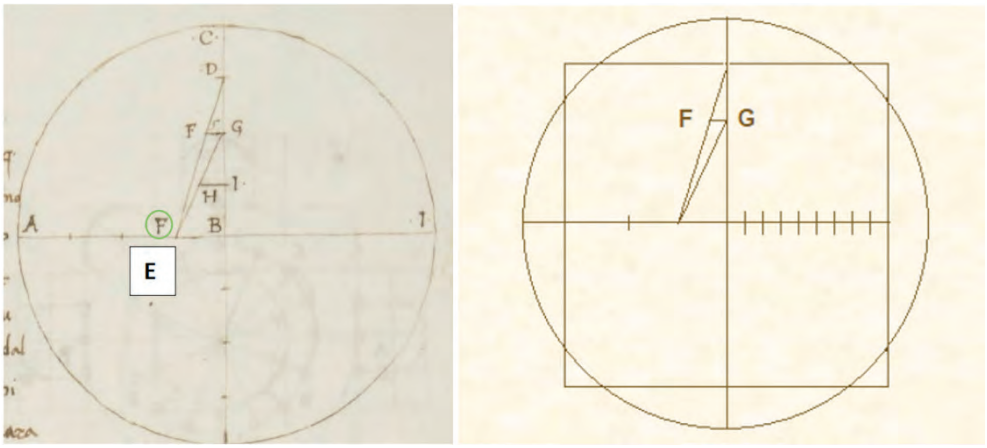


Fig. 5 - La costruzione della rettifica della circonferenza presa uguale a 50 HI, o a (FG/5) 360, a sinistra. A destra è messa in evidenza la costruzione del semilato del quadrato pari a 9 volte il segmento FG secondo Francesco di Giorgio (Magliabechiano II.I.141, f. 42r)

e latitudine si trovarà cinquanta di tutta la circunferenzia» (Codice Senese e Magliabechiano II.I. 141, f. 42-44).

Trovata così la lunghezza di un arco di 5 gradi, questa viene riportata lungo gli assi nove volte per definire il semi lato del quadrato che corrisponde a un arco avente al centro un angolo di 45°, come in Figura 5 a destra. La dimensione del lato L risulta quindi essere doppia, pari a un quarto della circonferenza. In sostanza con riferimento alla immagine in Figura 5 a sinistra, la circonferenza rettificata è per Francesco di Giorgio pari alla distanza (360 · FG/5), oppure alla distanza (HI · 50) e quindi:

$L = FG \cdot 18$ oppure $L = HI \cdot 50/4$.

Sapendo che:

$$L = \frac{\pi \cdot D}{4} = \frac{\pi \cdot 335}{4} = 263 \text{ mm}$$

con semplici proporzioni fra i lati di triangoli simili di Figura 5 si può calcolare l'errore della costruzione grafica: in difetto di 4,46%, nel primo caso e di 0,48% nel secondo.

Fase 3 - Il modulo come elemento costruttivo

Si passa ora alla costruzione del "modulo", considerato unità di lunghezza che, attraverso moltiplicatori interi, permette di conoscere l'armonia universale. Francesco di Giorgio ne dà una costruzione grafica rispetto al lato di un quadrato inscritto: «… formisi in prima uno quadrato di pari lati, il quale sia quadripartito. Di poi si tiri

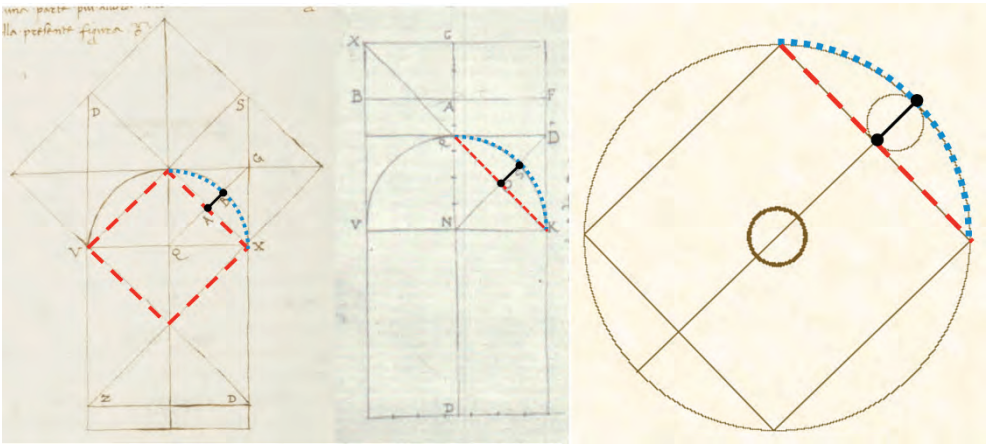


Fig. 6 - Modulo definito da Francesco di Giorgio con due diverse costruzioni grafiche, a sinistra eodulo che diventa il diametro della corolla del fiore a quattro petali, a destra.

due linee da angulo ad angulo e due altre linee che tocchino tutti e quattro i partimenti del quadro, cioè TSVX, e faccino un altro quadrato fuore dell'angulo ZDQ, e sia quadripartito come il maggior quadrato, e nella linea media al ponto Q si tiri uno semicirculo che in fra le linee farà porzione di circulo, in mezzo della quale porzione si tiri una linea dal ponto Q al G chiamata AB. E questa porzione sarà modulo a tutto lo edifizio, con la quale si parti la linea diagonia; e quante parti si troverà essa linea di porzioni, tanto in nella altezza si darà, aggiongendo sempre una parte più; allora arà iusta altezza alla larghezza, seguendo l'ordine della presente figura». Il modulo, con riferimento alla immagine in Figura 6 a sinistra, è rappresentato quindi dal segmento AB, o nella figura centrale da OS (Magliabechiano II.I.141, f. 41v).

Definito così il modulo, si può costruire, come mostrato in Figura 6 a destra, la corolla del fiore tracciando un cerchio concentrico al precedente con diametro uguale al modulo.

Per via numerica si può calcolare il modulo, sopra definito per via grafica, in rapporto al raggio o al lato del quadrato inscritto:

OS = modulo = raggio $(1-1/\sqrt{2})$ = 0,293 del raggio = 0,414 del lato del quadrato inscritto.

In sostanza Francesco di Giorgio con 7 moduli approssima, in eccesso del 2,5%, il diametro del cerchio di partenza.

Fase 4 - La realizzazione dei petali ideali

Attorno alla corolla si costruiscono i petali con archi di cerchio sempre espressi in moduli, per realizzare così un petalo in armonia con la percezione visiva e non solo.

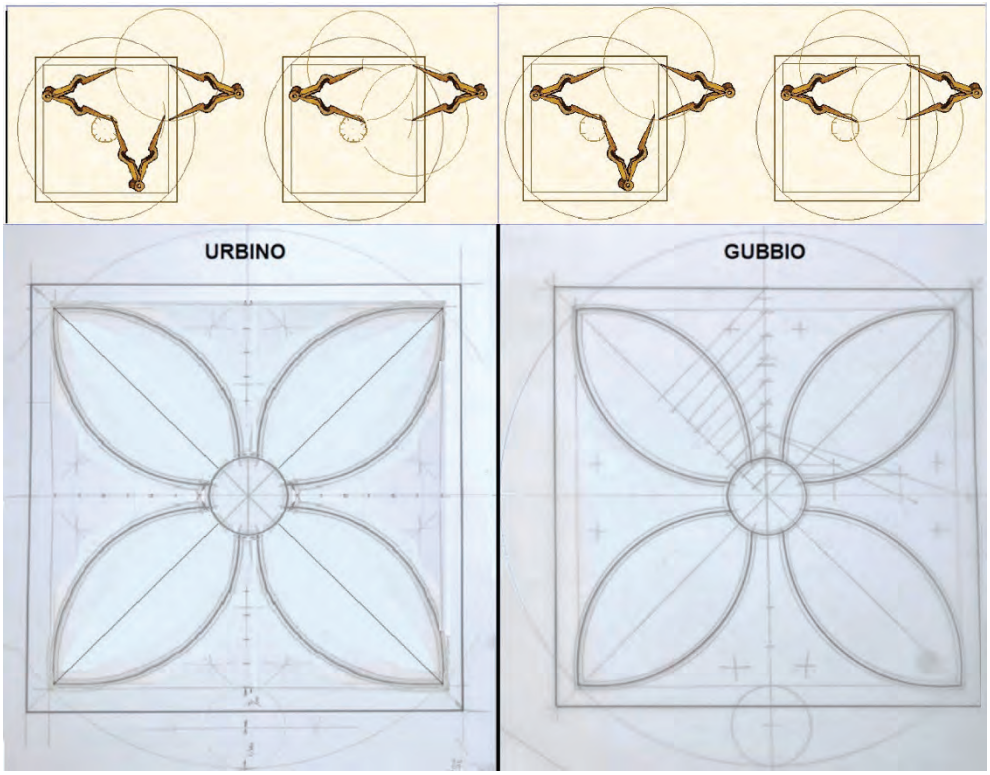


Fig. 7 - Le fasi di costruzione e il disegno finale, in alto, la mattonella di Urbino, in basso a sinistra, e quella di Gubbio, in basso a destra.

La costruzione inizia, come mostrato in Figura 7, dalla divisione del quarto superiore della circonferenza della corolla in tre parti, vale a dire da un dodecagono inscritto nella corolla. I petali vengono tracciati con un arco di cerchio, avente raggio pari a due moduli, passante da otto vertici di questo poligono ai vertici del quadrato, inscritto nel cerchio di riferimento.

Leggermente differente è la costruzione del petalo nella mattonella di Gubbio, più sottile all'attacco con la corolla rispetto a quello di Urbino. Come mostrato in Figura 7, il petalo viene tracciato partendo dalla divisione della circonferenza della corolla in otto parti, vale a dire da un ottagono inscritto.

Fase 5 - Dettagli esecutivi

Per realizzare la mattonella si deve costruire uno stampo con lato esterno pari a 289 mm pensando che nella cottura si abbia un ritiro dell'argilla di circa il 10%. Analoga considerazione va fatta nella costruzione dello stampo per il fiore; considerato

Fig. 8 - L'Hesperis Matronalis e la sua forma stilizzata, a sinistra; la mattonella presente in una fascia al di sopra della scarpa del castello di Rimini, di dimensioni pari a 120 x 120 mm, al centro (Pasini, 1983; 2002; Di Battista e Molari, 2022) *e i fiori nella porta d'ingresso della Biblioteca Malatestiana di Cesena, a destra* (Di Battista e Molari, 2022).

che il solco del fiore misura 4,5 mm, si può pensare che lo stampo del fiore possa venire costruito piegando un ferro piatto spesso 5 mm.

Il fiore rappresentato

Malgrado le aspre contese fra le famiglie dei Malatesti e dei Montefeltro, non è evitabile un parallelo fra il fiore delle mattonelle di Urbino e di Gubbio con il fiore presente a Rimini, la *hesperis matronalis* o viola a quattro petali, associato all'Imperatore romano d'Oriente e alla Turchia, si pensa portato a Urbino da Alberti, ma sicuramente ripreso da Francesco di Giorgio forse per tramandare le sue costruzioni grafiche.

Questo fiore, in Figura 8, era stato adottato nel 1400 come simbolo da Sigismondo Malatesti che aveva in animo di diventare Imperatore romano d'Oriente sconfiggendo o imparentandosi con i Paleologi, famiglia allora regnante a Costantinopoli. Essere imperatore romano voleva dire a quel tempo essere designato da Dio, attraverso il Sole, quale proprio rappresentante in terra e quindi avere una supremazia anche sul Papa e fermare così l'espansione territoriale della Curia romana. Questa ferma intenzione di Sigismondo è testimoniata dal nomogramma SI, che, oltre alle due lettere iniziali del nome, poteva significare Sigismundus Imperator, con il doppio senso di imperatore e di condottiero, o *Semper Invictus*, come attestano anche i disegni che "illuminano" poema di Basinio da Parma dal titolo proprio l'*Hesperis*, o anche *Hesperidos* (Di Battista e Molari, 2022).

Conclusioni

Esistono varie immagini dell'*hesperis*, all'interno e sul bassorilievo che circonda il Tempio Malatestiano di Rimini, nelle mattonelle in una fascia al di sopra la scarpa del Castello "Sismondo" (Raggio, 1999). Quindi il significato dei pavimenti di

Urbino e Gubbio potrebbe anche essere quello di voler calpestare il fiore associato al rivale storico di Federico e cioè a Sigismondo. È questo un dubbio al quale non sapremo mai dare risposta, ma piace qui riferirsi alla interpretazione, che nasce dalla lettura dei Trattati, allargando l'idea della Pentecoste laica, così cara a Federico, dei tanti fiori gettati a terra dopo essere stati assimilati dagli studiosi o "gettati" da Guidobaldo stesso oppure "emanati" da Violante da Montefeltro come quelli presenti nella porta di ingresso della Biblioteca Malatestiana di Cesena, in Figura 8.

Nel presente lavoro viene considerato un semplice dettaglio, quale una mattonella, per cercare di comprendere attraverso il suo elaborato simbolismo, qui riscoperto, la complessità e la bellezza che il Rinascimento nasconde ancora.

La costruzione proposta si basa sulle costruzioni grafiche di Francesco di Giorgio così complesse che ci mostrano tuttavia la praticità di questo grande artista, così affascinato dal mondo classico e dalla scuola di Alberti e di Piero della Francesca.

Bibliografia

Alberti L.B. 1966. *L'architettura*, a cura di R. Bonelli e P. Portoghesi, trad. G. Orlandi, Milano: Il Polifilo.

Alberti L.B. 2010. *L'arte di Costruire* (a cura di V. Giontella). Torino: Bollati Boringhieri.

Ambrogi V. 2016. *Gubbio: Gubbio Studiolo Replica*. Gubbio: EFG.

Capannelli S., Sannipoli E.A. 2008. *Il palazzo ducale di Gubbio e Francesco di Giorgio Martini*. Milano: TMM.

Chevalier J., Gheerbrant A.1990. *Dictionaire des Symboles*. Paris : Juppiter Ed.

Di Battista R., Molari P.G. 2022, Il podio e gli elefanti nel simbolismo quattrocentesco della corte Riminese di Sigismundus imperator. In: *Proceedings of the 5th International Conference on History of Engineering - Atti del 9° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo). II, 139-152. Napoli: Cuzzolin Editore.

di Giorgio Martini F. 1967. *Trattati di architettura ingegneria e arte militare* (a cura di C. Maltese). Milano: Edizioni Il Polifilo.

Gardelli G. 1993. *Maiolica per l'Architettura. Pavimenti e Rivestimenti Rinascimentali di Urbino e del suo Territorio* (presentazione di P. Volponi). Urbino: Accademia Raffaello.

Höfler J. 2010. *Il Palazzo Ducale di Urbino sotto i Montefeltro (1376-1508). Nuove ricerche sulla storia dell'edificio e delle sue decorazioni interne* (traduzione di F. Bevilacqua). Urbino: Accademia Raffaello.

Pasini P.G. 1983. *I Malatesti e l'arte*. Bologna: Cassa di Risparmio in Bologna

Pasini P.G. 2002. *Malatesta Novello Magnifico Signore*. Bologna: Minerva Edizioni,

Polichetti M.L. (a cura di). 1985. *Il palazzo di Federico da Montefeltro- restauri e ricerche* (con contributo di P. Del Poggetto). Urbino: Quattroventi.

Raggio O. 1999. *The Gubbio Studiolo and its Conservation*. New York: The Metropolitan Museum.

Vitruvius (Giocondo G.). 1511. *M. Vitruvius per Iocundum solito castigatior factus cum figuris et tabula ut iam legi et intelligi possit*. Venezia: Giovanni da Tridino.

Vitruvius (Barbaro D.). 1556. *I dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio*. Venezia: Francesco Marcolini.

Sitografia

[1] http://amsacta.unibo.it/3513
[2] https://archeologiavocidalpassato.com/2021/03/29/nemi-roma-al-museo-delle-navi-e-tornato-esposto-al-pubblico-lo-splendido-mosaico-dalle-imbarcazioni-monumentali-di-caligola-recuperato-dai-carabinieri-negli-usa-osanna-ce-la-vol/
[3] https://www.cerviaemilanomarittima.org/2018/05/20/chiesa-san-martino-prope-litus-maris/

Appendice: altre mattonelle con fiori simili

Ci sono due pavimenti con fiori simili a quelli qui descritti in due luoghi certamente noti ad Alberti: Nemi, dove si recò per assolvere all'incarico di fare riemergere le navi romane, e Cervia, dove visitò la basilica dalla quale vennero prelevati i marmi destinati al Tempio Malatestiano di Rimini; quest'ultimo episodio è testimoniato dal fatto che lo stesso Alberti cita come la strada da Ravenna a Rimini fosse particolarmente piena di buche (Alberti, 2010).

La "mattonella" di Nemi [2] ha una forma particolarmente elaborata, mentre quella di Cervia [3] è estremamente semplice nella sua essenzialità; entrambe sono mostrate in Figura 9.

Fig. 9 - Il mosaico rinvenuto sulla nave di Nemi, a sinistra, e i resti del pavimento della chiesa di Cervia "San Martino prope litus maris", a destra.

Umberto di Marco, Pier Gabriele Molari

La strategia difensiva di Archimede nella fortezza di Siracusa

The defensive strategy of Archimedes in the Syracuse fortress

Sommario
La parte più avanzata della fortezza di Siracusa termina con un fossato esagonale e un proteichisma o rivellino angolato di 120° esatti. Questa parte non ha avuto fino a ora una definitiva datazione. Una più attenta interpretazione degli scritti di Filone ci permette di datare questa particolare costruzione conseguente all'apparizione delle baliste di quarta generazione, proprio nel periodo di Archimede. In questo lavoro, che segue considerazioni sulla progettazione delle baliste, già esposte in un precedente Convegno AISI, si attribuisce l'ultima strategia difensiva allo stesso Archimede. Solo lui poteva progettare la prima forma di rivellino della storia dell'architettura fortificata, parte così vitale per la difesa della città, con una inedita sezione in pianta del muro esterno che tiene conto del concetto di baricentro. Questa forma sarà ripresa soltanto milleottocento anni dopo per difendere i castelli dalla potenza dei cannoni.

Abstract
The most advanced part of the fortress of Syracuse ends with a hexagonal moat and a proteichism or ravelin at exactly 120° angled. This part has not had a definitive dating until now. A more careful interpretation of Philo's writings allows us to consider this particular construction following the appearance of the fourth-generation catapults, precisely in the period of Archimedes. In this work, which follows considerations on the design of catapults, already exposed in a previous AISI conference, the last defensive strategy is attributed to Archimedes himself. Only he could design this part, so vital for the defense of the city, and with an unprecedented plan section of the external wall which takes into account the concept of center of gravity. Thus inventing the first form of ravelin in the history of fortified architecture, a form that would be revived only one thousand eight hundred years later to defend castles from the power of cannons.

Introduzione
La balza dell'Epipole si erge alle spalle della città di Siracusa a forma di spicchio di cerchio come si vede in Figura 1.

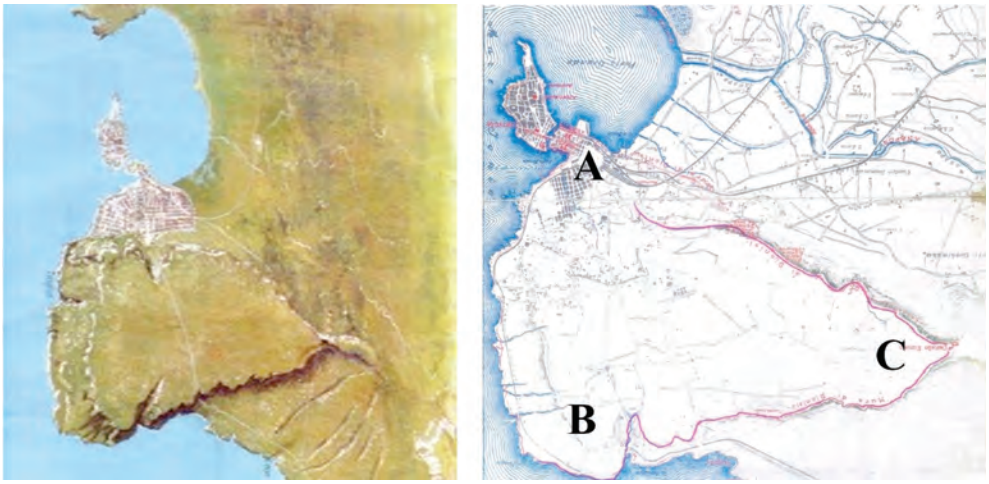


Fig. 1 - La balza dell'Epipole, Nord in basso (Di Marco e Molari, 2020).

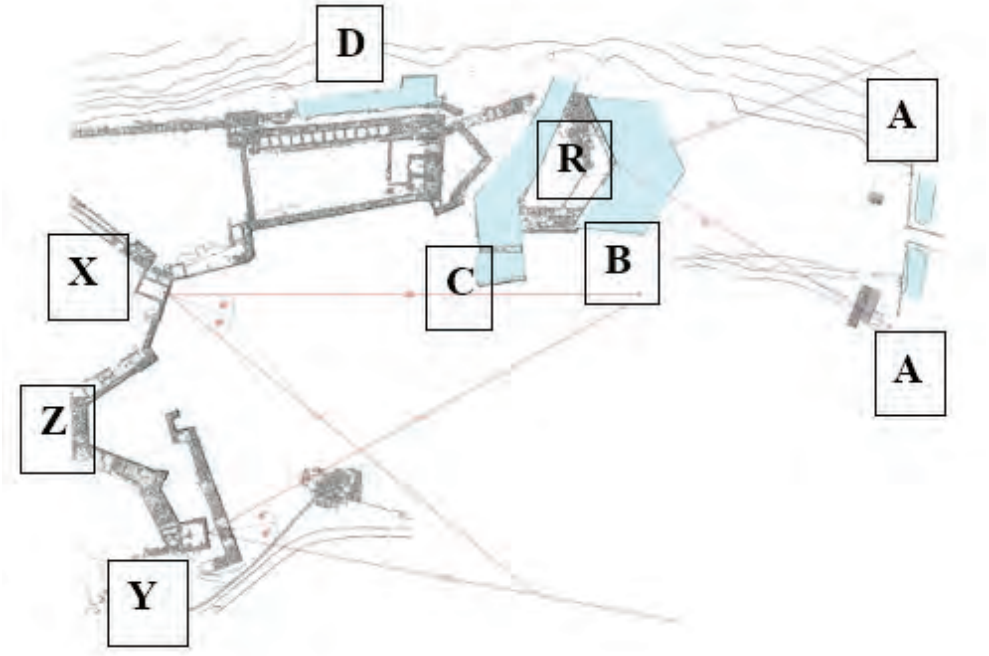


Fig. 2 - La fortezza: rilievo archeologico (Mertens e Beste, 2018). *A, B, C, D: fossati; R: rivellino; Z: porta centrale a tenaglia; X e Y: torri dalle quali potevano essere lanciate palle di maggiore calibro rispetto a quelle lanciate dalle mura e angoli coperti dai loro tiri* (Di Marco e Molari, 2020).

Nella parte più alta e stretta è situata la fortezza chiamata castello dell'Eurialo, di fondamentale importanza per la difesa della città. Marsden ne descrive la validità strategica: «Meanwhile, the Euryalus fort at Syracuse provides the best example of an elaborate defensive system designed to protect a limited front and to function independently. It forms a powerful projecting bastion which blocks what would otherwise be a naturally easy route of access to the Epipolac» (Mardsen, 1969) che si può tradurre come: «Il forte Eurialo a Siracusa fornisce il miglior esempio di un elaborato sistema difensivo progettato per proteggere un fronte limitato e funzionare in modo indipendente. Possiede un potente rivellino che blocca quella che altrimenti sarebbe una via naturalmente facile di accesso all'Epipole».

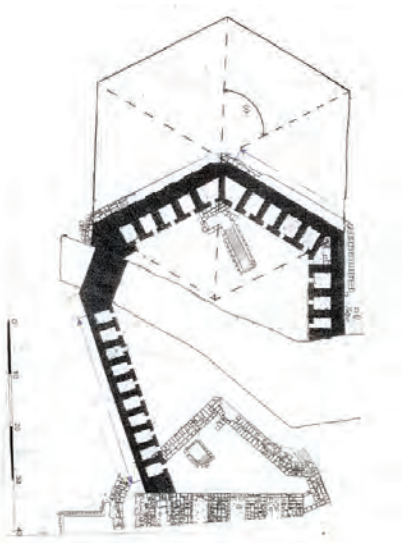


Fig. 3 - Il rivellino, R in Fig. 2: si evidenziano le mura angolate di 120° (Mertens e Beste, 2013; 2018).

Parafrasando il titolo di un bel libro di Carlo Levi, ambientato proprio in Sicilia, "Le parole sono pietre", le pietre di questa fortezza diventano parole e ci raccontano, indirettamente, l'eccezionale evoluzione costruttiva che le armi da lancio hanno avuto in circa 160 anni (402-246 a.C.) parallelamente alle fasi della costruzione del manufatto, la pianta del quale è riportata in Figura 2. Infatti, in ogni fase il progetto e l'edificazione erano proprio mirati alla difesa e a utilizzare, allo stesso tempo, il nuovo tipo di arma impiegato in quel determinato periodo: dall'arco al quarto modello di balista (Marsden, 1969; Lawrence, 1979). È proprio dalla necessità di difendersi da quest'ultimo che parte lo studio del rivellino della fortezza, per il quale non esiste ancora una ben argomentata datazione: si tratta di un'opera unica in tutta la storia dell'architettura fortificata greca e romana, dato che le sue mura hanno sezione in pianta a moduli, sono angolate di 120° esatti ed entrano in un fossato esagonale sottostante, come si evince dalla Figura 3, e come consiglia Filone (Lawrence, 1979).

La progettazione delle macchine da lancio e la difesa contro i loro proiettili

«Nella progettazione delle macchine per lanciare palle di pietra si supera la tradizione precedente della progettazione per similitudine basata su di una misura lineare presa come riferimento su un modello già costruito, e la si fa dipendere invece da considerazioni fisiche, cercando di entrare nel fenomeno, dopo averlo attentamente osservato» [1].

L'ultimo modello di balista, che Marsden denomina Mark IV, verrà per la prima volta non più costruito empiricamente ma progettato per via matematica, dimensionando, oggi diremmo a tavolino, la parte propulsiva dotata di due fasci di tendini sollecitati a torsione. Queste relazioni matematiche fra diametro del fascio e massa da lanciare rendevano la macchina modulare, facile da costruire e potentissima.

Per le baliste litobale la relazione è:

$$D = 1{,}1 \cdot \sqrt[3]{100 \cdot P}$$

dove D è il diametro ottimale del fascio di tendini espresso in dattili, con un dattilo uguale a 19,3 mm, e P è il peso della massa da lanciare espresso in mine attiche, con 10 mine attiche uguali a 4,31 kg. La relazione è espressa più dettagliatamente e commentata in [1]. Questo diametro verrà preso come modulo con il quale dimensionare tutte le restanti parti della macchina (Guzzomi, 2012), secondo lo schema riportato in Figura 4, descritto da Filone, da Pappo e ripreso da Vitruvio (Marsden, 1969; Pappus, 1588: Vitruvio, 1999; Di Marco e Molari, 2020; 2021).

Questa nuova e rivoluzionaria modalità costruttiva portò la potenza di sfondamento delle baliste da un talento, corrispondente a 26 kg, a un valore tale che per mettere un muro in sicurezza, era necessario considerare uno spessore di 10 cubiti pari a 5,25 metri, come scrive Filone (Lawrence, 1979), contemporaneo di Archimede e poco più giovane di lui.

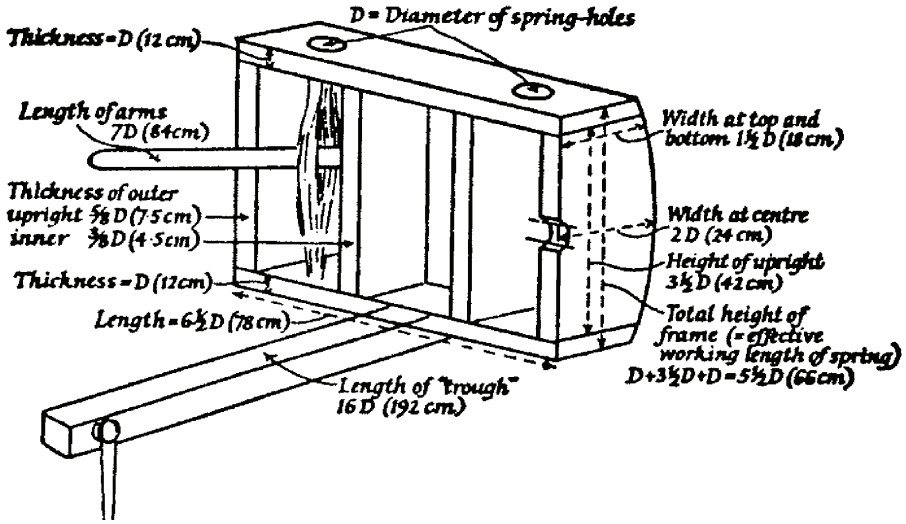


Fig. 4 - Le dimensioni della balista in funzione del modulo D preso come diametro del fascio di tendini dell'elemento motore. Nell'esempio D=12 cm e P=780 gr. (Landels, 1878).

Il rivellino della fortezza

Il rivellino è collocato in un singolare fossato esagonale, B, in Figura 5, mentre i restanti tre fossati, A, C e D sono esterni ad esso e di forma rettangolare. Il suo muro esterno ha uno spessore di circa 2,60 metri nella parte bassa e di 2,78 m in quella alta, ancora in Figura 5, ossia circa la metà dello spessore di sicurezza segnalato da Filone: 5 cubiti (2,78 m) al posto dei 10 (5,56 m), e si trova a una distanza di 120 m dal fossato più esterno A, e, come detto, è angolato di 120° esatti, riducendo così di circa il 30% la forza di impatto, secondo quanto mostrato sempre in Figura 5.

Sembra lecito attribuire questo progetto a colui che inventò un nuovo futuro, il nostro presente, quello della tecnologia scientifica: Archimede da Siracusa (287-212 a.C.), che coniugò il sapere matematico con l'essere un grande inventore e costruttore di macchine, come confermato Pappo, uno degli ultimi matematici greci, che a proposito dell'argano scrisse: «questa è la quarantesima invenzione di Archimede» (Pappus, 1588).

Le ultime ricerche archeologiche sulla fortezza, fatte da Heinz-Jürgen Beste e Dieter Mertens, quest'ultimo già direttore dell'Istituto di archeologia tedesca di Roma, cui la Sicilia deve molti studi, non attribuiscono il rivellino ad Archimede (Mertens e Beste, 2013; 2018). Questi Autori lo collocano infatti nell'ultimo periodo di Agatocle, tiranno di Siracusa dal 318 al 289 a.C., oppure al periodo subito successivo, scrivendo: «E, per concludere col nostro argomento principale, tanto meno vediamo il meccanico teorico [Archimede] partecipare alla progettazione delle opere architettoniche di difesa, per loro stessa natura di concezione statica». Tutto ciò anche se lo stesso Marsden (1971) scrive: «Therefore, in its final design, which was most probably the work of Archimedes (e.g. 220 B.C.)» che si può tradurre: «Pertanto, nel suo

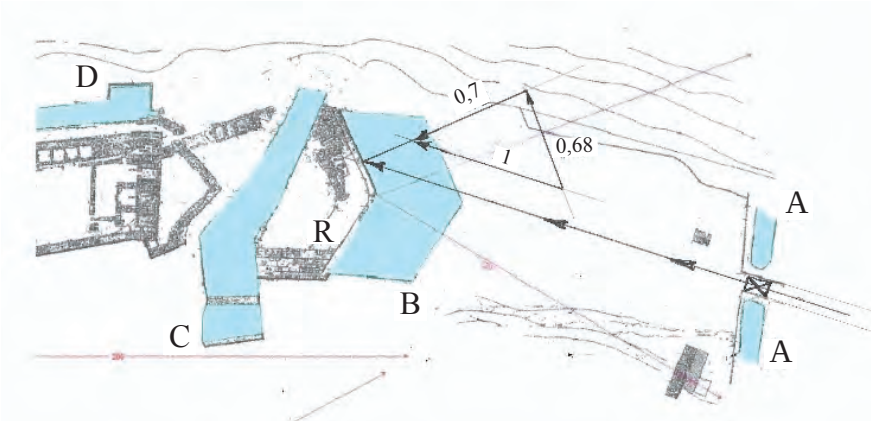


Fig. 5 - Direzione di lancio dei proiettili degli attaccanti, nella ipotesi di balista larga quanto la stradella di accesso. L'angolazione delle mura riduce di circa il 25% la forza normale al muro stesso.

progetto definitivo, che molto probabilmente è opera di Archimede (es. 220 a.C.)». Inoltre Plutarco scrive (Plutarco, 1966, vita Marcello XIV,14): «12. Dunque Archimede, che era parente e amico del re Gerone, gli aveva scritto che con una data forza è possibile smuovere un dato peso […] 13. Gerone ne fu stupito e lo pregò di darne una dimostrazione […] 14. il re ne fu colpito e, compresa l'importanza della tecnica, persuase Archimede a preparargli macchine per qualunque possibilità di assedio, che servissero da difesa e da offesa». La parola macchine qui va intesa nel senso esteso di oggetti progettati con la mekanika.

Nel seguito, si argomenta l'attribuzione di questa parte della fortezza proprio Archimede.

La meccanica e la rivoluzione di Archimede

I Greci ritenevano che gli esseri umani si distinguessero dagli animali per l'intelligenza. Ancora oggi non esiste una unica ed esatta definizione di intelligenza, ma si sa che ne esistono una decina, mentre i Greci ne individuavano due sole. Una, l'intelligenza profonda, concettuale, utile per affrontare grandi problematiche come quelle filosofiche o matematiche, dove ciò che conta è la risoluzione del problema e non il tempo di risoluzione, veniva chiamata logos. L'altra, la mètis, era invece l'intelligenza utile per la risoluzione di problemi contingenti dove il tempo è fondamentale, anche se con l'inganno[1].

La persona capace di individuare soluzioni valide, anche se con l'inganno, veniva definita mètis oppure mekanós; non a caso, l'uomo che, per definizione, nella cultura del mondo occidentale, possedette questa capacità, Ulisse, fu denominato più volte sia nella Iliade, sia nell'Odissea polimétis oppure polimekanós. Quando questa capacità "di inganno" sarà posseduta da un oggetto come la leva che, ingannando la natura, permetterà al minore di vincere il maggiore, l'oggetto, la leva, sarà chiamata mekané o in dialetto dorico mekanà. Così, quando successivamente Archimede eleborerà la teoria della mekanà, ossia la teoria della leva, nacque la mekanikè,

La progettazione delle baliste di quarta generazione che supera i metodi della teoria della leva e la costruzione del rivelino per contrastare gli effetti di queste nuove potentissime armi

Filone descrive il periodo nel quale vennero progettate e costruite le baliste di quarta generazione: Marsden (1971, p. 108) traduce dal greco con testo a fronte «*But, since we see that they [sc. previous writers] differ not only in the proportions of interrelated parts, but also in the prime, guiding factor» e più avanti: «Alexandrian craftsmen achieved this first, being heavily subsidized because they had ambitious kings who fostered craftsmanship. The fact that everything cannot be accomplished by the theoretical methods of pure mechanics, but that much is to be found by experiment*» che può essere tradotto: «Questo risultato fu raggiunto per la prima volta dai tecnici

Alessandrini forniti di ricchi mezzi donati da re che amavano la fama e la tecnologia. Che non tutto si possa ottenere con il ragionamento e con i metodi della meccanica, ma che molto debba essere scoperto con esperimenti».

Per cui il passo di Filone potrebbe essere parafrasato come: «Che non tutto si possa ottenere dalla legge dell'equilibrio della leva». Tutto ciò confermerebbe definitivamente che la "formula alessandrina" deve essere stata elaborata dopo l'invenzione della legge dell'equilibrio dei momenti da parte di Archimede.

La formula con la quale furono progettate le varie parti di una balista viene detta ricavata ad Alessandria con i mezzi messi a disposizione da «re che amavano» cioè da due faraoni successivi; in particolare, la datazione può essere fatta risalire al periodo tra Tolomeo I e Tolomeo II, cioè dal 285 al 282 a.C. per una co-reggenza tra padre e figlio, ossia, subito dopo la morte di Agatocle (289 a.C.), come affermano Heinz-Jürgen Beste e Dieter Mertens, oppure al passaggio tra Tolomeo II e Tolomeo III avvenuto nel 246 a.C. ossia durante il regno di Ierone II. Nel primo caso Archimede aveva pochi anni di vita e non avrebbe potuto contribuire a questa così importante cambiamento di mentalità, come invece fece nel pieno della propria maturità scientifica e quindi l'ultimo periodo del testo di Filone permette di stabilire che si tratta del passaggio fra Tolomeo II e Tolomeo III, quello compreso tra la fine del 247 e l'inizio del 246 a.C. quando Archimede aveva 41 anni e a Siracusa regnava Ierone II (270-215 a.C.).

In conclusione, questi riferimenti ci permettono così di spostare l'apparizione delle potenti baliste, delle quali qui si tratta, dal periodo di Agatocle o da quello subito successivo, quando Archimede aveva qualche anno di vita, a quello di Ierone II. Fu proprio sotto la potenziale minaccia di un nemico armato delle potentissime baliste calcolate matematicamente, che il re Ierone II chiamò Archimede per mettere in sicurezza la fortezza.

Il padre della tecnologia scientifica non si tirerà indietro, e disegnerà la sua "macchina" anti-baliste, angolando la parte più avanzata delle mura di 120° esatti; riducendo di circa il 30% la forza di impatto dei proiettili nemici come si vede dal triangolo delle forze riportato in Figura 5. Inoltre, Archimede, pensando che tutta la struttura reagisse se colpita da un proiettile, modificò, come più sotto dimostrato, la sezione della base delle mura con inediti rapporti geometrici usando il concetto di baricentro. Questo luogo geometrico era già noto e impiegato da Archita, ma si deve ad Archimede il contributo necessario a crearne una descrizione accurata e scientifica e soprattutto la possibilità di determinarlo per via matematica in modo da consentirne un uso pratico, come qui si dimostra.

La sezione di base del modulo delle mura e il suo baricentro

In Figura 6 è riportata la sezione quotata del modulo ricorrente a forma di T rovescia delle mura del rivellino.

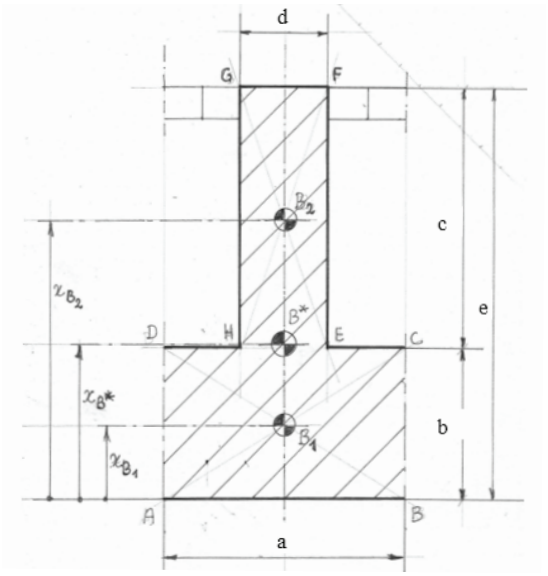


Fig. 6 - Sezione a T alla base delle mura: tipo 1 per la parte in basso nella figura e del tipo 2 per quella in alto del muro in Fig. 7. Le dimensioni in metri e in cubiti per il tipo 1 sono riportate in Tabella 1.

Dai valori delle quote, in Tabella 1, si può notare che la "base - piattabanda" ABCD ha spessore circa metà di quanto richiesto da Filone (Lawrence, 1979) per resistere all'urto dei proietti lanciati dalle baliste e che "l'anima" EFGH della sezione porta, per la sua dispersione, il baricentro di tutta la sezione B* quasi allineato con l'intradosso del muro principale.

La forma della sezione a T di tipo 1 viene mantenuta nella parte bassa del rivellino, come si può vedere in Figura 7, mentre nella parte superiore, quella più esposta al tiro, si mantiene la sezione a T di tipo 2 e che lo spessore del muro frontale della parte superiore è portato da 2,6 a 2,78 m.

La conoscenza del concetto di baricentro della intera sezione, uguagliando i momenti statici delle singole aree al momento statico dell'area totale, è ricavabile della relazione:

$$x_{B^*} = \frac{\text{area (ABCD)}\, x_{B1} + \text{area (EFGH)}\, x_{B2}}{\text{area (ABCD)} + \text{area (EFGH)}}$$

con riferimento alle aree delle singole parti nelle quali si può pensare suddivisa l'intera sezione e alle distanze del loro baricentro da una retta di riferimento, si veda la Figura 6, può portare a diminuire di circa un terzo il volume di tutta la cortina mura-

Tab. 1 - Dimensioni della sezione alla base del muro riferite alla Fig.6.

Modulo	a	b	c	d	e	x_{B1}	x_{B2}	x_{B^*}
tipo1 metri	4,2	2,6	4,78	1,5	7,38	1,3	4,99	2,76
tipo1 cubiti	8	5	9	2,1	14			
tipo2 metri	4,2	2,78	4,6	1,5	7,38	1,39	5,08	2,76

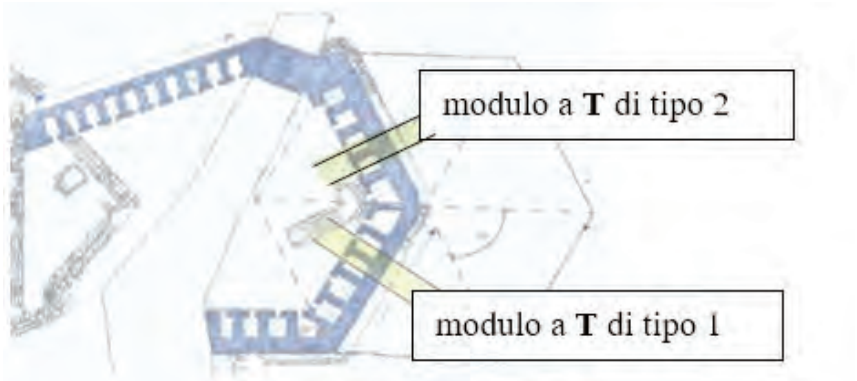


Fig. 7 - Il rivellino: due tipi di moduli a T nella ricostruzione del muro frontale (Beste, 2018). *La sezione dei moduli è riportata quotata in Fig.6. Non ci sono prove certe che i due vani trapezoidali in corrispondenza al vertice più esposto fossero della forma qui riportata e non servissero invece a rinforzare, anche con riempimenti parziali, la muratura.*

ria. Ci si può divertire a pensare che Archimede abbia trovato e applicato il teorema: "Per avere il baricentro sull'intradosso del muro, la radice quadrata del rapporto fra il passo e lo spessore dell'anima determina il rapporto fra l'altezza dell'anima e lo spessore del muro".

Considerazioni di statica

In questo modo si mantengono le stesse capacità di resistenza che si avrebbero alla base con un muro avente spessore doppio. Ciò porta a risparmiare, come già detto, circa un terzo della muratura e a realizzare numerose camere, come si vede a destra e a sinistra nella Figura 8 dove sono riportate le tipologie delle mura di quel periodo, chiudendo il vano fra gli "speroni", ossia le anime della sezione, con un muro di spessore pari a circa 0,5 m, aumentando notevolmente le dimensioni del piano superiore per consentire l'alloggiamento delle potenti macchine da lancio.

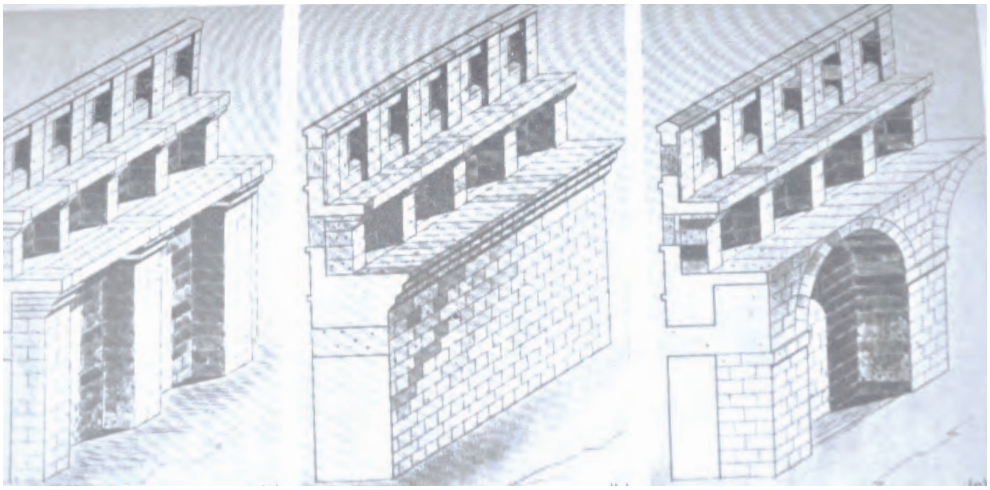


Fig. 8 - I tre tipi di muro impiegati nelle difese greche (Lawrence, 1976).

Per rendersi conto della resistenza del muro, anche considerando una forza di 3 ton perpendicolare al muro a 10 metri di altezza, i 20 cubiti di Filone per evitare l'uso delle scale, non si calcola alla base di un modulo, considerato indipendente, una tensione di trazione, ma una tensione minima di compressione pari a 1,92 daN/cm^2.

Considerazioni di dinamica

Un altro significativo concetto al quale Archimede potrebbe aver pensato è confinare all'interno del muro stesso l'azione dinamica nel piano dell'urto di un proiettile, che colpisce il muro nella parte centrale fra i due speroni, quindi nella parte più debole del muro, interessando direttamente le masse adiacenti pensate concentrate nei loro baricentri, in Figura 9. Confutando così ancora una volta la sopraripportata argomentazione portata da Mertens e Beste (Mertens e Beste, 2013; 2018) di non attribuire ad Archimede la progettazione del rivellino, considerata una progettazione statica, con la motivazione che fosse una materia della quale Archimede non era un cultore, interessandosi solo di questioni di dinamica. Difficile in questo caso tentare un calcolo delle azioni ma le cose accennate sembrano sufficienti per valutarne, almeno qualitativamente, l'effetto.

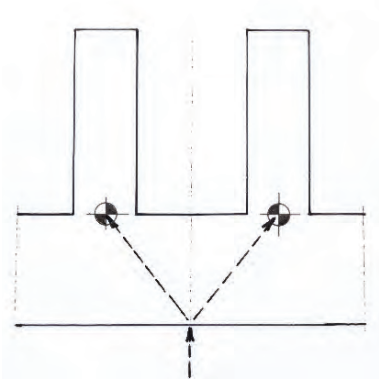


Fig. 9 - Come l'azione dell'urto di un proiettile viene trasferita nel piano alle masse adiacenti interessando i loro baricentri.

Conclusioni

La ricerca storica sull'evoluzione delle armi da lancio descritta nel passo di Filone riportato nel testo, porta a datare la costruzione del rivellino della fortezza di Siracusa, detta castello dell'Eurialo, al periodo Archimedeo.

L'evidenza di questo così pratico uso del baricentro, dovuto senza dubbio ad Archimede, porta non solo a datare questa parte della fortezza ma, anche, ad approfondire la storia della scienza che non va vista distinta dalla storia dell'umanità, cercandone il cammino storico, anche attraverso alcune radici linguistiche. Il particolare progetto delle mura, angolate di 120°, e la forma del modulo ricorrente, che fa uso del concetto di baricentro, fanno risalire al diretto coinvolgimento di Archimede nella progettazione di questa unica struttura. Ciò meravigliò ancora una volta il suo re, in quanto in questo modo venne ridotto il volume della muratura e quindi anche il suo costo, pur mantenendone inalterata la resistenza. Grazie anche a questa parte della fortezza, i Siracusani resistettero al lungo assedio di Marcello che, per conquistare Siracusa nel 212 a.C., dovette ricorrere ad altri mezzi.

Ringraziamenti

Si ringrazia il prof. Eugenio D'Anna per i preziosi consigli.

Bibliografia

di Giorgio Martini Francesco.1967. *Trattati di Architettura ingegneria e arte militare*, voll. I, II (a cura di C. Maltese). Milano: Il Polifilo.

Di Marco U., Molari P.G. 2020. Archimede ed il sistema di caricamento della balista da un talento utilizzata nell'Eurialo di Siracusa. In: *Proceedings of the 4th International Conference on History of Engineering - Atti del VIII Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), I, 393-408. Napoli: Cuzzolin Editore.

Guzzomi A.L., Maraldi M., Molari P.G., 2012. A historical review of the modulus concept and its relevance to mechanical engineering design today, Mechanism and Machine Theory 50, 1-14.

Landels J.C. 1878. *Engineering in the ancient world*. Berkeley & Los Angeles: University of California Press.

Lawrence A.W. 1979. *Greek Aims in Fortification*. Oxford: Clarendon Press.

Marsden E.W. 1969. *Greek and Roman Artillery Historical Development*. Oxford: Clarendon Press.

Marsden E.W. 1971. *Greek and Roman Artillery, Technical Treatises*. Oxford: Clarendon Press.

Mertens D., Beste H-J. 2018. *Siracusa: la città e le sue mura*. Siracusa: LetteraVentidue.

Mertens D., Beste H-J. 2013. Archimede e le mura di Siracusa. In: *Archimede Arte e scienza dell'invenzione*, Catalogo Mostra (a cura di G. Di Pasquale e C. Parisi Presicce). 36-47. Firenze-Prato: Giunti.

Pappus Alexandrinus. 1588, *Pappi Alexandrini Mathematicae collectiones a Federico Commandino Vrbinate in latinum conversae, et commentariis illustratae*. Pesaro: Hieronymum Concordiam.

Plutarco. 1996. *Vite parallele - Marcello* (traduzione di D. Magnino), XIV-14, vol. IV. Torino: UTET.

Schiefsky M.J. 2015. Tecnē and method in Ancient Artillery Construction: The Belopoeica of Philo of Bisantium. In: *The Frontiers of Ancient Science – Essays in honor of H. von Staden*, 613-651. Berlin: De Gruyter.

Vitruvius. 1999. *Vitruvius, Ten books on architecture* (I.D. Rowland, T.N. Howe Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.

Sitografia

[1] http://amsacta.unibo.it/6640/

Note

[1] A questo riguardo, è interessante richiamare il mito della dea Meti che salvò Zeus, ingoiato dal padre Cronos terrorizzato dalla profezia di essere detronizzato dal suo primo figlio maschio. Infatti, Meti offrì a Cronos una bevanda molto allettante ma, subito dopo averla ingerita, Cronos fu costretto a vomitare, sputando fuori anche Zeus che così si salvò.

Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli, Vincenzo Canzoneri

La Grande Diga sul Fiume Jato in Sicilia. Promozione, progetto e costruzione

The Large Dam on the Jato River in Sicily. Promotion, Design, and Construction

Alla memoria di Riccardo Pezzini

Sommario

Con la scorta di documenti e foto di archivio gli Autori ripercorrono le tappe di un'avventurosa iniziativa a scopo idropotabile e irriguo in provincia di Palermo. La singolare architettura della diga sul Fiume Jato, che compie cinquanta anni di esercizio, scaturisce dall'assetto dei terreni di fondazione, che rese necessaria l'integrale bonifica di una preesistente frana, la puntuale ricognizione e scopertura della formazione argillosa di base, nonché l'adeguamento in corso d'opera della soluzione per la struttura di tenuta. Il territorio di Partinico e dintorni offrì ottimi materiali sciolti e lapidei per la formazione del rilevato. La diga, promossa dal Centro Studi ed Iniziative che Danilo Dolci insediò a Partinico e in altri comuni dell'Isola a supporto della sua lotta per la trasformazione non violenta di un contesto sociale ad alta densità produttiva e mafiosa, ebbe un indubbio benefico effetto su un fertile territorio che si caratterizzava *pars iniqua.*

Abstract

With reference to archival documents, Authors retrace the stages of an adventurous multipurpose initiative in the area of Palermo. The peculiar architecture of the retaining dam on the Jato River, which has been in operation in the past fifty years, derives from the layout of the foundation soils, which required the full reclamation of a pre-existing landslide, the punctual recognition and uncovering of the bed clayey formation, as well as the adjustment of the design solution during the work progress. The territory of Partinico and surroundings offered excellent loose and rock materials for building the embankment. The dam, strongly promoted by the Centre for Studies and Initiatives founded by Danilo Dolci in Partinico and in other municipalities of Sicily to support a non-violent transformation of a social context with a high mafia density, had an undoubted beneficial effect upon a fertile territory known as *pars iniqua*.

Il territorio

Il geografo arabo Edrisi del XII secolo definì Partinico «graziosa terra, piacevole, piana, di bell'aspetto e proprio ridente, circondata di fertili poderi, ne' i quali si lavora gran copia di cotone, di *hinnah* ed altre specie di piante *quatani*; il territorio abbonda d'acque sì grosse da muover molte macine» (Amari, 1880). Nel 1955 Carlo Levi, in visita all'amico Danilo Dolci, confermò questo giudizio: «un paese felice, nutrito da un sole amico» (Varvaro, 2019). Invero, al viatore che arriva per la strada di mare o dai Monti di Palermo e l'attraversa per andare a Segesta e a Erice, Partinico appare in una splendida posizione su un'area intensamente coltivata digradante sul Golfo di Castellammare. Il fiume Jato, che l'attraversa, ha origine dal monte La Pizzuta, 1333 m s.l.m., fra i Monti di Palermo; nel tratto montano, che lambisce San Giuseppe Jato e San Cipirello, il suo corso è diretto a occidente; in contrada Fellamonica volge a nord-ovest per solcare il territorio dei centri agricoli Partinico e Alcamo; sfocia nell'ampio Golfo fra le amene cittadine costiere Balestrate e Trappeto.

Poco a monte della sezione dove la SS 113 attraversa il fiume, l'Ente per la Riforma Agraria in Sicilia-ERAS, poi Ente per lo Sviluppo Agricolo, aveva riconosciuto da tempo la fattibilità di un grande serbatoio idrico sbarrando lo Jato alla stretta Poma in località Torre Lazzarola (Jappelli *et al*., 1980). Il sotteso bacino imbrifero si estende per 164 km^2 ed è costituito in prevalenza da argille scagliose dell'Oligocene superiore e marnose del Miocene medio. In corrispondenza della dorsale orientale e nord-orientale questo complesso è a contatto con i terreni della serie rigida mesozoica, costituiti di rocce dolomitiche e calcaree del Trias superiore. Le argille emergono in tutto l'invaso; in prossimità della sezione di sbarramento, nella parte elevata dei versanti, affiorano calcareniti del Quaternario; il fondovalle è ricoperto di depositi alluvionali recenti.

Nel territorio prevalgono le tradizionali colture a giardino, limoneti, frutteti e vigneti, e le serre, nelle quali si coltivano primizie. Le restanti aree sono destinate a seminativo e a colture legnose miste, i pendii a pascoli e boschi.

La zona si è rivelata idonea per costituire un serbatoio artificiale, in Figura 1, della capacità di parecchie decine di milioni di metri cubi. All'uso idropotabile di questa risorsa nella fascia costiera, compreso l'Aeroporto Falcone e Borsellino, e nella vicina Palermo, si aggiungono la re-

Fig. 1 - Il serbatoio Poma sul fiume Jato.

golazione delle piene nel tratto vallivo del fiume e l'irrigazione di circa 9.000 ettari; recente è un piccolo impianto idroelettrico.

Il contesto

Il contesto sociale, nel quale si operò negli anni 1950-60 per portare a buon fine la grande opera pubblica, non era dissimile dal quadro tracciato da alcuni registi per rappresentare il difficile rapporto della gente e delle istituzioni con la "onorata società" (Germi, 1949; Rosi, 1962). Invero, la storia classificava l'area, in particolare i comuni Partinico e Trappeto, come quella a più alta densità produttiva e mafiosa della Sicilia (Cutrera, 1900).

Secondo un'autorevole definizione «La mafia è un'associazione per delinquere, coi fini di illecito arricchimento per i propri associati, che si impone come intermediazione parassitaria, imposta con mezzi di violenza, tra la proprietà e il lavoro, tra la produzione e il consumo, tra il cittadino e lo Stato» (Sciascia, 1991).

Per un esempio di questa oscura presenza che incombeva sulla distribuzione della risorsa idrica, può valere il seguente episodio. In quegli anni il pretore competente incaricò lo scrivente *senior* e un collega, oggi scomparso, di misurare la portata di una sorgente nel territorio di Partinico. Quel giudice zelante ci fornì gli indirizzi di una decina di persone alle quali rivolgerci per accedere e non mancò di raccomandare prudenza e sangue freddo. Dopo un primo sopralluogo, che mirava a riconoscere i luoghi e il manufatto idraulico che proteggeva la piccola opera di captazione con un robusto cancello, convocammo quei proprietari con lettera raccomandata. Nel giorno fissato, movemmo dall'Istituto di Idraulica muniti di idrometri, recipiente tarato, cronometro e quant'altro necessario per la misura. Ai convenuti spiegammo i motivi dell'ispezione e chiedemmo la chiave per aprire il cancello di accesso alla sorgente. Alla richiesta seguì l'assoluto silenzio dei presenti, nessuno dei quali dette spiegazioni. Valutato quel silenzio così carico di significato, ripiegammo con gli attrezzi, aggiornando l'appuntamento. Alla nuova data la scena si riprodusse. La formula del silenzio, chiaramente concordata fra i convenuti, nascondeva presumibilmente la preoccupazione che la conoscenza del reale valore della portata di quella sorgente confliggesse con i criteri di ripartizione del prezioso liquido, ai quali da tempo immemorabile gli utenti erano assoggettati a una locale insindacabile autorità. Dopo altri tentativi di varcare quel cancello, ci recammo dal pretore e gli riferimmo. Il brav'uomo non mostrò sorpresa e ci lasciò capire che quel risultato era atteso, ma che lui aveva esperito l'iniziativa per dovere di ufficio e per documentare quella che era solo una previsione. Non ritenne opportuno il ricorso alla forza pubblica. Il seguito della vicenda è rimasto nell'ombra.

A quegli anni risalgono il triste ronzio delle pompe con le quali gli abitanti dei piani alti di Palermo attingevano l'acqua dai punti più depressi della rete piezometrica dell'acquedotto e le interruzioni dell'erogazione per guasti e franamenti,

il forzato acquisto di acqua dai proprietari di pozzi nell'area cittadina e la tragica condizione igienica dei quartieri Brancaccio, Kalsa e Il Capo, la preoccupazione per gli ostruiti alvei Kemonia, Papireto e Passo di Rigano, l'affannosa ricerca di siti per i rifiuti della città e lo studio di idonei recapiti ai precari scarichi fognari, l'ansia per la sicurezza del sito del potabilizzatore Risalaimi, le pressanti ricognizioni per nuovi serbatoi, le speranze riposte nel nuovo Ufficio Speciale per l'Acquedotto Sussidiario di Palermo istituito dalla CASMEZ.

L'iniziativa

Ma proprio in quegli anni aveva avuto inizio sul campo l'attività del sociologo Danilo Dolci con i suoi Centri Studi ed Iniziative. Eccone una sintesi dal racconto di un suo storico collaboratore: «Dolci e un piccolo gruppo di collaboratori volontari si inserirono nel vivo della più tragica realtà siciliana, condividendo la vita quotidiana della parte più misera della popolazione locale. […] Individuati i punti chiave per un lavoro pilota in tre zone omogenee – il Golfo di Castellammare, una zona collinosa all'interno e un tratto della costa sud occidentale – nel corso del '58 aprirono a Partinico, Corleone, Roccamena e Menfi i *Centri* nei quali hanno lavorato tecnici agrari, assistenti sociali, educatori e giovani volontari con un preciso compito, senza sostituirsi alle responsabilità degli Enti locali. L'area interessava tre grandi vallate: Jato, Belice e Carboj. Sui tre fiumi, la possibilità di utilizzare più di 180 milioni di metri cubi d'acqua rappresentava la soluzione per l'avvio di un sano sviluppo socio-economico. In tal senso si mosse il Centro Studi per la completa utilizzazione delle acque del fiume Carboj, per promuovere la costruzione della diga sullo Jato a Partinico e della diga Garcia sul Belice. […] Per la demolizione delle vecchie strutture clientelari-mafiose, conservatrici e parassitarie, va vista la campagna antimafia: l'inchiesta sui rapporti mafia-politica nella Sicilia occidentale ebbe una funzione educativa con l'assunzione di responsabilità nella gente e alimentò il pubblico dibattito sul tema» (Alasia, 1973).

L'inizio della storia della diga sullo Jato può fissarsi proprio in queste coraggiose lotte per fronteggiare il costume mafioso, che negli anni Cinquanta dominava le campagne di Partinico e dintorni. L'idea prese corpo nel corso di riunioni con contadini e pescatori promosse da Dolci: «Un vecchio contadino, Zu Natale Russo, un giorno disse: "Qui d'estate per sei mesi non piove. E si produce poco o niente. Ma d'inverno piove, piove molto. E l'acqua per gran parte va sprecata. Non si potrebbe raccogliere quell'acqua in un bacile, in un grande bacile, per poi utilizzarla nell'estate?" Aveva reinventata la diga. […] In molte riunioni abbiamo verificato l'ipotesi. Ciascuno sapeva cosa era un bacile. […] I contadini stessi e un generoso ingegnere palermitano hanno individuato un bacino ove, nella stretta Poma, la si poteva probabilmente costruire. […] Col gruppo che cresceva, soprattutto braccianti disoccupati, abbiamo iniziato a muovere pressioni non violentemente robuste per ottenere dagli

enti pubblici le trivellazioni necessarie a verificare la possibilità di costruire uno sbarramento capace, con oltre 80 milioni di metri cubi di acqua, di irrigare almeno 9mila ettari. […] Ottenuti i responsi, positivi, i contadini si mobilitarono per ottenere dalla Cassa per il Mezzogiorno i progetti di massima: non era in ogni senso più economico usare energie, soldi, per rendere possibile lavoro produttivo alla gente, invece che spendere per spararle addosso e seviziarla? Un piccolo gruppo mafioso dominava il territorio, ma l'interesse per il lavoro e il bisogno dell'acqua risultarono più forti della paura. Migliaia di persone si organizzarono. Si ricorse ad un *digiuno pubblico* e allo *sciopero alla rovescia*, interrotto dalla polizia che arrestò Dolci e altri contadini, processati per sovversione e difesi da Carlo Levi, Norberto Bobbio, Guido Calogero, Elio Vittorini, Piero Calamandrei, Maria Fermi, Lucio Lombardo Radice. […] Il processo diventa un'occasione per un nuovo atteggiamento verso l'acqua. Cominciano i lavori per la diga […] Partinico si trasforma in un grande cantiere. Per la popolazione un'esperienza straordinaria: il gruppo clientelare mafioso perde prestigio. La gente non si raccomanda più ai mafiosi per ottenere lavoro. I mafiosi della zona hanno cominciato ad andare in galera. […] Quando i primi rivoli sono arrivati nella campagna estiva, la gente ballava dentro a piedi scalzi, ebbra come se fosse mosto. Da questo ampio laboratorio della valle, apprendevo che è possibile operare profondi cambiamenti sociali, economici, strutturali, senza sparare» (Dolci, 2010).

Le origini del serbatoio d'acqua sul fiume Jato risalgono più direttamente a una sorta di mozione-manifesto del 1955 che reca numerose firme, promossa da Dolci fra i contadini dell'area. Eccone qualche passo: «persuasi della necessità e della possibilità di cambiare la situazione della zona, […] una delle più doloranti e insanguinate d'Italia; […] che qualsiasi difficoltà tra uomo e uomo possa e debba risolversi solo fuori dalla violenza bruta; […] che basta costruire la diga per avere noi tutti (di Partinico, Trappeto, Balestrate) lavoro utile economicamente e spiritualmente […] non chiediamo particolari assistenze passive alla collettività. Desideriamo sia costruita al più presto la diga, immediato bene di tutti. […] La gente capiva: che era finito il tempo dei mitra, che la rivoluzione doveva cominciare dal di dentro. Basta con l'epoca in cui si sparava» (Varvaro, 2019).

«La via presa da Danilo Dolci è stata diversa, tanto diversa da essere insolita e singolarissima: è stata la via del non accettar la distinzione tra il predicare e l'agire, e del non lasciare ad altri la cura di provvedere, ma di cominciare a pagar di persona. […] il modo dunque è stato quello della partecipazione diretta, della presenza attiva […] più che un'inchiesta è una testimonianza» (Bobbio, 1955).

Alla costruzione contribuì una coraggiosa squadra di tecnici coordinati dall'intraprendente progettista cadorino ing. Pietro Vecellio; tutti quei valorosi professionisti, ormai scomparsi, l'Autore *senior*, che operò fra essi nella veste di consulente dell'ERAS, ricorda con stima e simpatia: Franco Bigalli e Renato Venuti, coprogettisti, Francesco Santoro, capo dell'Ufficio tecnico dell'ERAS e ingegnere capo dei lavori,

Giuseppe Napoli e Riccardo Pezzini, direttori dei lavori succedutisi nel tempo, Gianni Cusmano, direttore del laboratorio di cantiere, Paolo Riccobono, assistente della D.L., Ignazio Roselli, direttore del cantiere Vianini, Giuseppe Cafiso, tecnico di laboratorio, Giulio Leone, capo dell'Ufficio bonifiche della Cassa per il Mezzogiorno, che finanziò l'opera, Raffaele Rossini, capo dell'Ufficio dighe della stessa CASMEZ e Ugo Gnisci, capo dell'allora Servizio dighe del Ministero dei Lavori Pubblici.

Gli esperimenti sui terreni di fondazione e sui materiali da costruzione furono affidati al Centro Geotecnico della Sicilia presso l'Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e le prove su modelli degli scarichi all'Istituto di Idraulica di Padova; i controlli in corso d'opera furono eseguiti nel laboratorio di cantiere.

I lavori, diretti con lungimiranza con il supporto di un robusto cantiere della conoscenza, furono ispirati all'opera di Dolci che iniziò all'educazione non violenta proprietari, contadini, operai. Il consenso al doloroso esproprio dei terreni nell'area del serbatoio fu ottenuto grazie a un coraggioso atto amministrativo che per la prima volta raddoppiava l'indennità ai coltivatori diretti e ai piccoli proprietari riuniti in un consorzio guidato da Dolci (Leone, 1991).

Progetto e costruzione

La diga fu concepita come una grande costruzione di terra con il coronamento a 199,00 m s.l.m.: altezza 58,60 m, lunghezza al coronamento 396,70 m, volume del corpo diga $1{,}56 \cdot 10^6$ m^3. La quota di ritenuta normale fu fissata a 195,60 m s.l.m. e quella di massima ritenuta a 196,85 m s.l.m.; il volume del serbatoio fu stimato $72{,}5 \cdot 10^6$ m^3 e la capacità utile $68 \cdot 10^6$ m^3. Le opere di scarico furono proporzionate per una portata massima al colmo di piena di circa 1.500 m^3/s.

Per il disegno del corpo di terra nella complicata morfologia della stretta, condizionato dall'impalcatura geologica, ricostruita da Giovanbattista Floridia, e dalla disponibilità dei materiali per la costruzione (Jappelli, 2019), si veda la Figura 2.

Intorno alle quote del serbatoio la valle del fiume Jato è incisa nelle consistenti argille mioceniche che offrono ottima tenuta, ma nel sito prescelto per la costruzione, queste scompaiono sotto le più recenti calcareniti, che sono rocce lapidee tenere permeabili; in prossimità del contatto con le argille, le calcareniti sono prive della leggera cementazione che le distingue a quota più elevata e si presentano come sabbie, che inglobano strati disarticolati della più lapidea *facies* arenacea. Il contatto tra le argille e le sabbie, ricostruito con estese indagini, attraversa obliquamente la vallata; nel verso monte-valle, dopo una breve cresta, la formazione argillosa si immerge lasciando il posto alle sabbie. Delle argille le indagini dimostrarono la buona tenuta idraulica e la ridotta deformabilità, ottimali per la fondazione dell'imponente struttura della diga; sulla formazione sabbiosa, al contrario, non si ritenne prudente fare assegnamento per la tenuta; invero, questi terreni, di più recente origine, lasciavano prevedere non trascurabili cedimenti immediati sotto il carico del rilevato.

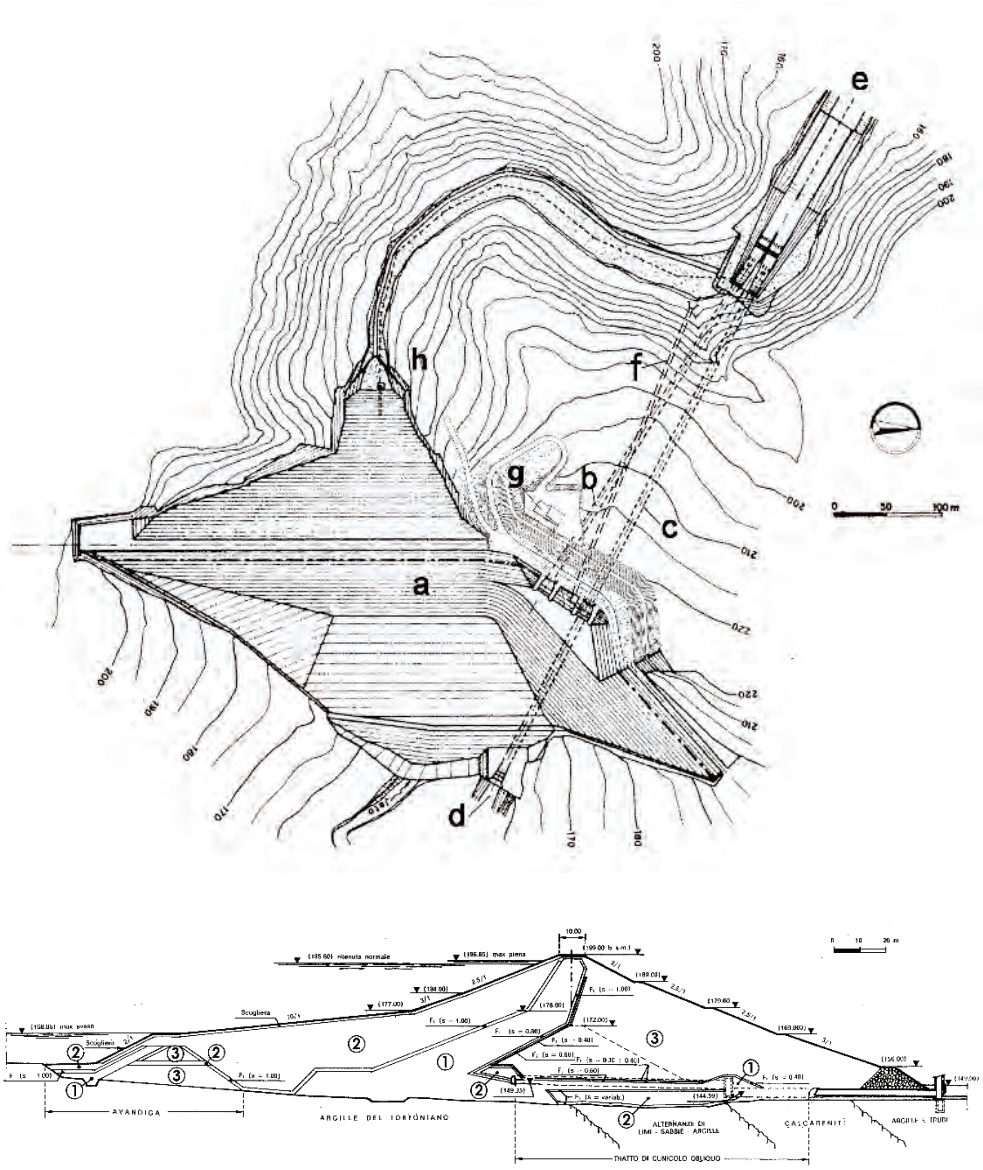


Fig. 2 - La diga Poma sul fiume Jato: planimetria, in alto, e sezione maestra e materiali, in basso. a) corpo diga; b) galleria scarico di superficie sinistro; c) galleria scarichi di superficie destro e di fondo; d) imbocco scarico di fondo; e) vasca di smorzamento; f) cunicolo per derivazione idropotabile e irrigua; g) casa di guardia; h) cabina misure; 1 detrito misto a limo; 2 pietrame calcareo; 3 arenaria (Jappelli, 2019).

Fig. 3 - Le cave dei materiali da costruzione: il detrito misto a limo in contrada Podere Reale, a sinistra, e il pietrame calcareo di contrada Belliemi, a destra.

Per la costruzione, l'ampia e circostanziata ricerca progettuale offrì la possibilità di fare assegnamento su tre materiali fondamentali: un detrito misto a limo di ridotta permeabilità; un'arenaria di scarse caratteristiche meccaniche e di media permeabilità; un pietrame calcareo di ottima resistenza e francamente drenante, dal quale si ricavarono grossi blocchi per la scogliera a protezione del rinfianco a monte e granulati di varia pezzatura per conglomerati cementizi, dreni e filtri. In Figura 3 sono illustrati i lavori di coltivazione delle cave con foto dell'epoca.

Le opere di scarico sono ubicate in sponda destra, come mostrato in Figura 4. Il fiume fu deviato attraverso la galleria dello scarico di fondo destro con un'avandiga che fu incorporata nel rilevato diga. I due sfioratori di superficie sono muniti ciascuno di due paratoie a settore di 13 m · 4 m sormontate da ventole di 13 m · 4 m. Allo sbocco, una grande vasca smorza la corrente prima della restituzione al fiume. L'imbocco della derivazione idropotabile e irrigua è collocato nel cielo della galleria dello scarico di fondo destro a monte della camera di manovra delle paratoie dello scarico di fondo; la tubazione metallica del diametro di 1.800 mm corre in cunicolo fino all'edificio di ripartizione e sollevamento, dove l'acqua viene avviata, rispettivamente, alle zone irrigue e alla potabilizzazione tramite l'adduttore Jato.

Il complicato rapporto tra le argille e la più recente formazione arenacea stratificata, che si risolve nell'area della stretta con la scomparsa delle argille che si immergono verso valle e con l'affioramento della formazione arenacea in sponda destra, condizionò la fondazione della struttura di tenuta, che fu necessario fissare dovunque con sicurezza nelle argille, seguendone il tetto con la suola del nucleo, ma influenzò anche il disegno del corpo diga che scaturì dalla esigenza di garantire un'accettabile sicurezza e a un tempo una sufficiente tenuta con il detrito misto a limo, limitando il ricorso al pregiato pietrame calcareo.

Nel rispetto di queste condizioni, la ricerca progettuale si concluse distinguendo il corpo diga in zone, alle quali furono attribuite funzioni differenti. Il nucleo è

Fig. 4 - Le opere di scarico in sponda destra: a sinistra gli imbocchi dei due sfioratori, in alto, e l'imbocco dello scarico di fondo, in basso; a destra la vasca di dissipazione e la restituzione a valle.

costituito dal detrito misto a limo; esso spicca da un'ampia suola ammorsata nella formazione argillosa di base. Questa struttura di tenuta nasce nella spalla sinistra del rilevato in posizione centrale; procedendo lungo l'asse longitudinale verso la sezione maestra della diga, il nucleo arretra gradualmente verso monte e si rastrema con inclinazione crescente verso valle, affinché la suola trovi sicuro ammorsamento nelle argille di base; in prossimità della sponda destra, dove l'asse diga volge la concavità a monte, il nucleo emerge dal corpo del rilevato trasformandosi in un manto a tenuta che avvolge quella sponda permeabile, nella quale sono impostati gli imbocchi dello sfioratore, come illustrato in Figura 4, a sinistra.

Intorno alla massima curvatura dell'asse longitudinale, la struttura di tenuta, integrata in fondazione da una paratia, fu resa localmente più robusta, curando nel disegno il graduale raccordo tra nucleo e manto, ai quali furono assegnate le massime dimensioni compatibili con il volume del materiale disponibile e con la sicurezza allo scivolamento del rilevato verso monte. Il nucleo fu rinfiancato a monte con un'ampia zona formata con il pietrame calcareo, sulla cui funzione drenante e resistente si fece sicuro affidamento in ogni verifica al rapido svaso del serbatoio; con il medesimo materiale fu protetto il nucleo-manto che garantisce la tenuta in sponda destra al di sopra delle argille. A valle il nucleo fu rinfiancato con la meno costosa arenaria; l'intero fianco fu contenuto al piede da un robusto zoccolo di pietrame. Il paramento fu ricoperto di terra vegetale, come mostrato in Figura 5.

In considerazione delle disuniformi caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione, sembrò opportuno conferire la massima robustezza alla soluzione con altri provvedimenti poco costosi. Fra questi, un programma dei lavori che anticipò sul nucleo la costruzione di una grande porzione del fianco valle con arenaria scelta; questo

Fig. 5 - Il rilevato in costruzione dalla spalla destra e da valle con il mantello vegetale.

corpo francamente drenante, che si elevò fino a 172 m s.l.m. ebbe la funzione di precarico per anticipare i cedimenti della formazione sabbiosa e per costituire un più sicuro letto di posa al nucleo inclinato, del quale con quel provvedimento si intese prevenire in qualche misura il possibile lesionamento. Di altri importanti particolari si ebbe cura per proteggere il manufatto con filtri, dreni e transizioni dagli effetti indesiderati dei noti fenomeni che possono manifestarsi ai contatti tra materiali diversi, specie in presenza di acqua in moto nel corpo diga.

Nel corso dei lavori si richiesero adattamenti locali delle previsioni progettuali al reale profilo dei terreni, che fu necessario scoprire sull'intera area di impronta della diga asportando la coltre superficiale con un ampio scavo di sbancamento generale. In questa coltre ricadeva in spalla sinistra anche il corpo di una frana quiescente, che fu bonificata per asportazione.

I materiali adoperati per la costruzione furono sottoposti a un continuo e severo controllo nel laboratorio appositamente installato in cantiere.

La diga fu dotata della strumentazione necessaria per la misura delle principali grandezze che ne rivelano il comportamento nel tempo.

La costruzione incominciò nel 1963 e fu ultimata nel 1968. L'invaso ebbe inizio nello stesso anno e raggiunse la quota massima 196,08 m s.l.m. il 13 aprile 2005.

I lavori sopportarono due piene a seguito di intense precipitazioni. Un primo evento avvenne nella notte tra il 21 e il 22 gennaio 1965: la piena provocò l'allagamento dell'area degli scavi della diga e della vasca di dissipazione, la cui costruzione era da poco avviata, nonché il crollo di un ponte di servizio in zona stretta. Dal Servizio Idrografico del Genio Civile risultò un valore di portata di 213 m^3/sec alle ore 24 del 21 gennaio. Sul secondo evento del 22-23 aprile 1966, le poche informazioni discendono dalla documentazione fotografica che mostra lo sbocco dell'acqua dalla galleria di scarico destra e l'area inondata della vasca di dissipazione, le cui strutture non erano ancora ultimate.

Il comportamento delle opere

Dai dati storici della strumentazione disponibili fino al 1998, trent'anni dopo l'ultimazione dei lavori, si desume, in generale, un andamento regolare dei cedimenti e una marcata tendenza all'esaurimento. Le perdite appaiono modeste con valori massimi pari a circa 1,5 l/s. La strumentazione geotecnica, come accade, è andata quasi del tutto fuori servizio e le misure oggi disponibili sono poco rappresentative del comportamento dell'opera, a eccezione dei valori di portata filtrante che continuano a oscillare nell'intorno dei campi di variazione osservati in passato.

Successivi studi hanno dimostrato che la risposta dinamica della diga e delle opere accessorie nei confronti dello stato limite di esercizio soddisfa anche le più recenti disposizioni. Con la batimetria del 2021 è stato rilevato un grado di interrimento del serbatoio del 6% con un tasso medio annuo di 0,12%; il rimboschimento della fascia di rispetto ha contenuto presumibilmente i fenomeni di erosione del mantello superficiale del terreno intorno al serbatoio.

L'utilizzazione

Le risorse idriche dell'invaso Poma sono utilizzate dal Consorzio Irriguo Jato, ma la vetustà della rete di distribuzione a gravità, con perdite fino al 50%, affligge gran parte dei circa 9.000 ettari potenzialmente serviti e impedisce allo stato un'affidabile programmazione colturale.

L'alimentazione degli acquedotti della Città metropolitana di Palermo e di Terrasini, Cinisi, Capaci e Isola delle Femmine avviene dopo un trattamento nel potabilizzatore Cicala, poco a Nord dell'invaso. Anche tale impianto richiederebbe un rinnovo funzionale allo scopo di assicurare la continuità del servizio; infatti, l'intorbidimento delle acque del serbatoio a seguito di forti nubifragi comporta la chiusura dell'impianto per periodi a volte prolungati, con sospensione dell'erogazione e disagi alle utenze.

In tempi recenti lungo la condotta di adduzione, poco oltre lo sbocco della galleria di derivazione, è stata installata una piccola turbina per la produzione di energia idro-elettrica che permette anche di coprire un'aliquota delle spese per il consumo di energia elettrica nell'ambito della diga.

Nel 1994 il bacino Poma è stato classificato dal Piano Faunistico-Venatorio Regionale oasi di protezione e rifugio della fauna con la finalità di promuoverne la conservazione. La splendida cornice del lago ospita competizioni di canottaggio regionali e nazionali e le rive sono ideali per passeggiate a cavallo.

L'irrigazione delle terre ha dato origine a numerose aziende e cooperative, occasioni di lavoro. Sono sorte anche iniziative sperimentali su terreni confiscati alla mafia, come il *Food Forest*, modello di "bosco edibile" compatibile con la conservazione del suolo, della biodiversità e del risparmio di acqua.

Considerazione conclusiva

Nel consegnare agli Atti del 10° Congresso Nazionale AISI il presente compendio delle vicende che negli anni Cinquanta diedero origine al progetto e alla costruzione di una grande opera idraulica ormai storica, gli scriventi ne constatano con soddisfazione il buon comportamento e rilevano quanto i lungimiranti insegnamenti per un progresso sociale fondato su metodi non violenti siano stati efficaci per una graduale trasformazione del territorio nel quale l'opera è inserita (Jappelli *et al*. 2023).

Fig. 6 - La marcia di una settimana per il lavoro promossa da Danilo Dolci nel 1967.

Invero, l'eredità di Dolci con la sua esemplare opera consiste nell'insegnamento che il radicato costume mafioso si contrasta con una paziente educazione diffusa, con l'attiva presenza nelle istituzioni, nelle scuole, nelle campagne, nelle manifestazioni come quella in Figura 6, ma, soprattutto, con azioni capillari concrete di creazione di lavoro.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano la famiglia di Riccardo Pezzini, che fu competente direttore dei lavori della diga Poma, per avere messo a disposizione alcune fotografie eseguite in cantiere.

Bibliografia

Alasia F. 1973. *L'acqua come libertà; nasce la diga Jato*. Nota sul Centro Studi e Iniziative di Partinico.

Amari M. 1880. *Biblioteca arabo sicula*. Loescher, Torino-Roma.

Bobbio N. 1955. Prefazione. In: D. Dolci, *Banditi a Partinico*. Quarta Edizione. Palermo: Sellerio.

Cutrera A. 1900. *La mafia e i mafiosi*. Palermo: Reber Ed.

Dolci D. 2010. *Il potere e l'acqua. Scritti inediti*. Milano: Melampo.

Germi P. 1949. *In nome della legge*. Film.

Jappelli R. 2019. *L'architettura interna di una diga di terra*. L'Acqua, 1, 15-26.

Jappelli R., Bigalli F., Dolcimascolo F., Pezzini R., *et al*. 1980. Dighe in Sicilia. In: *Proceedings of 48th ICOLD Executive Meeting*, Roma. Milano: Maingraf.

Jappelli R., Canzoneri V., Jappelli V. 2023. Il serbatoio Poma sullo Jato creato da una grande diga di non violenza in terra di mafia. In: *I Cento Anni AII*, L'Acqua 6, 359-394.

Leone G. 1991. Considerazioni sul consenso privato e pubblico e sui problemi di finanziamento. In: *Atti del Convegno Nazionale Le crisi idriche in Italia – Necessità di nuovi serbatoi*, AII - CIGD, Roma 13-14 novembre 1991. Accademia dei Lincei.

Rosi F. 1962. *Salvatore Giuliano*. Film.

Sciascia L. 1991. *La storia della mafia*. Quaderni Radicali, 30-31, XV.

Varvaro P. 2019. La Rivoluzione dal di dentro. In: D. Dolci, *Banditi a Partinico*. 409-421. Quarta Edizione. Palermo: Sellerio.

Arturo Armone Caruso

Il progetto del grande ospedale di Napoli di Camillo Guerra e Girolamo Ippolito

The project of the great hospital of Naples by Camillo Guerra and Girolamo Ippolito

Sommario
Nella prima metà degli anni ’20 del XX secolo nacque nella città di Napoli la necessità di rimodulare l’assistenza sanitaria e segnatamente quella ospedaliera. Per tale motivo si decise di costruire un nuovo ospedale nella zona collinare della città. Fu indetto un pubblico concorso al quale parteciparono due importanti ingegneri, Girolamo Ippolito (1891-1975) e Camillo Guerra (1889-1960), che progettarono un nosocomio da costruire nell’attuale area dell’Ospedale Cardarelli. Nel loro progetto, fu ipotizzata anche la costruzione di un teatro anatomico che doveva essere inserito nell’edificio posto all’ingresso secondario della struttura ospedaliera. I documenti esaminati dimostrano come l’importanza degli studi anatomici fosse ben contemplata nella organizzazione da loro proposta. Il loro progetto non fu eseguito e venne realizzato l’ospedale ideato da Alessandro Rimini (1898-1976), più essenziale, con una disposizione completamente diversa e con una visione riduttiva dello studio anatomico.

Abstract
In the first half of the 1920s, in the city of Naples, the need arose to reshape healthcare, particularly in terms of hospital care. For this reason, it was decided to build a new hospital in the hilly area of the city. A public competition was announced in which two important engineers, Girolamo Ippolito (1891-1975) and Camillo Guerra (1889-1960) participated, designing a hospital to be built in the current area of the Cardarelli Hospital. In their project, they also envisioned the construction of an anatomical theater to be integrated into the building at the secondary entrance of the hospital structure. The examined documents examined demonstrate how the significance of anatomical studies was well-considered contemplated in their proposed organization. Their project was not executed and the hospital designed by Alessandro Rimini (1898-1976) was implemented, which was more essential, with a completely different layout and with a reduced vision of the anatomical study.

Introduzione

Come ormai è noto l'ospedale che oggi conosciamo come "Antonio Cardarelli" di Napoli origina da un progetto riguardante la riorganizzazione sanitaria assistenziale, avvenuta a Napoli tra il 1925 e 1930, in base a un programma voluto dall'Alto Commissario per la città e Provincia di Napoli (Alto Commissariato per la Provincia di Napoli, 1930, p. 1)

In quel periodo, l'assistenza ospedaliera era assicurata, oltre che dalle Cliniche Universitarie[1], allocate nella regione di S. Aniello a Caponapoli, alcune delle quali, per speciali convenzioni col Comune, funzionavano tutto l'anno, anche dalle seguenti strutture (Alto Commissariato per la Provincia di Napoli, 1930, p. 443):

1) gli Ospedali Riuniti di Napoli[2], che costituivano il maggior gruppo ospedaliero e comprendevano tre ospedali:
   – gli Incurabili[3], per le malattie mediche e chirurgiche sub-acute e acute e per la maternità;
   – l'Ospedale Gesù e Maria[4], per le patologie chirurgiche e mediche acute e subacute;
   – l'Ospedale della Pace[5], per le patologie dermatosifilopatiche. Ciascun ospedale era provvisto di un pronto soccorso e di ambulatori;
2) l'Ospedale dei Pellegrini[6], per le patologie chirurgiche e traumatiche, gestito dall'Arciconfraternita dei Pellegrini
3) l'Ospedale Domenico Cotugno[7] per le malattie infettive, gestito dal Comune e che funzionava sia per gli ammalati contagiosi della città, sia per quelli della provincia e quelli in arrivo per via marittima.
4) gli Ospedali gestiti dal Regio Albergo dei Poveri:
   – l'Ospedale Loreto[8], ove venivano ricoverati i malati provenienti dallo stesso istituto, con un pronto soccorso e uno speciale reparto di traumatologia per la zona orientale della città;
   – l'Ospedale della Vita[9], specializzato per gli infermi di tubercolosi polmonare;
5) gli ospedali gestiti dal Pio Monte della Misericordia:
   – l'Ospedale Elena d'Aosta[10],per i cronici di Medicina a Chirurgia;
   – l'Ospedale Paolina Ranieri[11],con speciale riguardo alla patologie chirurgiche;
6) gli Ospedali gestiti dal R. Ospizio dei SS Pietro e Gennaro extra moenia:
   – l'Ospedale Gustavo Morvillo[12], per infermi cronici;
   – l'Ospedale, Ascalesi[13],per alcune specialità, fra le quali anche uno dei primi reparti di Otorinolaringoiatria [1].
7) l'Ospedale Pausilipon[14], gestito dall'omonima opera, per i bambini con patologie mediche e chirurgiche e con annessa sala elioterapica;
8) l'Ospedale Lina Fieschi Ravaschieri15, per i bambini affetti da malattie chirurgiche;
9) l'Istituto Teresa Ravaschieri[16], specializzato in ortopedia pediatrica, con un reparto ai Bagnoli per le cure balneo-climatiche;

10) l'Ospedale dei preti poveri infermi cronici[17], specializzato per il ricovero secondo il proprio statuto.

A seguito della riorganizzazione assistenziale, nacque la necessità di rimodulare il numero dei posti letto e fu deciso di costruire un nuovo nosocomio, visto che la ristrutturazione di quelli esistenti, in particolar modo di quello degli Incurabili, era particolarmente onerosa e complicata. Per tale motivo fu indetto un concorso per la costruzione di un nuovo ospedale nella zona alta della città di Napoli, nell'attuale sede del Cardarelli.

Il 27 agosto 1926 l'Alto Commissario della Provincia di Napoli bandì un appalto-concorso per la edificazione del nuovo grande Ospedale per la Città. Il Capitolato relativo a questo appalto-concorso prescriveva le seguenti specifiche: il numero complessivo dei posti letti dell'Ospedale doveva essere pari a 1020; l'ospedale doveva prevedere padiglioni a due piani e la località in cui costruire era quella racchiusa tra via dello Scudillo, la via Miano-Agnano, via dei Cangiani, Cupa dei Gerolomini e i terreni che degradavano verso le Fontanelle. Si lasciava ai progettisti ampia libertà per la distribuzione, l'ubicazione e il numero dei fabbricati.

Facendo seguito a questo bando, Girolamo Ippolito (1891-1975) e Camillo Guerra (1889-1960) presentarono un progetto inerente alla costruzione di questo ospedale. Lo studio, non approvato molto probabilmente per alcuni aspetti economici (Voltan, 1999, pp. 129-134, note p. 134), fu pubblicato circa sei anni dopo (Ippolito e Guerra, 1933) che fu dichiarato privo di effetto il decreto che bandiva il concorso e che al progetto provvide il Genio Civile; gli autori non furono privi di critica alla bocciatura del loro lavoro: «Conforto alla nostra appassionata fatica lo troviamo solo nel fatto che il progetto che si va eseguendo nella distribuzione planimetrica ha eseguito molto da presso il nostro; come ha voluto seguire anche la nostra ispirazione della architettura seicentesca napoletana, senza raggiungere per tanto, occorre dirlo, quella squisitezza stilistica e di carattere che eravamo riusciti ad infondere al nostro studio» (Ippolito e Guerra, 1933, p. 4).

Piano generale del progetto

Il disegno dell'ospedale, in Figura 1, prevedeva la costruzione di padiglioni, ampliabili per numero, su un'area di 244.000 m^2, corrispondente a 163 m^2 per letto. La distanza proposta tra le pareti affacciate di due padiglioni contigui destinati ai malati non risultava mai minore di 60 m, ossia tre volte e mezzo l'altezza dei padiglioni stessi sul suolo, altezza che compreso il tetto non raggiungeva i 17 metri. Inoltre, la distanza minima fra gli spigoli di due fabbricati, posti in diagonale, era prevista di almeno 34 m, il doppio dell'altezza.

Il piano di esecuzione immediato prevedeva la costruzione di 500 posti letto di medicina in 5 padiglioni, 300 posti letto di chirurgia in 4 padiglioni, 100 posti let-

to di maternità in 1 padiglione, 50 posti letto di oculistica in 1 padiglione e 50 posti letto misti medico-chirurgici in stanze separate. Il programma di ampliamento definiva altri 300 posti letto di medicina in 3 padiglioni e160 posti letto di chirurgia in 2 padiglioni.

Oltre a queste strutture erano previsti, quali servizi ordinari e accessori, amministrazione, accettazione infermi e servizi di guardia, osservazione infermi e bagni, ambulatorio, impianti di terapia fisica, impianto radioscopico e radiologico, farmacia centrale, armamento centrale, cucina e dispense, lavanderia e disinfezione, isolamenti contagiosi, cappella e alloggio suore, alloggio infermiere, istituto anatomo-patologico e servizio mortuario e stabulari per animali da esperimento. Tale strutturazione rispecchiava l'organizzazione degli Ospedali Riuniti di Napoli, riassumenti i criteri organizzativi di cui si erano formati i servizi ospedalieri della Città.

Fig. 1 - Pianta dell'ospedale (Ippolito e Guerra, 1933).

L'area su cui era ipotizzata la costruzione dell'Ospedale aveva forma triangolare e, per unire i vari padiglioni, si ipotizzarono viali carrozzabili ai quali si aggiungevano viali secondari maggiormente pendenti, interrotti da scale per abbreviare i percorsi pedonali. Furono, inoltre, previsti dei sotterranei per il passaggio degli alimenti e del personale. Per risolvere il problema della pendenza furono previsti degli ascensori.

L'aspetto dei padiglioni ricordava, sotto certi aspetti, le linee architettoniche semplici degli istituti di beneficenza del barocco napoletano, come quello del Real Albergo dei Poveri.

Tra le varie strutture, due avevano delle proprie peculiarità: l'ingresso principale, il cosiddetto padiglione centrale, dove erano previsti tutti gli uffici amministrativi e di rappresentanza e i servizi di accettazione, guardia e ispettorati, e l'ingresso posteriore, in Figura 2, con il padiglione per l'Istituto di Anatomia e Patologia chirurgica, in Figura 3, nel quale era previsto il teatro anatomico. Gli altri padiglioni erano caratterizzati da una precisa distribuzione territoriale, seguendo una precisa logica clinico diagnostica. Dal progetto si evidenzia che l'intero nosocomio nasceva come una piccola città ospedaliera, cosa che si ritrova nel progetto della "Città Universitaria" di Guerra (Guerra, 1944). Tra i padiglioni, emerge uno che rende chiaro il pensiero dei progettisti: il teatro anatomico, disegnato in funzione del movimento degli studenti in medicina (Ippolito e Guerra, 1933, p. 45) che dovevano accedere all'anfiteatro e alle sale di dissezione, il cui ingresso principale era costituito da una adeguato accesso posto di fronte all'atrio, in fondo al corridoio.

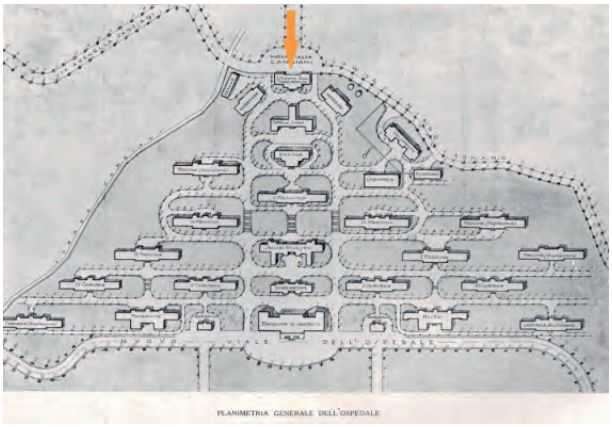


Fig. 2 - Pianta dell'ospedale con indicazione dell'ingresso posteriore (Ippolito e Guerra, 1933).

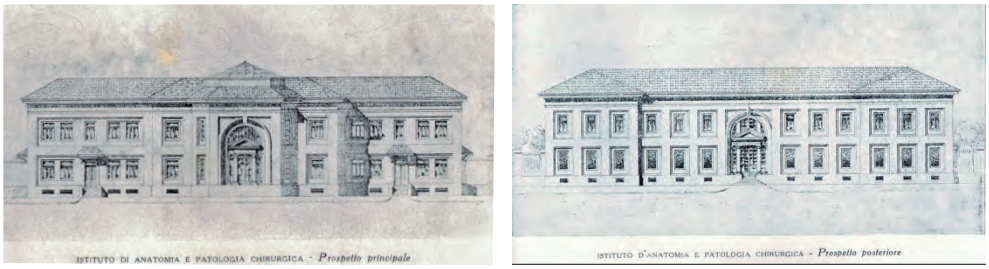


Fig. 3 - Istituto di Anatomia e Patologia chirurgica: prospetto principale (Ippolito e Guerra, 1933, p. 44)*, a sinistra, e prospetto posteriore* (Ippolito e Guerra, 1933, p. 45)*, a destra.*

Per la ottimizzazione degli spazi, l'edificio fu progettato su due piani. Dallo studio delle piante si evince il ruolo fondamentale del Teatro Anatomico: posizionato al centro del padiglione, aveva una capacità superiore a cento allievi e occupava l'intera altezza del primo piano. Le Figure 4 e 5 evidenziano una netta divisione dell'Istituto: la parte superiore è destinata al percorso dello Studio dell'Anatomia, da sinistra verso destra, mentre quella inferiore, divisa da un corridoio longitudinale, è destinato ai servizi della struttura.

Dalla pianta del piano terra, si evince come fu ipotizzato l'intero percorso inerente l'attività degli studi anatomici, in accordo con le più recenti metodologie dell'epoca (Salvi, 1929, p.3). L'ingresso dei cadaveri da osservare avveniva a sinistra dello stabile, dove era prevista una sala detta di "osservazione", collegata tramite un segnalatore elettrico con quella del custode. Il cadavere veniva poi portato nei due ambienti di disinfezione: quello anteriore doveva essere, presumibilmente, usato per radere il cadavere, quello posteriore per lavarlo e disinfettarlo. Di là poi si passava nel vero

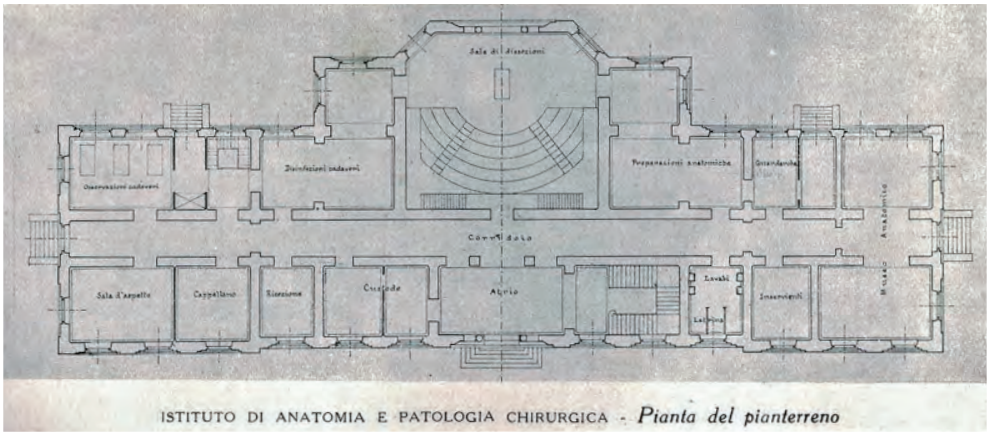


Fig. 4 - Istituto di Anatomia e Patologia Chirurgica e Teatro Anatomico: pianta del piano terra (Ippolito e Guerra, 1933, p. 44).

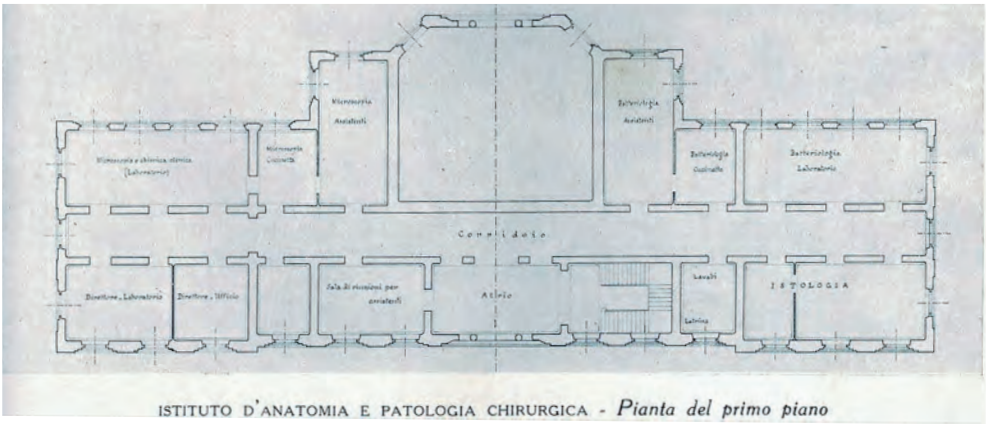


Fig. 5 - Istituto di Anatomia e Patologia chirurgica: pianta del primo piano (Ippolito e Guerra, 1933, p. 45). *Al centro dell'immagine si nota lo spazio dedicato alla parte superiore del Teatro Anatomico.*

e proprio Teatro, dove la disposizione del tavolo anatomico era progettata in modo tale da ricevere la luce nel miglior modo possibile. Furono previste anche due sale di preparazioni anatomiche: quella posteriore probabilmente doveva servire a prelevare i pezzi anatomici che poi, nella sala anteriore, dovevano essere ulteriormente studiati. Il cadavere, poi, una volta ricomposto nella bara, doveva uscire nel piazzale posteriore dall'altro ingresso, "nascosto agli occhi indiscreti". A tal proposito è da segnalare il connubio tra due aspetti, quello legato alla necessità dell'indirizzo anato-

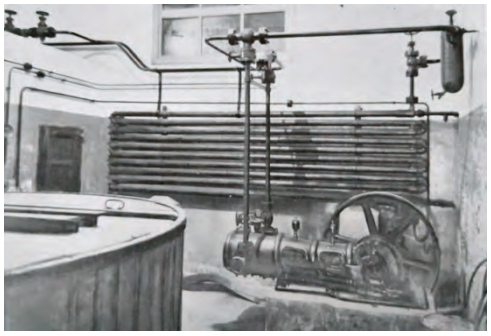


Fig. 6 - Istituto di Anatomia Umana: impianti frigoriferi (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, p. 369).

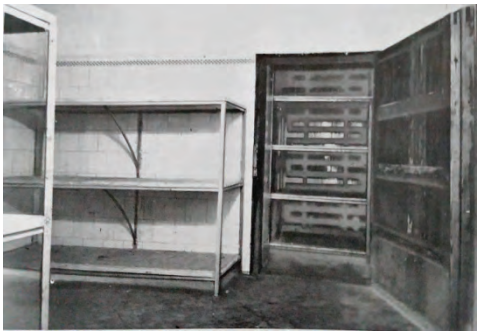


Fig. 7 - Istituto di Anatomia Umana: sala di Conservazione di pezzi anatomici (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, p.370).

La Morgue - Sala per esposizione cadaveri.

La Morgue - Celle figorifere per deposito cadaveri.

Fig. 8 - La Morgue: sala per esposizione dei cadaveri (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, p. 537), *a sinistra, e celle frigorifere per il deposito dei cadaveri* (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, p. 538), *a destra.*

mico degli studi di medicina e quello che si collega al rispetto dell'Uomo, attraverso la riservatezza dell'altrui sofferenza.

Altro aspetto importante da rilevare è la presenza, nei sotterranei, di celle frigorifere, in Figura 6, usate per la conservazione dei cadaveri e raggiungibili con ascensori dedicati. Questi ambienti dovevano essere non molto dissimili da quelli dell'Istituto di Anatomia dell'Università, di cui nella Figure da 6 a 8 sono riportati alcuni ambienti (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, pp. 369-370, 537-538).

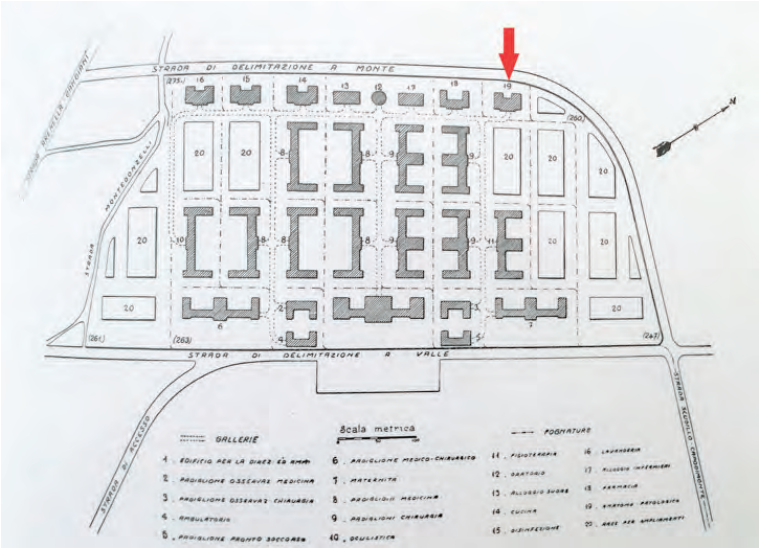


Fig. 9 - "Nuovo Ospedale di Napoli" progettato da Alessandro Rimini: planimetria. Come si vede dall'immagine l'impianto è più essenziale e contratto. Non si evince più il Teatro Anatomico. Si può osservare, indicata dalla freccia, una piccola struttura corrispondente al Padiglione di Anatomia Patologica (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, p. 449).

Nella progettazione dell'Ospedale, eseguita da Ippolito e Guerra, si evince come l'organizzazione dell'insediamento non solo rispettava l'orografia dell'intera area, ma rilevava l'importanza degli studi anatomici in ambito ospedaliero; non a caso, costituiva l'ingresso posteriore dell'ospedale con una propria identità strutturale.

Il progetto di Alessandro Rimini (1898- 1976), che come detto è quello che fu realizzato, è basato su una concezione completamente diversa. Infatti, l'intera sistemazione dei padiglioni è più essenziale: essi assumono una posizione più "contratta" cui è associato uno sbancamento completo del terreno. In particolare, la divisione di anatomia patologica risulta essere meno imponente rispetto a quella del progetto di Ippolito e Guerra e ha una posizione defilata nell'ambito del complesso, come mostrato in Figura 9.

Conclusioni

Il piano del Nuovo Ospedale di Napoli di Ippolito e Guerra, mai realizzato, dimostra come i due ingegneri avessero una visione anatomico-centrica dello studio delle malattie, supportata da una visione pluridisciplinare delle patologie.

Il progetto era caratterizzato da una disposizione dei padiglioni, pensata per facilitare l'interazione tra i diversi reparti; la rete viaria superficiale e sotterranea, che

garantiva qualsiasi tipo di movimentazione e la presenza del verde sono elementi peculiari di questa struttura complessa, non solo per la vastità, ma anche per l'orografia dei luoghi che comportò l'uso di scale e ascensori esterni per superare le pendenze.

Il progetto è una novità assoluta per la città di Napoli, dove fino a quel momento le strutture ospedaliere erano state ospitate o realizzate in ambienti che inizialmente avevano un'altra destinazione d'uso.

In ultimo, l'individuazione del territorio sul quale è nato il nosocomio ha contribuito alla modifica della destinazione d'uso dell'intera zona, che da prevalentemente rurale diventa luogo di cura con l'edificazione del Sanatorio Antitubercolare, l'attuale Ospedale Monaldi, avvenuta nel 1940, e quella del Nuovo Policlinico, tra il 1964 e 1971.

Bibliografia

Alto Commissarioper la Provincia di Napoli. 1930. *Napoli-Le opere del regime dal settembre 1925 al giugno.1930*. Napoli: Francesco Giannini & Figli.

Amirante G. 2010. *Napoli. Policlinico Facoltà di Medicina e Chirurgia, in Dimore della Conoscenza. Le sedi della Seconda Università degli Studi di Napoli* (a cura di G. Amirante e R. Cioffi) Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.

Anonimo. 1892. L'Ospedale dei preti Poveri e il R. Delegato della S. Casa del'Incurabili. Il Divin Salvatore, 63, 1001-1002.

Anonimo. 1932. Le grandi opere del regime. Napoli Rivista Municipale, 9-10, XII.

Bianchi L. 1998. *L'Ospedale Cardarelli*. Napoli: Casa editrice Fausto Fiorentino.

De Renzi S. 1845. *Guida medica per la Città di Napoli e pel Regno*. Napoli: Filiatre-Sebezio.

Della Corte L. 1916. L'Ospizio di S. Gennaro Extramoenia. Bollettino del Comune di Napoli, NS, 4, 45-50.

Fatica M. 1955. L'Ospizio di S. Gennaro dei poveri: fondazione e suo profilo storico. In: *Miscellanea di Studi in onore di Raffaele Sirri* (a cura di M. Palumbo e V. Placella). 199-224. Napoli: Istituto Universitario Orientale.

Ferraro I. 2007. *Napoli atlante della città storica. Stella, Vergini, Sanità.* Napoli: OIKOS.

Fiorelli V. 2011. Una scuola per le italiane. Adelaide del Balzo Pignatelli e il progetto di educazione per le donne moderne. In: *Le donne che hanno fatto l'Italia* (a cura di E. Bruni). Catalogo della mostra di Roma (7 dicembre 2011-20 gennaio 2012), 87-91. Roma, Gangemi.

Guerra C. 1944. *La Città Universitaria*. Napoli: Trani.

Ippolito G., Guerra C. 1933. Il nuovo grande ospedale di Napoli. Quaderni di Architettura e Urbanistica Napoletana raccolti dall'Ing. Camillo Guerra, XII.

Lupoli R. 2021. *Dal Grido degli ultimi al silenzio di Dio*. Napoli: Colonnese Editore.

Magnati V. 1737. *Teatro della Carità Istorico, Legale, Mistico, Politico in cui si dimostrano le Ore tutte della Real Santa dell'Incurabili, che si esercitano sotto il titolo di Santa Maria del Popolo Nella Città di Napoli in benefizio del Prossimo Dove principalmente si tratta della Fondazione e progressi del Santo Luogo, de' suoi benefattori più cospicui, de' Privilegi e Grazie concedutegli dalla Santa Sede, da imperadori e Rè cattolici e dell'Ordine con cui viene amministrato, tanto nel spirituale,che nel temporale…Diviso in 7 libri con gli indici necessari nel fine*. Venezia: Tivani.

Morelli G., Bottone A. 2007. *Storia dell'Ospedale Domenico Cotugno di Napoli*. Napoli: Guida.
Novi Chavarria E. 2023. La Carità in rete. I Bianchi, le compagnie del Divino Amore e l'Assistenza Laica agli Incurabili. In: *Maria Lorenza Longo. Una donna e tanti carismi* (a cura di E. Sánchez Garcia e C. Antonino Capp). Napoli: Tullio Pironti editore.
Pandolfi G. 1671. *La povertà arricchita o vero l'hospitio de poveri mendicanti fundato dall'eccellentissimo signor don Pietro Antonio Raymondo Folch de Cardona, olim de Aragona*. Napoli: Egidio Longo.
Petroni G. 1864. *Del Reale Ospizio S. Pietro e Gennaro extra-moenia in Napoli*. Napoli: Stamperia dell'Iride.
Ridella F. 1897. *Una sventura Postuma di Giacomo Leopardi.* Torino: Carlo Clausen.
Rispoli G. (a cura di). 2010. *L'Ospedale del Reame. Gli Incurabili di Napoli.* 2. Napoli: Il torchio della Regina.
Salvi G. 1929. *Manuale della dissezione: manuale della sala del taglio, ad uso degli studenti in medicina*, 2 ed. Milano: F. Vallardi.
Stefanile A. 1964. *I cento bombardamenti di Napoli: i giorni delle Amlire.* Napoli: Marotta.
Turiello P. 1866. *Degli stabilimenti di beneficenza nella citta di Napoli e dei modi di renderli veramente utili alle classi bisognose*. Napoli: Tipografia Real Albergo dei Poveri.
Valerio A. (a cura di). 2010. *L'Ospedale del Reame. Gli Incurabili di Napoli.* 1. Napoli: Il torchio della Regina.
Verolino L. 2009. *Giuseppe Tropeano*. Roma: Istituto per gli Affari Sociali.
Voltan A.M. 1999. Architettura ospedaliera a Napoli. In: *L'architettura a Napoli tra le due guerre* (a cura di C. De Seta). Napoli: Electa.

Sitografia

[1] https://www.nuovomonitorenapoletano.it/index.php?option=com_content&view=article&id=745:domenico-tanturri-un-ponte-verso-il-futuro&catid=71&Itemid=28

Note

[1] Le strutture sono disposte nell'attuale via De Crecchio e via del Sole e comprendevano tra l'altro gli ex complessi di S. Andrea delle Dame e S. Gaudioso, attualmente non più esistente, e le odierni sedi della Scuola di Medicina e Chirurgia dell'Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli (AMIRANTE, 2010, pp. 60-69).

[2] Il gruppo ospedaliero fu istituito con la legge del 2 agosto 1897, nr 348 e il suo regolamento fu pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del Regno, n. 172 del 26 luglio 1898.

[3] L'Ospedale degli Incurabili, o meglio la Real Santa Casa degl'Incurabili, è stato il più importante ospedale di Napoli e del Sud.È stato fondato e costruitosulla collina di Caponapoli dalla Beata Maria Lorenza Longo (1463-1539), con bolla del Pontefice Leone X dell'11 marzo del 1599,e inaugurato il 23 marzo del 1522. Può essere considerato uno dei primi ospedali in "rete" (MAGNATI, 1737; VALERIO, 2010; RISPOLI, 2010; LUPOLI, 2021; NOVI CHAVARRIA, 2023, pp. 115-128).

[4] L'Ospedale Gesù e Maria, in origine un monastero con annessa chiesa, fu fondato ed eretto in ente morale con R. Decreto 13 novembre 1863. Fino alla riunione degli istituti ospedalieri avvenuta con R.D. del 18 giugno 1898, in esecuzione della legge del 2 agosto 1896 n. 348, fu organizzato in due sezioni, la prima destinata all'insegnamento universitario e la seconda alla cura gratuita dei poveri di entrambi i sessi, nati e domiciliati nella provincia di

Napoli (Alto Commissario per la Provincia di Napoli, 1930, 443). Pur essendo numerose le critiche sulla sua allocazione, è stata sede di una delle prime scuole per infermiere italiana, voluta da Adelaide del Balzo Pignatelli (1843-1932) (Fiorelli, 2011, pp. 87-91).

[5] La struttura era allocata in via dei Tribunali. Inizialmente fu abitazione di Sergianni Caracciolo (1487-1559), gran siniscalco della Regina Giovanna II, poi, nel 1575, fu acquistata dai frati dell'ordine di San Giovanni di Dio e trasformata in ospedale, la cui attività è terminata negli anni '70 del ventesimo secolo.

[6] L'ospedale nacque con la fondazione dell'omonima Arciconfraternita, avvenuta nella seconda metà del XVI secolo.

[7] L'ospedale fu creato nel 1885, dopo la grave epidemia di colera del 1884, a opera del Comune di Napoli. La sua sede iniziale fu la zona detta della "Doganella" in un fondo rustico. All'epoca del primo impianto, l'Ospedale era composto da una casa colonica, che fungeva da direzione e da servizi, e da sei baracche in legno, sostituite, in epoche successive, da padiglioni in muratura. Il numero complessivo dei padiglioni divenne otto. Durante la seconda guerra mondiale, a causa degli eventi bellici, l'ospedale fu trasferito nel comune di S. Giorgio a Cremano dove rimase fino a giugno 1946. Negli anni '50 le strutture ospedaliere si dimostrarono inadeguate e per tale motivo l'Amministrazione Comunale deliberò la costruzione del nuovo ospedale, nell'attuale sede. La nuova struttura entrò in funzione nel 1968 (Morelli e Bottone, 2007).

[8] La struttura ospedaliera, sorta nel Borgo Loreto, nell'antico edificio prima orfanotrofio e poi Conservatorio omonimo, fu fondata nel 1834. Oltre a raccogliere gli infermi del Real Albergo dei Poveri e degli altri ospizi, riceveva gli ammalati della Civica Milizia dei Pompieri in luoghi separati e distinti. Poteva ospitare 400 infermi che in casi straordinari potevano aumentare a 600. Oltre alla degenza, vi era un teatro anatomico le cui finestre si aprivano in un giardino. Il tavolo anatomico, ivi conservato, proveniva dal teatro dell'Annunziata. La tradizione vuole che Marco Aurelio Severino (1580-1656) e Domenico Cotugno (1736-1822) avessero qui eseguito alcune delle loro dissezioni anatomiche (De Renzi, 1845, pp. 403-405). Ebbe degli ammodernamenti a cavallo degli anni '20 e '30 del XX secolo (Anonimo, 1932, p. XII) e, come tutto il quartiere circostante, fu completamente distrutto durante gli avvenimenti bellici della II Guerra Mondiale (Stefanile, 1964, p. 64).

[9] Struttura in origine appartenente al complesso monastico dei Carmelitani di Santa Maria della Vita. Nel 1807, convento e chiesa furono acquisiti da Giovanni Poulard Prad, che organizzò nel monastero una fabbrica di porcellana e nella chiesa una fabbrica di candele, durata fino al 1834. Due anni dopo, in seguito alla grande epidemia di colera, il complesso fu acquistato dalla amministrazione del Real Albergo dei Poveri per creare un ricovero per i colerosi. Nel 1857 l'ex struttura monastica divenne definitivamente ospedale (Ferraro, 2007, p. 20). Intorno al 1950, il complesso diventò l'ospedale S. Camillo. Attualmente in una parte del complesso risiede il Centro "La Tenda onlus", fondato da don Antonio Vitiello, occupandone una porzione consistente.

[10] L'ospedale è situato tra via Cagnazzi e Salita dei cinesi. L'evoluzione di questa struttura è caratterizzata in una prima fase dallo sviluppo della cultura orientale a Napoli, in quanto l'edificio fu sede del Collegio dei Cinesi; nel 1896 vi fu installato l'Ospedale territoriale della Croce Rossa per dare ricovero ai feriti provenienti dalla disfatta di Adua, infine, per volontà del Pio Monte della Misericordia, che ne deteneva la proprietà, divenne definitamente ospedale nel 1910.

[11] L'Ospedale, sito all'epoca della progettazione del Nuovo Ospedale di Napoli nell'attuale via Cagnazzi, fu fondato in seguito a un lascito testamentario di Antonio Ranieri (1806-1888) sottoscritto il 10 settembre del 1882. Infatti, Ranieri elargì il suo interro patrimonio a favore del Pio Monte della Misericordia affinché si potesse formare una Confidenza per fondare un ospedale per i fanciulli dai 3 ai 12 anni, o per sole fanciulle, a patto che all'ingresso si potesse leggere, con parole incise sul marmo: Ospedale Paolina Ranieri. (Ridella, 1897, p. 267).

[12] L'ospedale fa parte dell'attuale P.O. San Gennaro. La struttura origina da un antico monastero Benedettino ed è strettamente collegata alle Catacombe di San Gennaro che terminano nella Chiesa dedicata allo stesso santo, annessa al medesimo ospedale. Nacque come antico ospizio e fu trasformato in lazzaretto nelle epidemie di peste del 1479, 1643 e 1656. All'ospizio, nel 1915, a causa degli eventi bellici della Prima guerra Mondiale fu annesso un ospedale, ancora oggi attivo. Nel 1956 l'ospizio è stato abolito e la struttura ospedaliera, nella quale è stato creato uno dei primi pronto soccorsi neuropsichiatrici d'Italia, ha assunto le dimensioni odierne (Pandolfi, 1671; Petroni, 1864; Della Corte, 1916; Fatica, 1955).

[13] L'Ospedale, inserito attualmente nella rete oncologica campana afferente all'Istituto nazionale tumori "Fondazione Pascale", trae il nome dal Cardinale Alessio Ascalesi (1872-1952), Arcivescovo di Napoli, cui il nosocomio fu dedicato ancora in vita, Nasce nel 1920 dalla cessione in uso perpetuo da parte del Comune di Napoli al R. Ospizio dei SS. Pietro e Gennaro extra moenia dell'antico monastero di S. Maria Egiziaca a Forcella per curare i pazienti cronici e i tignosi. Restaurato, nel 1930, dall'alto commissario della provincia di Napoli, accolse varie centinaie di infermi (Bianchi, 1998, p. 36).

[14] L'ospedale nasce da una idea avuta nel 1916 da Giuseppe Tropeano (1881-1952), sollecitato dal prefetto Vittorio Menzinger (1861-1925), che si concretizzò nel 1917, in seguito agli eventi bellici della Prima Guerra Mondiale. Infatti, dopo la disfatta di Caporetto, a seguito di una lettera dello stesso Tropeno al Presidente del Consiglio dei Ministri V.E. Orlando (1860-1952), fu espropriata villa Dini nella zona di Posillipo, per ospitare inizialmente i bambini profughi e successivamente i bambini infermi di Napoli (Verolino, 2009, pp. 83-117).

[15] Voluto da Teresa Ravaschieri Filangieri Fieschi (1826-1903), prende il nome dalla sua unica figlia, deceduta all'età di 12 anni. Fu aperto nel 1880, in un padiglione ristrutturato del Genio Militare. Fu eretto a ente morale nel 1881 (Verolino, 2009, pp. 86-87).

[16] Altra opera voluta da Teresa Ravaschieri Filangieri Fieschi, è, forse, uno dei primi istituti di riabilitazione. Sorto nel 1900, fu eretto in Ente morale con decreto del 28 febbraio 1901. Annesso all'Istituto vi era un Ospizio Marino a Bagnoli nato nel 1906 (Verolino, 2009, pp. 87-89).

[17] L'Ospedale per i preti poveri e infermi a Napoli è documentato già dal 1585, vicino alla chiesa di S. Maria della Misericordia, nei Vergini (Turiello, 1866, p. 22). Si ritrova, poi, un altro istituto con lo stesso nome, in Via Donnalbina 13, fondato per volontà testamentaria della sig.ra Maria Carmela Contaldi e del Canonico Gabriele Buonocore, tra il 1847 e 1858 (Anonimo, 1892).

Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano,
Aniello Tesauro

La produzione della carta in Costiera amalfitana

The production of paper in the Amalfi Coast

Sommario
Questo contributo è la prima parte di una serie di tre che riguardano la storia delle cartiere di Vietri sul mare, il primo paese della Costiera amalfitana. La storia della carta è un intreccio di fatti e leggende che riporta alla Cina degli inizi del II secolo a.C. La conoscenza della carta in Europa avvenne principalmente attraverso il Mediterraneo e il mondo islamico: probabilmente la carta arrivò nella Spagna moresca, per poi diffondersi in tutto il Continente, anche se il più antico documento cartaceo è in Sicilia. La carta era prodotta principalmente utilizzando stracci di lino o cotone macerati e poi pressati e asciugati per formare fogli sottili. Con il passare del tempo, la tecnologia cominciò a evolversi, con l'introduzione di nuovi materiali di base e tecniche di lavorazione più efficienti, fino ad arrivare a quella attuale. In questo contributo si ripercorre la storia della produzione della carta in Costiera Amalfitana.

Abstract
This paper is the first part of a series of three concerning the history of the paper mills of Vietri sul Mare, the first town of the Amalfi Coast. The history of paper is a blend of facts and legends dating back to ancient China in the early 2nd century BC. The knowledge of paper in Europe primarily came through the Mediterranean and the Islamic world: paper likely arrived in Moorish Spain before spreading throughout the continent, although the oldest paper document is found in Sicily. Paper was primarily produced using macerated linen or cotton rags, which were then pressed and dried to form thin sheets. Over time, technology began to evolve, introducing new base materials and more efficient processing techniques, leading to the methods used today. This paper retraces the history of paper production in the Amalfi Coast.

Le origini della carta

La carta deriva dalla filtrazione in ambiente acquoso di fibre vegetali opportunamente raffinate[1].

Secondo la tradizione, la carta fu prodotta per la prima volta in Cina. Le cronache della dinastia Han riportano che nel 105 d.C. Tsai Lun, ministro e gran dignitario di corte, realizzò un materiale simile alla seta mettendo a macerare fibre di stracci e di piante, principalmente il bamboo, con paglia di tè o di riso e poi pestando opportunamente e mettendo a essiccare l'impasto così ottenuto [1]. In realtà, già circa tre secoli prima la carta era conosciuta nell'Impero, come testimoniato dal frammento in Figura 1 ritrovato in una tomba risalente al II secolo a.C., localizzata nel sito di Fangmatan.

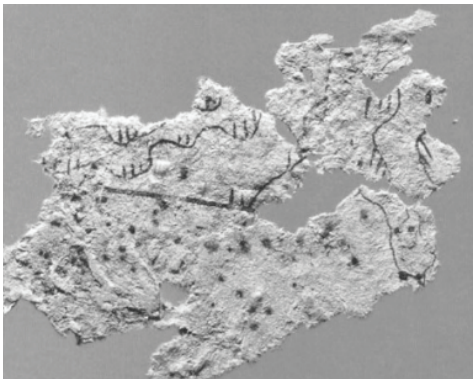


Fig. 1 - La carta di Fangmatan (Wikipedia).

La diffusione della carta verso Occidente

La carta fu a lungo patrimonio dei cinesi, in particolare delle classi sociali più colte. Nel IV secolo era presente a Sogdiana, nell'Asia Centrale, grazie ai commerci tra gli abitanti di questo Paese e i cinesi. Intorno al VII secolo apparve in Giappone dove, sempre secondo la tradizione, il monaco buddista Dam Jing ne iniziò la produzione; nello stesso periodo era possibile trovarla anche nei Paesi affacciati sul Mediterraneo orientale [2]. Nel 751, nei pressi del fiume Talas, a una trentina di kilometri a nord di Samarcanda, si tenne una feroce battaglia tra cinesi e musulmani a seguito della quale gli arabi catturarono numerosi prigionieri dai quali appresero la tecnica di produzione della carta [2]. Da Samarcanda, quindi, la carta si diffuse grazie agli arabi in tutto il mondo allora conosciuto.

La carta arriva in Europa

L'arrivo della carta in Europa è oggetto di varie narrazioni. Una tradizione fa riferimento alla conquista araba della Spagna moresca, dove fu impiantata la cartiera di Xàtiva, attiva nel 1173 [3]. Secondo un'altra tradizione, la carta fu portata in Sicilia dai Kalbiti, che governarono l'isola dal 938 al 1072, anno in cui i normanni occuparono Palermo, anche se gli emirati indipendenti di Enna e Agrigento resistettero fino al 1087 circa.

Ciò che è certo è che la più antica testimonianza dell'uso della carta in Europa risale al 1109 ed è conservata in Sicilia.

La carta in Italia

Nell'Archivio di Stato di Palermo è conservato il cosiddetto "mandato di Adelasia" con il quale la contessa, moglie del conte Ruggero I di Sicilia, chiedeva ai funzionari dell'amministrazione comitale responsabili del distretto di Castrogiovanni, l'attuale

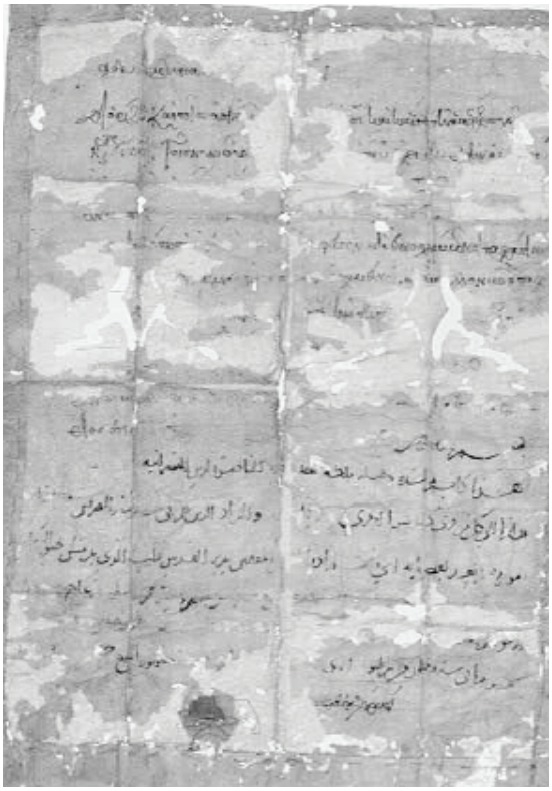


Fig. 2 - Immagine del mandato prima del restauro del 1995 (Prosperi, 1996).

Enna, di proteggere i monaci del monastero di San Filippo di Fragalà, fondato da lei e dal marito. Il mandato è scritto in greco e in arabo e sul versus riporta una nota in greco riguardante l'estrazione del sale della miniera di Castrogiovanni, attività per la quale la contessa richiedeva appunto ai funzionari di aiutare i monaci (Johns, 2021).

Secondo alcuni studi effettuati all'inizio del XX secolo il mandato è stato redatto nel 1109 ed è quindi considerato il più antico documento conservato in Europa (Prosperi, 1996). È scritto su carta che dovrebbe provenire dal mondo islamico, direttamente o attraverso Bisanzio o Genova. Il documento misura 37,5 cm · 27 cm ed era piegato tre volte; lungo le pieghe la carta è molto danneggiata, come mostrato in Figura 2. Gli insetti e soprattutto uno sciagurato intervento di restauro avvenuto in data imprecisata ne hanno fortemente minato la integrità, soprattutto negli angoli delle piegature; in particolare, il mandato fu incollato e cucito su una intelaiatura di pergamena, per cui i diversi coefficienti di dilatazione dei due materiali hanno comportato seri danni alla carta. Un ulteriore restauro effettuato nel 1995 ha evidenziato la presenza di fibre di lino e quella dell'amido usato come collante (Johns, 2021).

Sempre Adelasia, in un altro documento andato perduto ma richiamato in un atto del 1145 di Ruggero II, di lei figlio, richiedeva che venisse garantita ai monaci la quantità di sale necessaria. Si ha notizia di altri cinque documenti su carta, di cui due di Adelasia e tre di Ruggero I, che però sono andati anch'essi perduti. Questi sei documenti sono tutti riconducibili alle stesse firme, per cui potrebbero testimoniare un uso della carta limitato nel tempo e solo su un territorio ben preciso (Johns, 2021).

Federico II, con la legge sulle modalità di produzione dei documenti pubblicata nel *Liber Augustalis* del 1231, impose l'uso della pergamena per i documenti ufficiali: «In futuro, i summenzionati documenti pubblici dovranno essere scritti esclusivamente su pergamena poiché […] consideriamo giusto che non soccombano al pericolo dell'usura nel tempo. Nessuna prova sarà considerata valida in sede di giudizio o altrove qualora essa si basi su documenti scritti su carta di papiro o in qualsivoglia altra maniera, come è stato detto a meno che non si tratti di ricevute di debito o di pagamento. Tuttavia, i documenti scritti in precedenza manterranno la loro validità» (Johns, 2021). In realtà, molti documenti di importanza minore vennero scritti su carta.

A Fabriano, nel 1264 veniva prodotta la carta "bambagina"[2], composta da fibre di cotone e lino, come attestato da una pergamena conservata a Matelica [4]. Sempre a Fabriano furono introdotte la pila a magli [5] per sfibrare gli stracci e, nel 1239, la filigrana [4].

Nel 1455 Gutenberg inventò la stampa a caratteri mobili, che determinò una vera e propria rivoluzione non solo dal punto di vista culturale, ma anche nell'ambito della produzione cartaria, grazie alla diffusione del libro stampato su carta.

Il processo di produzione della carta a mano in Costiera amalfitana

Come accennato, la prima carta in Italia veniva fabbricata per feltrazione in acqua di fibre vegetali. La materia prima, che proveniva sia da Napoli che dall'agro nocerino, ma anche da Messina, era genericamente denominata "robba" o "pezze" ed era costituita da stracci di lino, cotone, canapa e iuta e talvolta anche da sartie e reti, le "rezze"; in particolare, le reti rosse erano pregiate in quanto da queste si ricavava la carta reale rossa. La raccolta era affidata ai "cenciaioli", o "piattari".

Gli stracci venivano liberati da tutto ciò che avrebbe potuto danneggiare sia il prodotto finale che le macchine e venivano quindi classificati in funzione della loro qualità e, talvolta, tagliati, si veda la Figura 3. Venivano poi messi a macerare in acqua e, alla fine del processo di macerazione, versati nelle vasche della pila a magli.

Fig. 3 - Scelta degli stracci [6].

La pila, in Figura 4, era costituita da un albero a camme, il "fuso", mosso da una

Fig. 4 - Pile [7].

Fig. 5 - La ruota idraulica [8].

Fig. 6 - Maglio idraulico [5].

Fig. 7 - Setaccio [8].

ruota idraulica, il "rotone", in Figura 5, cui erano collegati i magli, muniti di chiodi di ferro, i "velloni", e dalle vasche. Il movimento rotatorio dell'albero determinava il continuo abbassamento e innalzamento dei magli, in Figura 6, che laceravano e sfibravano progressivamente il tessuto. Venivano usate più pile, così che, man mano che passavano da una pila all'altra, gli stracci assumevano sempre più la consistenza di un impasto che nell'ultima pila veniva imbiancato con calce o cloruro di calce; il passaggio del materiale da una pila alla successiva, il "remotaggio", veniva effettuato a mano dagli operai con una specie di secchiello.

L'impasto finale, la "pasta" o il "pisto", veniva versato in una vasca circolare in muratura, la "tina", dotata di un insieme di canaline che costituivano il sistema di ricircolo dell'acqua di scolo, e diluito con acqua in proporzioni tali da ottenere la grammatura desiderata. A questo punto iniziava la lavorazione dei fogli di carta. Gli operai immergevano nella tina il setaccio rettangolare, la "forma", in Figura 7, costituito da una cornice di legno, il "cassio", che fungeva da telaio e da una maglia

Fig. 8 - Torchio [8].

Fig. 9 - Lo spanditoio (per cortesia di A. Tesauro).

che inizialmente era realizzata con materiale naturale, quale il giunco, e in seguito con fili metallici, posizionati molto ravvicinati tra loro parallelamente al lato corto e meno ravvicinati parallelamente a quello lungo[3]. La forma, una volta estratta, era ricoperta da uno strato di pisto contenente una notevole quantità di acqua che veniva fatta scolare attraverso la maglia del setaccio, dopo di che l'impasto veniva posto su un feltro di lana, il "pannitto", e coperto con un altro feltro su cui veniva posto un altro strato, fino a formare un pacchetto di strati di impasto e feltro, la "posta", che veniva poi pressato con un torchio, in Figura 8, per eliminare l'acqua residua. I fogli di carta venivano poi portati negli spanditoi, gli "spandituri", in Figura 9, locali aerati in cui avveniva l'asciugatura, e affidati a donne che li stendevano su fili di ferro disposti tra due pali di legno; i fili di ferro venivano poi sollevati con stampelle fino all'altezza desiderata e fissati con appositi occhielli.

A valle dell'asciugatura, la carta che veniva utilizzata per scrivere e quella destinata alla stampa venivano nuovamente bagnate in una colla composta da residui della lavorazione di pelli di animali, il "carniccio", e fatte bollire per circa due ore, così da conferire al prodotto maggiore tenacità e impermeabilità. La carta così ottenuta veniva nuovamente pressata per eliminare la colla superflua e inviata nuovamente nello spanditoio; una volta asciugata veniva lisciata su entrambi i lati con un martello a fondo piano, il "maglietto", anch'esso azionato dall'acqua, e poi selezionata. Quest'ultima operazione veniva effettuata da donne che dividevano il prodotto in categorie: quella senza alcun difetto, divisa in quinterni di sei fogli, quella con lieve difetto, lo "scarto", quella con difetti evidenti, il "mezzitto", e i fogli rotti, "il cernaglio" (Gambardella e Torre, 2004).

Alla fine del XVII secolo, la pila a maglio fu sostituita da quella olandese [9], anche detta "in tondo" o "a tamburo", capace di moltiplicare la produzione giorna-

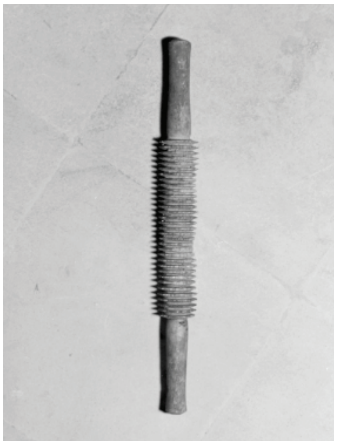


Fig. 10 - Cilindro della macchina olandese [9].

Fig. 11 - Le cartiere Pietro Miliani a una fiera [10].

liera di carta a costi inferiori. La pila olandese era costituita da una vasca di pietra e di cemento di forma oblunga all'inizio della quale era posizionato un cilindro dotato di lame, in Figura 10, che poteva sollevarsi e abbassarsi rispetto al piano della vasca; sul fondo della vasca, in corrispondenza del cilindro, era fissato un sistema di coltelli, la "platina". Variando la posizione del cilindro rispetto a quella dei coltelli era possibile ottenere diversi livelli di raffinazione degli stracci. La forma era sostituita da un cilindro ricoperto di tela metallica per metà immerso nella pasta che aderiva alla sua superficie e dalla quale si staccava automaticamente per poi passare attraverso due rulli feltrati per l'eliminazione dell'acqua. Nella vecchia cartiera Milano di Amalfi, che nel 1969 fu ceduta dal proprietario alla Fondazione Museo della Carta, istituita a novembre 1971, esiste un esemplare di pila olandese azionata idraulicamente, che fu installata il 18 novembre 1745, come risulta dalla data graffita sull'intonaco di una parete [7].

La macchina olandese aveva ovviamente il vantaggio di una produzione quantitativamente maggiore, ma qualitativamente peggiore rispetto a quella della pila a magli, in quanto l'utilizzo del metallo al posto del legno e la tecnica di raffinazione degli stracci rendeva la carta più debole.

La scoperta del cloro usato per candeggiare la carta, che risale al 1774, e l'introduzione della macchina continua per la produzione di carta in grado di realizzare fogli della lunghezza da 12 cm a 15 m, il cui brevetto venne depositato in Francia il 18 gennaio 1799 da Nicolas-Louis Robert, determinarono il definitivo declino dell'artigianato della carta.

Nel 1792 Pietro Miliani fondò le Cartiere Pietro Miliani Fabriano, in Figura 11, che a tutt'oggi rappresentano una delle maggiori realtà industriali nel settore della carta.

Nel 1812 Carlo Antonio Betanger fondò la Cartiera del Fibreno, a Isola del Liri. Questa cartiera, che utilizzava la macchina olandese, è considerata una delle cause della scomparsa delle cartiere in Costiera: «La decadenza delle Fabbriche di tale natura è derivata dalla Macchina del Fibreno, che lavora carte all'infinito, al di là del disegno, la vende a prezzi meschini, a danno di tanti proprietari regnicoli, e di tanti operai, che periscono, benché le carte del Fibreno sono alterabili, e di brevissima durata» (Assante, 1994).

Un ulteriore passo nella tecnologia della produzione della carta si ebbe nel 1844, quando il canadese Charles Fenerty osservò che anche il legno ha una struttura fibrosa, come gli stracci, e iniziò a produrre carta dal legno. Contemporaneamente, in Europa, il tedesco Friedrich Keller presentò una macchina per tagliare e produrre carta; ciascuno dei due inventori non sapeva dell'altro e la macchina fu brevettata da Keller.

Nel 1847 i fabbricanti di carta della costa amalfitana ricorsero al re, tramite il Consiglio generale della Provincia, invocando provvedimenti protezionistici contro la carta prodotta con i nuovi macchinari che, anche se appariva più elegante, aveva il difetto della fragilità e della breve durata; il ricorso non ebbe seguito, anche se l'aumento del dazio di esportazione della materia prima avrebbe dovuto favorire la ripresa, cosa che non avvenne (Panebianco, 1973). In realtà, già il 28 giugno 1816 nel Regno era stato vietato l'uso della carta straniera nei ministeri e nelle pubbliche amministrazioni, con la speranza di contrastare le svantaggiose speculazioni di forti gruppi monopolistici che operavano nel mercato degli stracci.

Oggi le macchine per cartiera vengono costruite secondo i più moderni criteri, ma ancora esiste una produzione artigianale, seppur di nicchia.

I prodotti delle cartiere della Costiera amalfitana

La tipologia del prodotto dipendeva essenzialmente dalla materia prima utilizzata. Si poteva produrre carta da avvolgere o da imballaggio, detta genericamente carta straccia, carta da scrivere, carta da stampa, cartoni, carta azzurra, carta bianca, quest'ultima sia da scrivere che da imballaggio. Un'altra classificazione era fatta in base al luogo in cui era stato introdotto quel particolare tipo di carta; ad esempio c'erano la carta genovese, quella genovese all'uso di Amalfi o di Vietri, o per l'uso di Napoli, quella azzurra all'uso di Olanda, di Francia e di Genova.

Dai documenti relativi alla produzione e al commercio della carta vietrese e da inventari che riportano i semilavorati, i prodotti finiti e le forme, risultano presenti le seguenti citazioni merceologiche (Tesauro, 2020): cartoni (in rotoli), da coppola (scollata, piccola, grande), da coppetelli (bruna, a due foglie), di coppi straccia, mezza fina, fina, genovesca (d'Amalfi, all'uso di Vietri, di Vietri, grande di Amalfi, grande bianca e rossa, grande di Genova, mezza fina, ordinaria con i "garredialli", piccola di Amalfi, bianca genovesca di Vietri, scollata), di Vietri a due fogli, a uso

d'Olanda, rosa a uso d'Olanda, di Francia, reale (di musica, bianca e rossa, straccia), ciccolata, bianchetta, straccia (reale, di Vietri, bianca e rossa, piccola di cetrangoloso), forastiera, turchina (in copie), scollata da manipolare, francese da scrivere col liocorno, da scrivere col liocorno, da scrivere con la palomba, da scrivere con la papera, reale da scrivere con l'ancora, bianca da scrivere (in copie), da scrivere mezza fina, di straccia da scrivere, straccia con sigle, straccia "a due foglia", da stampa, da stampa piccola, bastarda di stampa, da protocolli, foglietti, ziegotti, mezzitti francese, di papera fina e mezza fina, oltre a carte di varie forme e filigrane (del giglio, dell'impresa, dell'ancora ordinaria, dell'ancora a due "tonni", dell'ancora ordinaria intrecciata, mezza fina del gallo, del giglio "soccia", della papera ordinaria, ordinaria intrecciata della papera, di "foglitti").

La produzione era destinata per la maggior parte al mercato napoletano, per la cui piazza veniva prodotta una specifica tipologia per peso e qualità: «solito peso conforme all'uso di Napoli», «la carta per lo partito di Napoli ... di maggior peso e bontà» (Sabbatini, 1988). Non a caso i commercianti non vietresi o non amalfitani erano della capitale.

La consegna della merce avveniva sia a Vietri che a Napoli, dove si giungeva anche via mare, con imbarcazioni che a volte facevano scalo ad Amalfi per caricarne altro quantitativo; le spese di nolo erano a carico degli acquirenti, mentre la responsabilità del produttore era limitata fino ad Amalfi. Un'altra piazza era Salerno, dove si smerciava in particolar modo nella Fiera.

I rapporti produttivi e lavorativi nelle cartiere della Costiera Amalfitana

La gestione delle cartiere era assicurata da maestri imprenditori, con i quali i proprietari stipulavano contratti di affitto che potevano variare da una semplice cessione dello stabile senza alcuna ingerenza nella gestione e nella commercializzazione del prodotto fino a forme di forte presenza, sia per la fornitura della materia prima che nell'acquisizione del prodotto. In qualche caso gli affittuari coinvolgevano nella gestione altri maestri, sia con semplici contratti di subaffitto, sia con rapporti societari o di lavoro con la consegna di un prefissato quantitativo di prodotto. I proprietari con qualifica di maestri imprenditori si riservavano a volte la facoltà di poter lavorare nella cartiera ceduta in affitto, per un certo periodo o senza limiti, pagando il dovuto.

Nei contratti di affitto gli stabili venivano ceduti con gli impianti fissi e gli attrezzi, gli "stigli", che, insieme alla materia prima, ai semilavorati e all'eventuale contante costituivano la "capitania", il cui interesse rientrava nell'importo del fitto.

I contratti prevedevano la ripartizione delle spese di riparazione: a carico degli affittuari rientravano normalmente i lavori di ordinaria manutenzione alle attrezzature, comunque fino a un certo limite di spesa[4], mentre i proprietari dovevano provvedere ai lavori straordinari alle strutture e agli immobili. Eventuali problemi che potevano

comportare l'inattività delle cartiere, quali la mancanza di acqua, eventi bellici o altre calamità, compresa l'invasione dei turchi, davano adito a indennizzi da defalcare dall'importo del fitto.

Nei contratti di apprendistato, in cambio dei servizi «leciti e onesti» che il ragazzo doveva prestare *noctediuque* per il periodo stabilito, il maestro si impegnava a insegnargli l'arte, a corrispondere un salario minimo e, eventualmente, vitto e altre prestazioni quali l'assistenza sanitaria; in qualche caso era previsto anche il rilascio di un attestato di qualifica. Nelle cartiere lavoravano anche i bambini e le donne, sia come apprendisti che come lavoranti; in genere, le donne erano impegnate in lavori complementari, quali la differenziazione degli stracci e il trasporto in testa delle balle di carta (Assante, 1967).

La paga delle maestranze chiaramente era distinta per qualifiche e poteva variare da cartiera a cartiera. Quella delle donne era inferiore a quella degli uomini e superiore a quella dei bambini.

Conclusioni

La storia della produzione della carta è storia della tecnologia, ma è anche, forse soprattutto, la storia di un prodotto che ha accompagnato nei secoli l'umanità, fin dal II secolo a.C., quando venne utilizzata per avvolgere la persona defunta ritrovata nella tomba di Fangmatan in Cina. È anche storia dell'industria, dal momento che seguendo la storia delle cartiere è possibile seguire l'evoluzione dell'applicazione della ricerca scientifica. È storia di uomini, donne e bambini, lavoratori, lavoratrici e "padroni", che per tanti versi viene raccontata nelle carte d'archivio che descrivono brandelli di vite reali.

Bibliografia

Assante F. 1967. *La ricchezza di Amalfi nel Settecento*. Napoli: Poligrafica.

Assante F. 1994. *Amalfi e la sua costiera nel Settecento*. Napoli: ESI - Edizioni Scientifiche Italiane.

Gambardella R., Torre G. 2004 La carta e la Costa d'Amalfi. Origine, diffusione, tecniche e strutture: profilo storico. In: *Le Arti dell'acqua e del fuoco, Le attività produttive proto industriali della Costa di Amalfi*. Amalfi: Centro di Cultura e Storia Amalfitana.

Johns J. 2021. Carta contro pergamena: il mandato bilingue della contessa Adelaide del 1109. Galleria, 2, 103-124.

Panebianco A. 1973. Le attività artigiane e manifatturiere, Il Picentino, XVII, marzo, 13-15.

Prosperi C. 1996. Il restauro del Mandato di Adelasia. In: *Quaderni della scuola di archivistica, paleografia e diplomatica. Studi e strumenti 1*. Palermo: Archivio di Stato di Palermo.

Sabbatini R. 2003. Cartiere della Costiera amalfitana tra Sei e Settecento. In: *La Costa di Amalfi nel secolo XVIII Atti del Convegno di Studi* (a cura di F. Assante), Amalfi, 1-4 aprile 1998, I, 558. Amalfi: Centro di Cultura e Storia Amalfitana.

Tesauro A. 2020. *Le cartiere di Vietri tra Settecento ed Ottocento*. Amalfi: Centro di Cultura e Storia Amalfitana.

Sitografia

[1] https://www.treccani.it/magazine/atlante/cultura/La_storia_della_carta.html
[2] https://www.treccani.it/enciclopedia/la-civilta-islamica-condizioni-materiali-e-intellettuali-i-supporti-della-scrittura_[Storia-della-Scienza]/
[3] http://www.fabrianostorica.it/storiacarta/viaggiocarta.htm
[4] https://fabriano.com/la-nostra-storia/
[5] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maglio_idraulico_-_Museo_scienza_tecnologia_Milano_as_02270.jpg
[6] https://www.museodellacarta.com/it/scelta_stracci.html
[7] https://ecampania.it/event/preziosa-bambagina-museo-della-carta-amalfi/
[8] https://archeologiaindustriale.net/2246_il-museo-della-carta-di-amalfi-in-campania/?print=prin
[9] https://catalogo.beniculturali.it/detail/DemoEthnoAnthropologicalHeritage/1500061746
[10] https://fabriano.com/la-nostra-storia/

Note

[1] La feltrazione consente l'unione delle fibre.
[2] Bambagina, o bambacina, deriva dal greco *βαμβάκιον*, cotone.
[3] Questa struttura si riproponeva nella vergatura della carta, dove le vergelle testimoniavano la presenza dei fili lunghi e i filoni quella dei fili corti.
[4] In caso di esiguità del canone le spese di manutenzione potevano essere tutte a carico dell'affittuario.

Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano,
Aniello Tesauro

Le cartiere di Vietri sul mare: una breve storia

The paper mills of Vietri sul Mare: a brief history

Sommario
Questo contributo è la seconda parte di una serie di tre che riguardano la storia delle cartiere di Vietri sul mare, il primo paese della Costiera amalfitana. Nei secoli scorsi la Costiera amalfitana ebbe un notevole rilievo nel quadro delle attività pre-industriali nella regione di Napoli. Infatti, i principali insediamenti urbani erano e sono attestati in gole attraversate da piccoli fiumi le cui acque venivano sfruttate per produrre l'energia motrice per le macchine. In particolare, già dal XVI secolo a Vietri sul mare, il primo paese della costa, furono installate alcune cartiere, in alcune delle quali ancora vengono svolte attività produttive, anche se ben diverse da quella originaria. In questo contributo viene ripercorsa la loro storia.

Abstract
This paper is the second part of a series of three concerning the history of the paper mills of Vietri sul Mare, the first town of the Amalfi Coast. In past centuries, the Amalfi Coast played a significant role in the context of pre-industrial activities in the Naples region. In fact, the main urban settlements were and are located in gorges crossed by small rivers whose waters were exploited to generate mechanical energy for machinery. In particular, as early as the 16th century, in Vietri sul Mare, the first town on the coast, some paper mills were established, in some of which productive activities are still carried out today, albeit quite different from the original ones. This paper traces their history.

Il contesto
La costiera amalfitana, che oggi vive essenzialmente di turismo grazie alle sue bellezze naturali, nel passato è stata sede di una intensa attività pre-industriale, grazie alla presenza di piccoli fiumi che scorrevano nelle gole in cui si trovavano i principali insediamenti urbani e che fornivano l'energia motrice per le macchine. Una delle principali attività, fino alla fine del XIX secolo, era quella cartaria.

La fine dell'Ottocento, infatti, vide la grande crisi del settore cartario che in realtà era iniziata già agli inizi del secolo, durante il cosiddetto Decennio francese, quando il blocco del commercio voluto da Napoleone aveva inciso negativamente sulle fabbriche, in special modo sulle faenzere[1] e sulle cartiere. Il Governatore, in una relazione del 1808 (Tesauro, 2009), e successivamente in una del 1811 (Assante, 1994), asserì che mentre quando il commercio marittimo era libero le fabbriche erano attive tutto l'anno e smaltivano la merce a prezzi vantaggiosi per "l'estraregnazione" via mare, a seguito del blocco continentale la situazione era ormai tale che si riusciva a smaltire solo un terzo della merce a prezzi bassi e in determinati periodi dell'anno. La situazione non migliorò molto neanche con i Decreti dell'11 novembre 1813, con i quali Murat, con quello che fu considerato dai francesi un tradimento, aprì i porti agli inglesi (Ciccolella, 2019), sancendo la fine del blocco e, in qualche modo, quella del suo regno e della sua stessa vita.

Le cartiere vietresi

L'attività cartaria a Vietri, l'odierna Vietri sul mare[2], nacque nella seconda metà del Cinquecento, con la cartiera di Fontana Vecchia, per espandersi nel Seicento con l'apertura delle cartiere del Piano-Travertino e della Mensa vescovile. Nel Settecento fu attivata la cartiera dell'Auso e nell'Ottocento quella di Marina d'Albori: «Le principali cartiere del regno sono nella provincia di Salerno. In Amalfi vi sono 13 cartiere, altrettante in Majori e tre in Ravello, che fabbricano carta da scrivere da stampa e da straccio. Majori ha 15 cartiere da straccio. Sopra tutte le nostre cartiere, sono riputate quelle di Vietri: ve ne sono 4 che fabbricano anche carta azzurra all'uso di Olanda, di Francia e di Genova, ma non si possono mettere in paragone che con quelle di Genova» (Galanti, 1789, p. 303).

Dalla testimonianza di Galanti emerge con chiarezza che le cartiere di Vietri, pur essendo in numero inferiore rispetto a quelle delle altre località costiere, erano più famose: Vietri diede il proprio nome alla carta "genovesca" e le risme di carta qui prodotte, tra cui la "turchina ad uso di Francia", vennero scelte dalla Commissione provinciale incaricata di inviare campioni dei prodotti industriali per l'annuale Esposizione a Napoli, iniziata durante il Decennio francese (Tesauro, 2020). A metà dello stesso secolo i fogli per la stampa dei francobolli borbonici, costituiti da carta a mano, bianca e porosa, erano forniti da Bonaventura Taiani di Vietri e recavano in filigrana il giglio borbonico[3]. Nella prima metà dell'Ottocento era stata pubblicata da un autore ignoto la commedia "Finto sensale nelle cartiere di Vietri con Pulcinella sposo per disgrazia araldo di morte e punitore di ladri per far l'assassino" [1], in cui si racconta delle attività svolte in una cartiera vietrese il cui prodotto veniva distribuito a Napoli.

Oggi la produzione della carta è concentrata ad Amalfi e non è un caso che si parli di Carta d'Amalfi, ma nel XVIII secolo le cartiere animarono l'economia dell'intera Costiera. Per quantificare la differenza tra le attività vietresi e quelle delle altre località

costiere, si consideri che nella Statistica industriale del 1848, quando già iniziava il calo della produzione, la cartiera dell'Auso e quella di Marina d'Albori, che producevano carta grossolana e carta straccia[4], erano dotate rispettivamente di 12 e 7 macchine, laddove quelle lungo la costa avevano in genere solo 2 macchine. Probabilmente Vietri ebbe successo anche perché l'attuale SS 163, che congiunge Vietri a Positano percorrendo tutta la costa, fu aperta solo nel 1853, per cui era l'unico centro della costa a essere collegato a Napoli e alle altre località del Regno tramite strade carrabili, mentre i trasporti delle merci da e verso gli altri paesini della costa avvenivano essenzialmente via mare e proprio da Vietri. In ogni caso, il dato certo è che il legame tra Vietri e Amalfi fu sempre molto stretto: il capitale era vietrese, ma le maestranze qualificate erano essenzialmente amalfitane, con qualche presenza proveniente da altre aree, quali il maestro genovese Benedetto Bertello e i maestri Di Gregorio di Foligno.

Vietri è attraversata dal Bonea, delle cui acque era titolare la Mensa vescovile della Diocesi di Cava[5], che le concedeva per usi civili o industriali dietro pagamento di un canone annuo. Nel 1555 il Vescovo di Cava concesse ad Angelo Vitale, dietro pagamento di un censo annuo, l'uso delle acque e di un suolo con un vecchio mulino nel territorio di Vietri, presso il casale di Molina, per la realizzazione di una cartiera, suscitando l'opposizione degli abitanti del luogo, preoccupati per l'inquinamento dell'acqua che questa attività avrebbe comportato. Venti anni dopo, nel 1575, gli eredi Vitale aggregarono nella concessione il vietrese "mag.co"[6] Giovandomenico Cantarella e ottennero dalla Mensa vescovile il trasferimento della concessione in una zona periferica a valle dell'abitato, in località Fontana Vecchia[7]; anche in questo caso ci fu una contestazione della Città di Cava[8] che portò, nel 1576, alla presentazione di un ricorso al viceré da parte del parlamento cittadino che lamentava che la realizzazione della fabbrica avrebbe reso l'acqua "putrida, infetta e morbosa" con pregiudizio della popolazione e delle imbarcazioni che approdavano nella rada di Vietri, in particolare delle regie galee. I Vitale si appellarono alla Regia Udienza di Salerno che accettò le loro motivazioni e nel 1578 la cartiera di Fontana vecchia *noviter fatta* risultava già in esercizio.

La concessione vescovile ai Vitale conteneva una clausola di esclusiva, per cui la Mensa si obbligava a non permettere la realizzazione di altre cartiere lungo il fiume o nel territorio cittadino. Nonostante ciò, il vescovo nel 1632 consentì la realizzazione delle cartiere del Piano-Travertino, nel 1634 attivò la cartiera della stessa Mensa a Marina di Vietri e nel 1732 autorizzò la nuova cartiera dell'Auso. La cartiera della Mensa esaurì la sua attività nei primi decenni del Settecento, mentre le altre continuarono a essere presenti sul mercato tra la fine del XIX e gli inizi del XX secolo (Tesauro, 2020).

Nella seconda metà dell'Ottocento, a causa della crisi del settore cartario di cui si è detto, quasi tutte le cartiere si trasformarono in cotonifici, fino alla notte tra il 25 e il 26 ottobre 1954, quando una catastrofica alluvione compromise gran parte degli edifici posti lungo il corso del Bonea [2].

La cartiera di Fontana vecchia

Come già accennato, la prima cartiera aperta a Vietri, nel 1577, fu quella ubicata in località Fontana vecchia, data in gestione dai proprietari a un gruppo di imprenditori e maestranze amalfitane, tra i quali i fratelli Diletto, che nel 1599 ne divennero gli unici proprietari fino agli anni tra il 1632 e il 1634, quando furono costretti ad alienare la fabbrica nonostante il suo valore fosse passato da circa 880 ducati, di cui 103 per la quota del bosco circostante, a circa 1800 ducati. Si chiuse così una lunga tradizione imprenditoriale che aveva dato vita a generazioni di cartari, impegnati sia in questa che nelle altre cartiere che sorsero nella valle del Bonea; gli stessi Diletto continuarono a impegnarsi nella conduzione non solo della loro ex azienda, ma anche di altre del territorio. La cartiera passò poi attraverso diverse proprietà fino alla seconda metà del XIX secolo: nel 1880 il fabbricato era censito come lanificio, consistente in 5 vani terranei e 6 vani al primo piano. Nel 1903 l'opificio passò a una società di cui faceva parte Gaetano Notari, che in seguito ne divenne l'unico proprietario. Negli anni '40 del secolo scorso la fabbrica, in Figura 1, operava per forniture militari e poi per Zegna, cui garantiva il pettinato e il cardato. Dopo l'alluvione del 1954 l'attività riprese, ma solo per poco (Tesauro, 2003). Negli anni '60 lo stabile e l'azienda furono acquistati dalla società di confezioni tessili Lugifram di Caserta, che già in precedenza si serviva da Notari per il tessuto. Attualmente l'immobile è destinato a fabbrica di ceramica.

La cartiera, che produceva carta straccia, era inizialmente dotata di cinque pile, ciascuna composta da tre magli, due tini, tre presse, una mola ad acqua con sei ferri e una caldaia di rame per incollare da 100 libbre circa; una sesta pila era "spilata". Lo spanditoio era situato nella "casa di coppa". Il compendio immobiliare veniva concesso in affitto anche per una sola metà e si cedevano anche alcuni vani in località Forte, di fronte alla cartiera, da utilizzare come abitazione o per alcune fasi della lavorazione, quali l'incollaggio e l'asciugatura. Agli inizi del '600 era previsto l'ampliamento con una nuova pila, ma a metà dello stesso secolo l'intera cartiera era ancora composta da sei pile. Una svolta nella capacità e qualità produttiva si registrò nel 1680, quando la cartiera fu divisa in due metà, entrambe cedute in fitto, ciascuna delle quali era dotata di 4 pile, di cui una spilata, in grado di produrre "carta di qualsivoglia sorte"; le fasi dell'incollaggio e dell'asciugatura erano dislocate in un edificio non lontano, di proprietà della famiglia De Simone che aveva acquistato la cartiera nel 1660 e che la mantenne anche nel Settecento (Tesauro, 2020).

Nel 1700, il compendio produttivo veniva descritto come «cartiera per fare carte con il piano et una casa per tenere stigli[9] di cartiera, consistente detta cartiera in tre stanze cioè due dove si lavora la carta e un'altra dove stanno pile, et argoli con torre, et loggia, con tutte sue ragioni e azioni» (Tesauro, 2003).

La modifica dell'impianto, che comportò la sostituzione delle vasche di pietra con vasche di marmo e che portò il numero di pile a 10, provocò la reazione della

Fig. 1 - La vecchia fabbrica di tessuti Notari, già cartiera di Fontana Vecchia e attualmente sede di una fabbrica di ceramica (per cortesia di A. Tesauro).

Mensa vescovile e l'instaurarsi di una lunga causa che terminò nel 1711 con una transazione per cui la Mensa accettò l'ampliamento e la possibilità di produrre ogni tipo di carta a fronte di un aumento del canone annuo per l'uso dell'acqua. Nella seconda metà del Settecento, la cartiera, che era ormai dotata di 13 pile ed era stata data in affitto a Giovanbattista Taiani, non sfuggì alle conseguenze derivanti dalle alluvioni che interessarono la zona tra il 1773 e 1775 (Tesauro, 2003).

La scheda della Statistica industriale del 1848, che individua la cartiera con la denominazione di "la Torretta", riporta che le pile, diventate 17, erano collegate a 5 ruote idrauliche costruite nel Regno e che la produzione era di 150 balle di "buona opinione", di cui 40 smerciate tra Napoli e la Sicilia. La scheda riporta anche che gli operai erano 13, di cui 7 uomini, 4 donne e 2 fanciulli, il cui salario variava da 0,20 ducati per gli uomini a 0,08 per le donne fino a 0,04 per i fanciulli, in diminuzione rispetto al passato; la concorrenza della cartiera del Fibreno aveva cominciato a farsi sentire.

Le cartiere Piano-Travertino

Una seconda cartiera fu aperta a monte del ponte dell'attuale statale amalfitana, in località Piano, in Figura 2. Nel 1632 Muzio De Rosa ottenne dal vescovo la concessione di edificare una cartiera, una ferriera e una ramiera con la facoltà di potersi servire dell'acqua del fiume, a condizione che questa fosse poi reimmessa nel torrente. Dopo più di un decennio la Mensa vescovile diede una nuova concessione per

Fig. 2 - L'area industriale di Vietri nella valle del Bonea prima dell'alluvione del 1954: il tetto della ramiera distrutta dall'alluvione, in basso, e i due edifici produttivi, già cartiere del Piano e del Travertino, al centro (per cortesia di A. Tesauro).

costruire un'altra cartiera e i De Rosa divennero così titolari di due cartiere, la Piano e la Travertino, quest'ultima a valle della prima e essa adiacente, e di un edificio adibito anche a uso civile, detto "palazzo".

La cartiera del Piano era a sua volta composta da due nuclei autonomi, per cui alla fine del XVII secolo le cartiere erano 3, in grado di confezionare carta straccia, carta bianca, carta da scrivere, carta da stampa e cartoni. In particolare, la cartiera del Piano era destinata in parte alla produzione di carta da scrivere e in parte a quella di carta straccia, mentre quella del Travertino produceva anche carta da stampa.

Nel 1679 una delle due cartiere del Piano era dotata di 7 pile, di cui 6 di marmo e 1 spilata di legno, mentre la seconda di 6 pile di legno, tutte con le rispettive piastre di ferro. La cartiera del Travertino, che nel 1678 disponeva anch'essa di 7 pile, di cui 6 di marmo e 1 spilata, fu ampliata a 9 pile, di cui 8 di marmo con piastre, chiavette e staffette, e 1 spilata di legno con piastra e staffette. Le tre cartiere condividevano alcune attrezzature e alcuni locali del palazzo.

Per l'approvvigionamento idrico, oltre all'acqua del fiume, le cartiere usufruivano di propria "acqua netta" per la lavorazione della carta bianca e di quella da scrivere, che proveniva "da sopra il palazzo" (Tesauro, 2003).

Nel 1736, dopo alterne vicende legate a questioni ereditarie e a vendite, l'intero complesso entrò a far parte della dote per un erigendo Monastero di monache dell'Immacolata Concezione.

La scheda della Statistica industriale del 1848 riporta che la cartiera del Piano lavorava con 16 pile collegate a 5 ruote idrauliche costruite nel Regno e produceva 150 balle di "buona opinione", delle quali 40 erano inviate a Napoli e in Sicilia. I dipendenti erano 14, di cui 8 uomini, 4 donne e 2 fanciulli con salario rispettivamente di 0,20, 0,08 e 0,04 ducati; anche in questo complesso il numero di operai, il loro salario e l'attività erano in diminuzione, a causa della concorrenza della cartiera del Fibreno. Per la cartiera del Travertino i dati sono praticamente gli stessi, ma i dipendenti erano 12, 7 maschi e 5 donne, e il salario delle donne era di 0,07 ducati.

Nel 1857 gli immobili vennero acquistati da Gaetano D'Amico che, come si ricava dal catasto fabbricati del 1880, utilizzò i locali inizialmente come lanificio e fabbrica di pasta e poi in parte come cotonificio, che nel 1911 aveva 105 operai, e in parte come conceria. Dagli anni '50 del XX secolo la parte meridionale del compendio divenne una fabbrica di tessuti che a seguito dell'alluvione del 1954 subì danni, soprattutto ai telai. Attualmente uno degli immobili è in parte destinato a ceramica e in parte a officina meccanica.

La cartiera della Mensa vescovile

A Marina di Vietri, alla sinistra del fiume Bonea, nel 1643 sorse una cartiera di proprietà della Mensa vescovile che produceva essenzialmente carta straccia e che fu affidata a maestranze di origine amalfitana, anche se è segnalata la presenza di un maestro cartaro di Foligno.

Inizialmente la cartiera era dotata di 4 pile. Nel 1683, nel rispetto del contratto stipulato con la proprietà, i conduttori Tommaso, Matteo e Antonio Cantarella dovettero impegnarsi a cambiare gli stigli, con un notevole impegno economico; a valle di questo intervento, nel 1687 il vescovo fece realizzare lo spanditoio. All'inizio del Settecento le pile passarono a 6 (Tesauro, 2003).

Questa cartiera ebbe vita breve: esaurì la sua funzione produttiva dopo il primo decennio del Settecento per essere riconvertita a gualchiera per la produzione di lana.

La cartiera di Marina d'Albori

Nel 1757 fu effettuata una perizia per valutare la possibilità di costruire a Marina d'Albori una cartiera che fu realizzata solo agli inizi del secolo successivo e che era alimentata dalle acque del torrente che scendeva dalla gola.

Nel 1848 l'opificio, in Figura 3, censito nella Statistica industriale, era dotato di 9 pile, azionate da tre ruote idrauliche, e occupava 13 addetti, di cui 6 maschi, 4 donne e 3 fanciulli con un salario rispettivamente di 0,25, 0,10 e 0,05 ducati. Vi si producevano annualmente 70 balle di carta di ottima qualità, delle quali 40 si commercia-

vano tra Napoli e la Sicilia. Anche questa cartiera subì la concorrenza della cartiera del Fibreno.

Nel 1919, probabilmente a causa un evento alluvionale che la fece andare in rovina, la struttura fu scaricata dal catasto ai fini fiscali. In seguito i locali furono acquistati da Gioacchino Luigi Mellucci, ingegnere napoletano vicino a Pier Luigi Nervi, per poi passare ad altri proprietari (Avallone, 2013).

Attualmente, in alcuni locali del vecchio fabbricato sono ancora visibili alcuni elementi strutturali che richiamano l'antica funzione. In ricordo della vecchia fabbrica, il lido antistante l'edificio è denominato A 'cartera.

Fig. 3 - La cartiera di Marina d'Albori (per cortesia di A. Tesauro).

La cartiera dell'Auso

La cartiera dell'Auso, in Figura 4, fu fondata nel 1723, ed era inizialmente dotata di 9 pile. Era costituita da due immobili posti sulle rive opposte del Bonea e collegati da un ampio ponte. Nel 1911, come riportato dalla Statistica industriale di quell'anno, al posto della cartiera c'era la filanda di cotone di Vincenzo Annarumma, genero del Gaetano D'Amico che aveva acquistato le cartiere del Piano Travertino. L'alluvione del 1954 provocò gravi danni agli immobili (Avallone, 2013).

Negli anni '60 del secolo scorso, alcuni piani dell'immobile principale furono nuovamente destinati alla produzione di carta (d'Ambrosio *et al*., 2024).

Attualmente, l'edificio principale è sede di una attività ricettiva e di un'azienda che produce detergenti.

Conclusioni

Vietri sul mare è stata sede di una intensa attività di produzione della carta dalla seconda metà del Cinquecento fino a fine Ottocento, quando la concorrenza di altre cartiere, soprattutto quella del Fibreno, che utilizzavano macchinari tecnologicamente avanzati per l'epoca, ne determinarono la fine.

Oggi alcune di quelle cartiere sono ancora sede di attività produttive, seppur molto diverse da quella originaria.

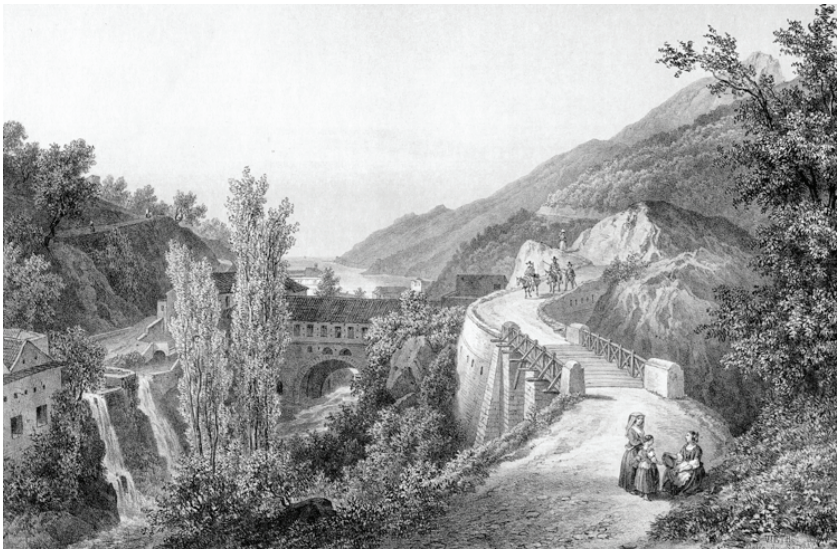


Fig. 4 - La cartiera dell'Auso e il vecchio tracciato della mulattiera per la costiera (litografia di C. Billmark, 1852, per cortesia di F.R. d'Ambrosio Alfano).

Bibliografia

Assante F. 1994. *Amalfi e la sua costiera nel Settecento*. Napoli: ESI.

Avallone M. 2013. *"Di sofferta partenza ma duratura esperienza". La cartiera dell'Auso in Vietri*. Tesi di laurea. Università degli Studi di Salerno.

Avallone M., d'Ambrosio F.R., Tesauro A. 2024. La produzione della carta in Costiera amalfitana. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S, D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Ciccolella D. 2019. Murat, la pace, il commercio (1806-1815). Società e storia, 164, 197-228.

d'Ambrosio F., d'Ambrosio Alfano F.R., d'Ambrosio G., d'Ambrosio P. 2024. La cartiera dell'Auso e l'antica turbina. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S, D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Galanti G.M.1979. Nuova descrizione geografica e politica delle Sicilie. III, 303. Napoli: Presso i Soci del Gabinetto Letterario.

Tesauro A. 2003. Introduzione della lavorazione della carta in Vietri e suo sviluppo nel XVII secolo. In: *La Costa di Amalfi nel secolo XVII. Atti del Convegno di Studi*, I, 217-255. Amalfi: Centro di Cultura e Storia Amalfitana.

Tesauro A. 2009. Aspettative portuali e statistiche industriali a Vietri nel XIX secolo. In: *Storia e protagonisti nella Vietri dei secoli XIX e XX. Atti del seminario di studi – Mostra del bicentenario*, 16.12-21.1.2007, 75-114. Vietri sul mare: Comune di Vietri sul Mare.

Tesauro A. 2020. *Le cartiere di Vietri tra Settecento ed Ottocento*. Amalfi: Centro di cultura e storia amalfitana.

Sitografia

[1] https://archive.org/details/bub_gb_iadvX7QBtCkC
[2] https://www.youtube.com/watch?v=hIC-rzumfoM

Note

[1] "Faenzera", da Faenza, è il termine tuttora utilizzato per indicare un laboratorio in cui si lavora l'argilla.

[2] L'attuale denominazione di Vietri sul mare fu adottata dal consiglio comunale ed approvata con decreto reale n. 1078 del 14.12.1862, per distinguere questo paese da Vietri di Potenza.

[3] Con il decreto n. 4210 del 9 luglio 1857 il Regno delle Due Sicilie, ultimo in Italia, adottò l'uso dei francobolli nel servizio postale; a Bonaventura Taiani furono commissionate una fornitura di fogli grezzi non gommati nel 1857 e una di carta "collata e di pisto più fino" nel 1860. Nel Catalogo Bolaffi e nel Sassone è riprodotto, nella sezione degli antichi stati italiani, un foglio con le scritte laterali "bolli postali" e con il monogramma BT, Bonaventura Taiani (Tesauro, 2020, p. 12, nota 7).

[4] "Sovra la statistica e l'andamento delle industrie e del commercio della provincia negli anni 1872 e 1873", Relazione della Camera di Commercio ed Arti di Salerno al Ministero di Agricoltura Industria e Commercio, Salerno 1875, p. 27.

[5] La Diocesi di Cava, istituita nel 1514 da papa Leone X, comprendeva tra l'altro i territori degli attuali comuni di Cava de' Tirreni e Vietri sul Mare. La giurisdizione sulle acque, gli alvei e le ripe dei fiumi fu trasferita nel 1514 dalla Badia di Cava, che nel 1070 ne aveva ricevuto la concessione dalla principessa Gemma, madre dell'ultimo principe di Salerno Gisulfo II, alla Mensa vescovile della nuova Diocesi. I diritti feudali sulle acque furono aboliti con la legge di soppressione della feudalità nel Decennio francese (Tesauro, 2020).

[6] Sta per "magnifico".

[7] Il toponimo indica il sito sotto il ponte all'inizio della statale amalfitana; oggi vi opera una fabbrica di ceramica.

[8] Nel 1394 la Terra della Cava, che comprendeva anche gli attuali comuni di Vietri sul mare e Cetara, fu elevata a città autonoma con propria diocesi. A seguito di questo riconoscimento, i rapporti tra la Badia e i cittadini cavesi sfociarono in momenti di conflittualità, cui facevano seguito concessioni di capitoli, che riconoscevano diritti o esentavano da gravami. Nel 1514 l'Università di Cava si emancipò pienamente anche dalla Badia ottenendo la diocesi separata, alla cui mensa vescovile furono assegnati i censi delle terre e degli immobili di proprietà della Badia e i diritti di carattere feudale che questa esercitava in termini, tra gli altri, di giurisdizione civile e mista, fida dei boschi, pesi e misure e, rilevante per quanto qui riportato, uso delle acque. Questi diritti furono poi aboliti nel decennio francese, senza che venisse alterato lo stato di città demaniale, cioè di città non soggetta a famiglie feudatarie ma direttamente alla corona, privilegio che rese Cava una delle città più importanti del Regno. La città era suddivisa in quattro quartieri, che a loro volta aggregavano diversi casali o parrocchie. I compiti principali dell'Università riguardavano la difesa, le strade, il culto, l'istruzione e l'annona, finanziati con una serie di gabelle (Tesauro, 2020).

[9] Nei contratti di affitto gli stabili venivano ceduti con gli impianti fissi e gli attrezzi, gli "stigli", che, insieme alla materia prima, ai semilavorati e all'eventuale contante costituivano la "capitania", il cui interesse rientrava nell'importo del fitto (Avallone *et al.*, 2024).

Fabiana d'Ambrosio, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano,
Giovanni d'Ambrosio, Pietro d'Ambrosio

La cartiera dell'Auso e l'antica turbina

The paper mill of Auso and the ancient turbine

Sommario
Questo contributo è la terza parte di una serie di tre che riguardano la storia delle cartiere di Vietri sul mare, il primo paese della Costiera amalfitana. Vietri sul mare, oggi nota come "porta della Costiera amalfitana" oltre che per le sue ceramiche artigianali, è stata dal XVI secolo fino alla prima metà del XX secolo un centro noto per i suoi insediamenti per la produzione di carta, rame, vetro e cotone. Di quell'epoca restano solo gli edifici in cui queste attività venivano svolte; tra essi, quello in cui si trovava la cartiera dell'Auso. Di questo edificio e della turbina idraulica a esso annessa viene qui raccontata la storia.

Abstract
This paper is the third part of a series of three concerning the history of the paper mills of Vietri sul Mare, the first town of the Amalfi Coast. Vietri sul Mare, now known as the "gateway to the Amalfi Coast" as well as for its artisanal ceramics, was from the 16th century until the first half of the 20th century a center known for its settlements for the production of paper, copper, glass, and cotton. Of that era, only the buildings where these activities were carried out remain; among them, the one where the Auso paper mill was located. The history of this building and the attached hydraulic turbine is recounted here.

Le origini

A partire dalla seconda metà del XVI secolo, a Vietri, l'attuale Vietri sul mare[1], primo paese della Costiera amalfitana, si sviluppò una intensa attività nel settore cartario. All'apertura della cartiera di Fontana vecchia nel 1577 seguirono quelle del Piano-Travertino e della Mensa vescovile nel Seicento, quella della cartiera dell'Auso, la cui storia è qui di seguito narrata, nel 1723, e nell'Ottocento quella di Marina d'Albori (Avallone *et al*., 2024a).

Polista Della Guardia, la cui famiglia aveva interessi imprenditoriali, in particolare nel settore del rame, ottenne nel 1723 dal vescovo di Cava la concessione perpetua dell'acqua del Bonea[2] per poter attivare in località Auso di Vietri una cartiera «sia di carta fine da scrivere come straccia, e di altre qualità di carta», per un numero libero di pile, «sia di pietra, di marmo o di legno o di altra maniera e con il suo maglietto per battere la carta» (Tesauro, 2020, p. 102). In cambio della concessione e della possibilità di realizzare delle vasche, dette "controni" o "cantaroni", in cui l'acqua decantava prima di essere inviata ai mulini a valle, Della Guardia dovette pagare la concessione per un importo di 450 ducati[3] e sostenere la spesa per sollevare di 2,5 palmi, pari a circa 19 cm, il corso dell'acqua per aumentare l'altezza di caduta in corrispondenza della sottostante erigenda gualchiera della Mensa vescovile (Avallone *et al*., 2024a). Tutto ciò creò problemi legali con i De Simone, proprietari della cartiera di Fontana vecchia (Avallone *et al*., 2024a), che era localizzata a monte, dal momento che non solo ovviamente diminuì il salto a loro disposizione, ma c'erano anche problemi di allagamento dei locali dello stabilimento produttivo. L'atto di concessione dell'acqua prevedeva che il vescovo fosse esonerato da ogni conseguenza di carattere legale legata al nuovo sistema di irreggimentazione delle acque, per cui la questione si risolse con l'acquisto nel 1729 da parte di Della Guardia di un pezzo di terreno di proprietà dei De Simone per captare l'acqua del Bonea senza innalzarne il livello del letto (Tesauro, 2020, pp. 102-104).

Nel 1743 Polista Della Guardia morì e ai suoi eredi fu trasmessa, tra le altre proprietà, una ramiera, la cui attività era iniziata qualche decennio prima, e la vicina cartiera dotata di 9 pile per la produzione di «ogni sorte di carta da scrivere, straccia ed altre» (Tesauro, 2020, p. 106); la cartiera era costituita da due edifici, posti sui due argini del Bonea e collegati da un ponte, ben visibile in Figura 1.

La cartiera, allora dotata di una «sola machina di fabrica, con alcuni artificii di legname» fu acquistata nel 1746 da Bonaventura Taiani, che, per sostenere le spese necessarie per portarla al suo «perfetto artificio» (Avallone, 2013, p. 68), dovette accettare come soci i Fusco. La ramiera restò di proprietà dei Della Guardia (Tesauro, 2020, p. 108); si tratta dell'unica ramiera vietrese di cui resta ancora il fabbricato, seppure non completamente agibile, in Figura 2. Nel 1748 sorse una questione tra i Della Guardia e i Taiani perché gli interventi effettuati dai primi sul canale di derivazione adiacente al Bonea in cui scorreva l'acqua che forniva la forza motrice alla ramiera e poi, subito a valle, alla cartiera, avevano ridotto la portata alla ramiera pregiudiziandone l'operatività.

Dal 1749 la cartiera dell'Auso fu tenuta in comune tra i Taiani e i Fusco, che ne affidarono l'amministrazione a Francesco Maria De Sio, cognato di entrambi.

Nel 1775 la cartiera fu ceduta in affitto all'imprenditore Forte con una dotazione consistente in «dieci pile a ferro, ed una spilata con tutti li loro stigli[4] necessari atti a lavoro, maglietto con suoi stigli, l'acqua netta, una caldara grande di rama fabricata

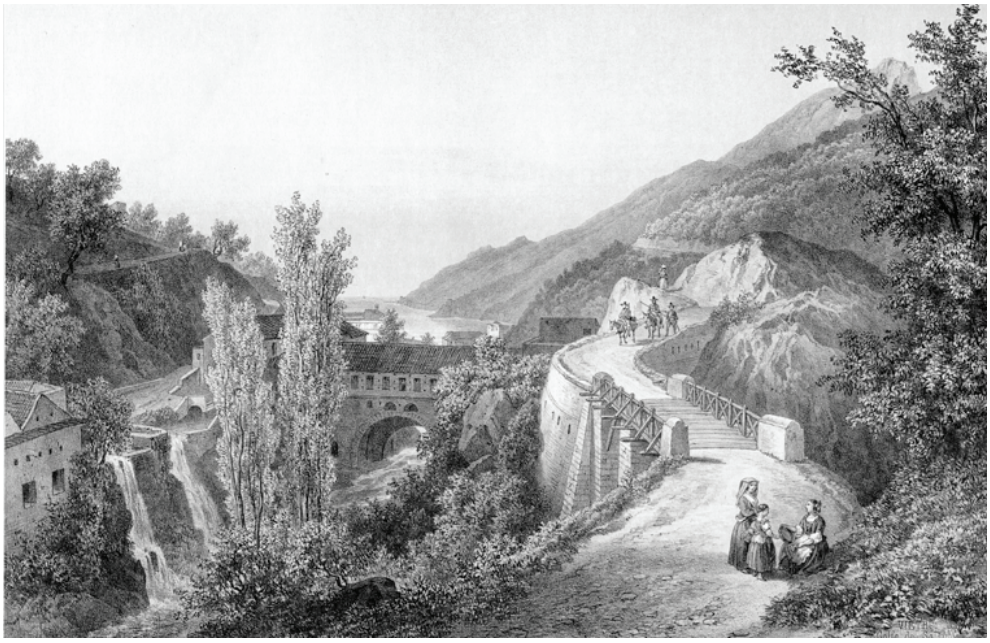


Fig. 1 - La ramiera, a sinistra, il ponte della Cartiera dell'Auso, al centro, e la mulattiera per raggiungere i centri della costiera, a destra (litografia di C. Billmark, 1852, per cortesia degli Autori).

Fig. 2 - L'antica ramiera, oggi (foto di Giulio Fabricatore).

per incollare la carta, n.o due tinelli grandi, uno per lavorare carta da scrivere, e l'altro da straccia, tutti due con loro soppressa, ed altri attrezzi necessari; inoltre "spannitoio, allisciatoro" e tutto quanto occorreva per la fabbricazione della carta» (Tesauro, 2020, p. 110). In quello stesso anno vi fu un'alluvione che diede luogo all'ennesima lite giudiziaria tra i proprietari e i De Simone; infatti i Forte chiesero un indennizzo ai proprietari che decisero di rivalersi contro i De Simone, accusandoli di non aver riparato una parte della loro fabbrica, danneggiata dall'alluvione, per cui l'acqua, non più correttamente incanalata, invadeva i locali della produzione della cartiera a valle, comportando seri danni sia alla materia prima, che rischiava di marcire, sia alle attrezzature.

La cartiera dell'Auso nel XIX secolo

Nel 1810 vi fu una nuova vertenza da parte di privati e dell'amministrazione comunale contro De Simone che, volendo trasformare la sua ramiera in ferriera con la necessità di maggiore energia idrica, aveva innovato il sistema di utilizzo dell'acqua, formando un laghetto il cui riempimento comportava una ricorrente pausa del flusso idrico ai sottostanti opifici, compresa la cartiera dell'Auso, che nel 1801 era diventata di proprietà esclusiva dei Taiani.

Nel 1820 la cartiera fu venduta, probabilmente con una vendita giudiziaria[5], a Raffaele Barbato De Simone di Napoli, che a sua volta la cedette a Beniamino Amatruda di Amalfi, domiciliato in Vietri, fabbricante di carta con patente rilasciata dal Comune.

Una scheda della Statistica industriale del 1848 riporta che la cartiera, detta "Il Forte", di proprietà degli eredi di Beniamino Amatruda e diretta da Donato Gargano, era dotata di 16 pile collegate a 5 ruote idrauliche, costruite nel Regno; occupava 13 persone, di cui 7 uomini, 4 donne e 2 fanciulli, ai quali veniva corrisposto un salario rispettivamente di 0,20, 0,08 e 0,04 ducati. La produzione annua era valutata in 150 balle[6] di carta di "buona opinione", di cui 40 venivano commercializzate tra Napoli e la Sicilia. Anche questa cartiera, come tutte quelle della zona, risentiva della concorrenza di quella del Fibreno (Avallone *et al*., 2024b). Nella Statistica industriale del 1857 compare una scheda dalla quale risulta che la fabbrica impiegava 32 persone, di cui 15 uomini, 10 donne, 4 ragazzi e 3 ragazze. Il salario variava da 4 a 2 carlini per 11 uomini, da 2 a 1 carlino per gli altri 4 uomini e fino a un massimo di 1 carlino per i giovani e le donne. La cartiera era in attività per 10-12 mesi all'anno per 9-12 ore al giorno; l'opificio, che produceva 2.000 risme di carta, era dotato di 6 macchine ad acqua e utilizzava come materia prima stracci, colla animale del Regno e cloruro di calce di Francia (Tesauro, 2020, p. 119, nota 336).

Agli inizi degli anni '70, la fabbrica, dotata di 12 macchine, produceva carta grossolana e carta straccia (Tesauro, 2020, pp. 120-121).

Dal catasto del 1880 risultano ancora proprietarie della cartiera le sorelle Amatruda, una delle quali aveva sposato Pio Casolaro. Nel 1885, le sorelle Amatruda e Pio Casolaro crearono la società "Cartiera di Vietri" che in una Statistica industriale

dell'epoca risulta dotata di «una caldaia a vapore di potenza 6 cavalli dinamici, 7 motori idraulici di potenza 18 cavalli dinamici, una macchina continua ed una macchina a tamburo, 9 operai e 5 operaie, 300 giorni lavorativi annui» (Avallone, 2013, p. 76).

La "Relazione della Camera di Commercio ed Artigianato di Salerno al Real Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio sovra la statistica e l'andamento delle industrie e del commercio della provincia negli anni 1883 e 1884" del 1886 riporta che la fabbrica di Carlo Casolaro era a quell'epoca l'unica operante a Vietri; dotata di una macchina, impiegava 11 operai, di cui due donne, e produceva carta per imballaggio (Tesauro, 2020, p. 120).

Alla fine del XIX secolo fu realizzata una centrale elettrica alla quale era interessato anche un tecnico svizzero, Andrea Sprecher, al quale il Comune di Vietri contestò l'abbattimento dei piloni dell'antico ponte di legno che conduceva alla mulattiera che risaliva il costone sotto l'attuale statale amalfitana, nella quale si immetteva all'altezza dell'attuale bivio per Raito, e che rappresentava l'unica strada carrozzabile per arrivare in costiera Amalfitana prima della realizzazione della strada borbonica, costruita a metà Ottocento, si veda la Figura 1.

Nel Registro catastale del 1899 viene denunciata, nello stesso compendio, una nuova costruzione adibita a pastificio (Tesauro, 2004).

La cartiera dell'Auso nella prima metà del XX secolo

Agli inizi del XX secolo ci furono vari subingressi, tra cui quello dell'Arciconfraternita dei Pellegrini di Napoli. Nel 1903 la proprietà passò alla Società Elettrica del Mezzogiorno, poi Società Anonima per l'Applicazione di Energia Elettrica e infine Società Elettrica della Campania; in quell'anno l'edificio principale è censito ancora quale cartiera.

Nel 1905 lo stabile venne acquistato dall'industriale Vincenzo Annarumma, marito di Teresa D'Amico, a sua volta figlia di quel Gaetano che nel 1857 aveva acquistato le cartiere Piano-Travertino (Avallone *et al*., 2024a). La Statistica industriale del 1911 censisce lo stabile quale filanda di cotone di Vincenzo Annarumma; la filanda aveva 70 lavoranti.

Nei primi decenni del secolo la proprietà passò a Giovanni d'Ambrosio e Alberto Franchomme, mariti di due figlie di Vincenzo Annarumma.

Gli Stabilimenti Tessili Mattioli

Nel 1937 d'Ambrosio e Franchomme affittarono la proprietà a Domenico Mattioli, che vi impiantò gli "Stabilimenti Tessili Mattioli", presso i quali si producevano tessuti per commesse militari. Gli stabilimenti lavoravano con continuità, per cui Mattioli, per favorire l'osservanza del precetto festivo per gli operai impegnati nei turni di lavoro e più in generale per migliorare le condizioni di lavoro dei propri dipendenti, fece costruire un oratorio semipubblico dedicato alla Vergine del Rosa-

rio e una serie di alloggi all'interno della proprietà. A valle della guerra la fabbrica era, con un'altra fabbrica di Spoleto gestita dallo stesso Mattioli, l'unica fornitrice di filato per il comparto tessile salernitano, ma la crisi economica e la concorrenza di altre filande la portarono al tracollo. Nell'allegato agli Atti Parlamentari relativi alla seduta pomeridiana della Camera dei Deputati del 3 marzo 1952 è riportato il testo dell'interrogazione parlamentare con cui Giorgio Almirante chiede di risolvere il problema del diritto al lavoro degli operai che occupavano da 40 giorni lo stabilimento a seguito della chiusura delle attività produttive; infatti, nel 1950 Mattioli, in dissesto finanziario, si suicidò «dopo aver fatto sparire i registri e le carte contabili della società» [1] e lo stabilimento fu affidato a un curatore che, dopo innumerevoli tentativi per risolvere la situazione, dichiarò il fallimento. I più anziani del paese ricordano che per solidarietà con gli operai durante l'occupazione si portò in processione nello stabilimento la statua del patrono di Vietri, S. Giovanni Battista.

La cartiera dell'Auso nella seconda metà del XX secolo

Nel frattempo, con due distinti atti notarili del 1957 e del 1958, Franchomme aveva ceduto la propria quota della proprietà a Giuseppe e Vincenzo d'Ambrosio, figli di Giovanni, per cui i d'Ambrosio rimasero gli unici proprietari del compendio industriale, che fu gravemente danneggiato dall'alluvione del 1954: la struttura a ponte sul fiume che collegava i due edifici contrapposti fu abbattuta dalla furia delle acque e i macchinari furono spazzati a valle [2, dal min 2.51].

Dal 24 aprile 1957 una parte del compendio industriale è occupata da una struttura turistica, che è una delle imprese storiche della provincia di Salerno, e un'altra parte ospita la produzione di detersivi per comunità.

L'antica turbina, rimodernata, è ancora in funzione.

L'antica turbina

Nell'atto di costituzione di una Società in nome collettivo per la gestione della cartiera risalente al 1885, la ruota idraulica era così descritta «una ruota idraulica nuova a cassette tutta in ferro, del diametro di metri tre e centimetri settanta, per larghezza centimetri ottanta con numero trentadue cassette e con tiranti di sostegno su casoni di ferro fuso, posta e situata nel pianterreno della detta cartiera in apposita forma a ancora di sostegno, e coi corrispondenti assi, cuscinetti in bronzo e ferro, ed ingranaggi per modulare il movimento, anche tutto nuovo, consistenti detti ingranaggi in numero due ruote dentate dritte, ed altre due ad angolo con numero tre pulegge per attaccare il movimento a cigna con l'asse corrispondente al maneggio dei cilindri all'Olandese, nonché canale di carica delle acque in ferro e corrispondente portellone di chiusura, anche in ferro con maneggio, del valore di lire duemilacinquecentoventitre» (Tesauro, 2020, p. 171). L'impianto era costituito da opere idrauliche delle quali è ancora ben conservata la vecchia vasca di

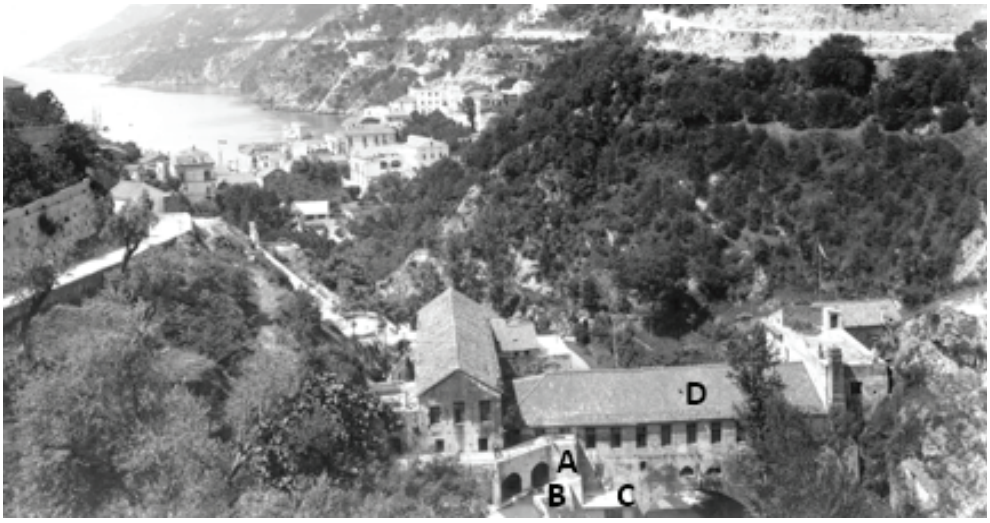


Fig. 3 - L'antica turbina: l'impianto originale di inizio '900 e quello attuale, frutto di una serie di ammodernamenti fatti nel secolo scorso. A: il canale con la torre piezometrica attuale, B: il canale con la torre piezometrica originale, C: il locale turbina attuale (per cortesia degli Autori).

carico con la torre piezometrica, mentre il canale di adduzione è oggi visibile solo in parte, come mostrato in Figura 3.

Nel febbraio del 1894 Alfredo Cafaro e l'ing. Sprecher presero in fitto l'opificio con forza motrice idraulica e progettarono un impianto la cui opera di presa era prevista a monte di quella precedente, così da ottenere un salto maggiore, come mostrato sempre in Figura 3, e produrre energia elettrica, secondo quanto previsto dalla concessione avuta dal comune di Cava dei Tirreni "[…] della illuminazione a luce elettrica della città e dei villaggi, per la durata di anni trenta, giusto istrumento per Notar Raffaele Catone dell'8 settembre 1893 […]"; in Figura 4 è mostrato uno stralcio dell'atto notarile.

Il progetto fu realizzato dalla Società Elettrica del Mezzogiorno che, come detto, aveva acquisito la proprietà della cartiera. Il nuovo impianto produsse l'energia elettrica che consentì per la prima volta l'illuminazione pubblica della vicina Cava de' Tirreni.

La turbina era collocata al primo livello dell'edificio sulla sinistra del Bonea, in un locale tecnico che, a seguito dell'alluvione del 1954, fu in parte danneggiato e poi messo in sicurezza con opere di recupero conservativo e di consolidamento statico.

La svolta si ebbe nel 1964, quando Giuseppe d'Ambrosio chiese e ottenne l'autorizzazione a produrre energia elettrica con l'impianto di forza motrice idraulica esistente, cui accoppiò un alternatore sincrono di concezione moderna.

L'impianto esistente utilizza le antiche opere di presa e di adduzione delle acque, le prime per derivare parte dell'acqua del Bonea, le seconde, costituite da un cana-

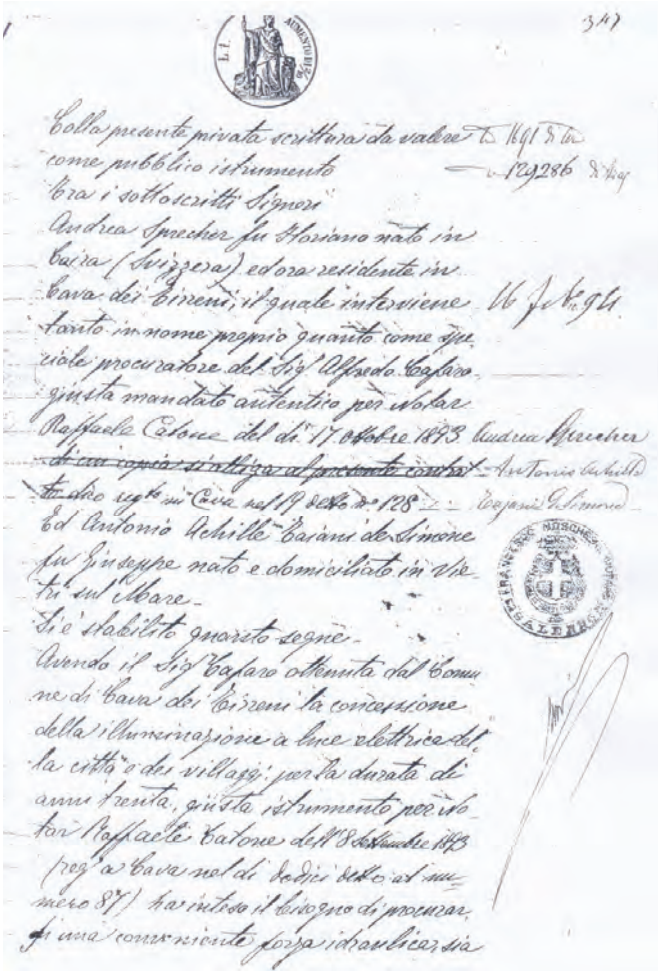


Fig. 4 - Stralcio dell'atto notarile del febbraio 1894 stipulato tra Alfredo Cafaro (rappresentato da Andrea Sprecher) e Achille Taiani de Simone per l'affitto dell'opificio ai fini della realizzazione della centrale elettrica.

le, per consentire l'afflusso di acqua dal punto di derivazione alla vasca di carico. La piccola vasca di carico, che svolge le funzioni di volano idrico per assicurare la portata necessaria alla turbina anche in caso di picchi di carico relativamente brevi, e la torre di carico, che realizza il salto di circa 14 metri, sono quelle progettate da Cafaro e Sprecher e realizzate dalla Società Elettrica del Mezzogiorno. Le opere di restituzione delle acque al corso d'acqua principale sono quelle del XIX secolo.

Il locale tecnico è quello antico, rimaneggiato a seguito dell'alluvione del 1954; in particolare, la finestra lato mare fu trasformata nell'attuale porta di accesso, dal

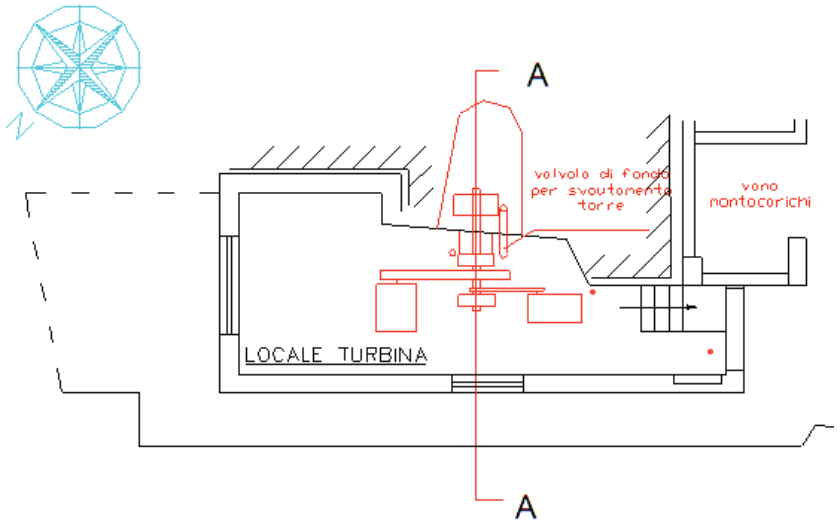


Fig. 5 - L'antica turbina: pianta dell'attuale locale tecnico (disegno di G. d'Ambrosio).

momento che, a seguito dei lavori di cui si è detto, quella preesistente veniva ad aprirsi nel vano montacarichi visibile nella pianta in Figura 5. Nel locale sono istallate le opere elettriche, meccaniche e idrauliche, la turbina a reazione, l'alternatore, i quadri elettrici e i sistemi di regolazione e controllo elettrici e oleodinamici.

Gli elementi idraulici e quelli meccanici, quali le paratoie di intercettazione destinate a bloccare il flusso dell'acqua verso la turbina, operazione che avviene saltuariamente solo in caso di interventi di manutenzione, e la valvola di fondo per lo svuotamento completo della camera idraulica sono quelli realizzati dalla Società Elettrica del Mezzogiorno, opportunamente manutenuti nel corso della loro vita.

L'impianto è ad acqua fluente, come peraltro la gran parte dei piccoli impianti idroelettrici. Infatti, il piccolo bacino non ha le stesse funzioni di quelli realizzati con dighe di sbarramento, che consentono di produrre una certa quantità di energia elettrica con continuità, ma serve unicamente come "volano idrico" per far fronte a picchi di potenza richiesti per piccoli intervalli di tempo. Questo significa che la portata derivabile durante l'anno è funzione del regime idrologico del corso d'acqua: quando questo è in magra la portata diminuisce e di conseguenza si riduce la potenza elettrica generata. L'impianto, grazie alle opere di presa, preleva l'acqua dal fiume Bonea, garantendo una quota minima di acqua al corso del fiume a valle della presa; questa acqua, attraverso un canale di adduzione lungo circa 300 m, giunge al piccolo bacino che alimenta la torre di carico e realizza il salto piezometrico di circa 14 m. Alla base della torre di carico è installata una turbina Francis in camera libera, tipologia di turbina a reazione utilizzata negli impianti con valori medi di salto e por-

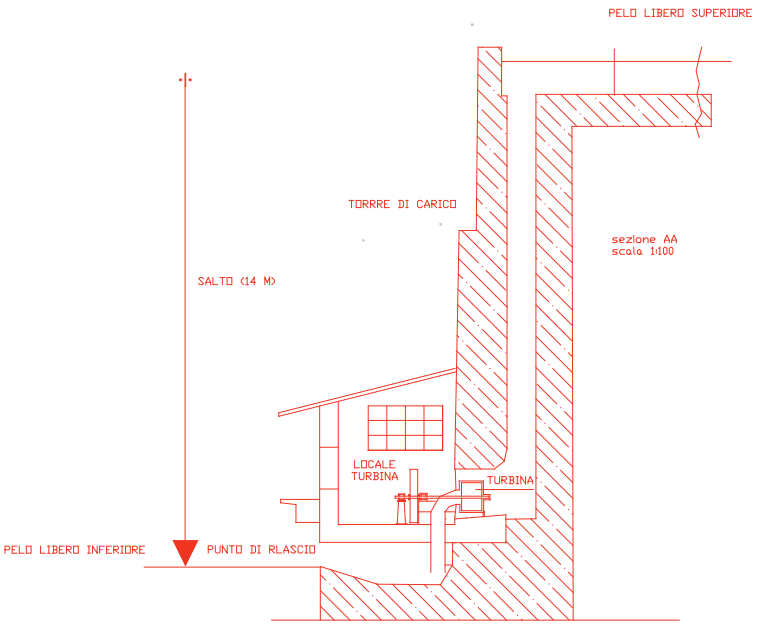


Fig. 6 - L'antica turbina: sezione A-A dell'impianto attuale in riferimento alla Figura 3 (disegno di G. d'Ambrosio).

tata, che trasforma l'energia potenziale dell'acqua in energia meccanica e restituisce l'acqua utilizzata al corso d'acqua principale attraverso un piccolo canale di rilascio, sotto battente, quindi senza variarne la velocità di deflusso e alterarne i parametri caratteristici. La sezione dell'impianto è riportata in Figura 6.

L'energia meccanica generata presente all'asse della turbina viene trasformata in energia elettrica da un alternatore trifase utilizzando un sistema di trasmissione a cinghie e un volano. Il controllo della potenza idraulica necessaria a seconda della potenza elettrica richiesta è svolto da un regolatore di Watt collegato con un sistema di cinghie all'albero della turbina, per la chiusura dell'anello di controllo di velocità, e con un sistema di alberi di trasmissione al distributore della turbina, organo meccanico con la funzione di regolazione della portata, per variare la quantità di acqua che fluisce attraverso la girante. In Figura 7 la turbina oggi.

La torre di carico è dotata di una valvola di svuotamento per consentire di eliminare completamente l'acqua dalla torre in caso di manutenzione alla turbina.

L'impianto è classificato dalla UNIDO-Organizzazione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Industriale come mini-idraulico, in particolare come micro centrale in quanto ha una potenza nominale inferiore a 100 kW.

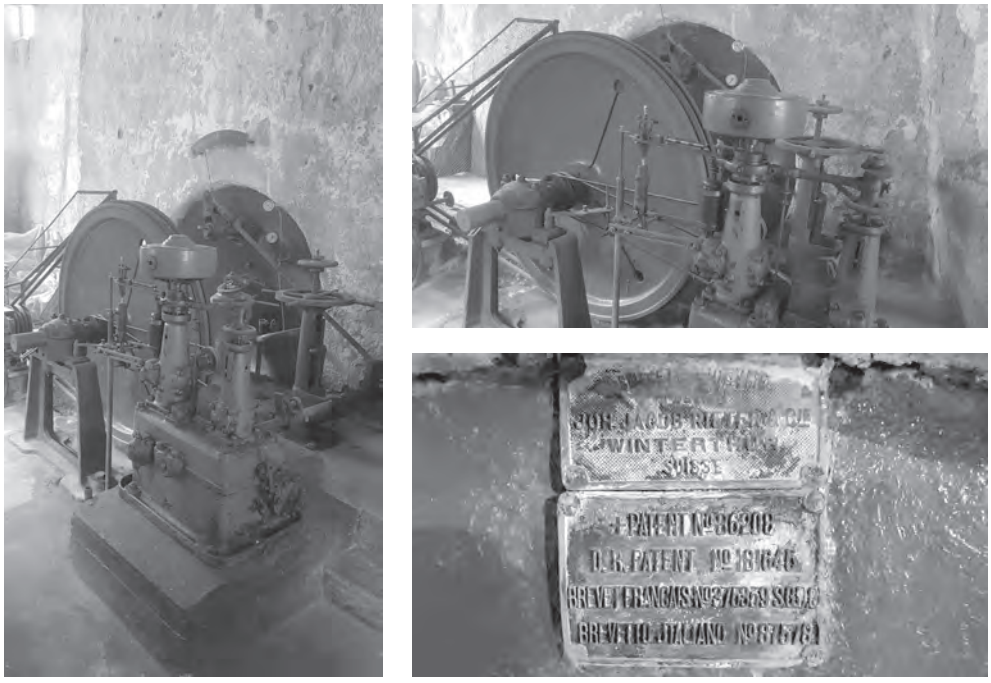


Fig. 7 - L'antica turbina, oggi (foto di Giulio Fabricatore).

Conclusioni

Nella prima metà del Settecento a Vietri sul mare fu realizzato un compendio industriale che ospitava la cartiera cosiddetta dell'Auso e una ramiera. Da allora, gli edifici del complesso hanno sempre ospitato attività industriali, da cartiera a pastificio a filanda di cotone, da ramiera a ferriera, fino all'alluvione del 1954, che ha profondamente cambiato i luoghi, danneggiando fortemente la ramiera e spazzando via il ponte che collegava i due edifici della cartiera. Attualmente, l'edificio principale della cartiera è sede di una struttura turistica, aperta ad aprile del 1957 e catalogata tra le imprese storiche della Provincia di Salerno, e di un impianto per la produzione di detergenti, nato nel 1973.

Fin dalle origini, la cartiera dell'Auso ha utilizzato un sistema di produzione di energia meccanica che, nel 1905, è stato convertito in sistema di produzione di energia elettrica, poi ammodernato a partire dal 1964.

L'attuale turbina, discendente dell'antica ruota motrice, ha permesso di illuminare per la prima volta le strade di Cava de' Tirreni.

Ringraziamenti

Grazie a Mariandrea Avallone e ad Aniello Tesauro per il loro prezioso lavoro di archivio che ci ha permesso di ricostruire la lunga storia di questo edificio.

Bibliografia

Avallone. 2013. *"Di sofferta partenza ma duratura esperienza". La cartiera dell'Auso in Vietri.* Tesi di laurea. Università degli Studi di Salerno.

Avallone M., d'Ambrosio F.R., Tesauro A. 2024a. Le cartiere di Vietri sul mare: una breve storia. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S, D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Avallone M., d'Ambrosio F.R., Tesauro A. 2024b. La produzione della carta in Costiera amalfitana. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S, D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Tesauro A., 2004. Schede varie di storia vietrese. In: estratto da *Il nubifragio dell'ottobre 1954 a Vietri sul Mare – Costa d'Amalfi, Salerno* (a cura di E. Esposito, S. Porfido, C. Violante), p.256. CNR-GNDCI, Pubblicazione n. 2870. Perugia: Tipografia Grifo.

Tesauro A. 2020. *Le cartiere di Vietri tra Settecento ed Ottocento*. Amalfi: Centro di cultura e storia amalfitana.

Sitografia

[1] https://legislature.camera.it/_dati/leg01/lavori/stenografici/sed0864/rsi0864.pdf

[2] https://www.youtube.com/watch?v=aZJAkXv1F5M

Note

[1] L'attuale denominazione di Vietri sul mare fu adottata dal consiglio comunale e approvata con decreto reale n. 1078 del 14.12.1862, per distinguerlo da Vietri di Potenza.

[2] Vietri è attraversata dal Bonea, delle cui acque era titolare la Mensa vescovile della Diocesi di Cava che le concedeva per usi civili o industriali dietro pagamento di un canone annuo (Avallone *et al*., 2024a).

[3] Contrariamente a quanto avveniva generalmente, l'importo della concessione venne suddiviso in sole due rate.

[4] Nei contratti di affitto gli stabili venivano ceduti con gli impianti fissi e gli attrezzi, gli "stigli", che, insieme alla materia prima, ai semilavorati e all'eventuale contante costituivano la "capitania", il cui interesse rientrava nell'importo del fitto (Avallone *et al*., 2024b).

[5] La vendita non fu fatta direttamente dai Taiani ad Amatruda, ma avvenne tramite una terza persona (Avallone, 2013, p. 73).

[6] La balla, o pezzo, rappresentava l'unità di misura per la carta; era composta da 24 risme, a loro volta suddivise in quinterni e in fogli (Tesauro, 2020, p.32).

Gennaro Miccio

Le indagini preventive e il supporto documentale per la corretta definizione degli interventi di restauro: il caso della Basilica inferiore del Duomo di Salerno

The preventive studies and documentary research for the correct definition of restoration interventions: the lower Basilica of the Salerno Cathedral

Sommario
In questo contributo viene descritto un intervento di restauro eseguito tra il 2001 e il 2002 nella Basilica Inferiore del Duomo di Salerno, per dimostrare che quando si interviene su manufatto storico e ancor di più su un bene culturale non sono sufficienti le sole competenze tecniche, ma è spesso determinante disporre di adeguate e approfondite indagini di carattere storico e documentale oltre che di tecniche e metodologie tali da consentire l'individuazione delle soluzioni progettuali più efficaci e adeguate al caso.

Abstract
In this paper, a restoration intervention carried out between 2001 and 2002 in the Lower Basilica of the Cathedral of Salerno is described to demonstrate that when intervening on a historical artifact, and even more so on a cultural asset, technical skills alone are not sufficient. It is often crucial to have adequate and in-depth historical and documentary investigations, as well as techniques and methodologies that allow for the identification of the most effective and suitable design solutions for the specific case.

Il Duomo di Salerno
La fondazione del Duomo di Salerno ha un preciso riferimento in una lettera, datata 18 settembre 1080, scritta dal Papa Gregorio VII al vescovo della città Alfano I che in precedenza lo aveva informato del ritrovamento delle spoglie dell'Apostolo Matteo (Capone, 1929). Pertanto, si imponeva la costruzione di un nuovo tempio per ospitare adeguatamente le spoglie dell'Apostolo Evangelista.

A marzo 1081 la Basilica inferiore doveva essere già pronta per essere aperta al culto, come testimoniato dalla lastra marmorea posta a copertura delle spoglie dell'Evangelista, dei Martiri salernitani e di altri santi (Carucci, 1974). Subito dopo si passò alla costruzione della Basilica superiore iniziando dal transetto, che ricopre

perfettamente la superficie della Cripta, e proseguendo fino all'ingresso, con orientamento est-ovest. A luglio 1084 la Basilica fu consacrata dal papa Gregorio VII, all'epoca a Salerno sotto la protezione del principe normanno Roberto il Guiscardo per sfuggire agli attacchi dell'imperatore Enrico IV.

L'aspetto attuale del Duomo è conseguenza di alcune importanti trasformazioni avvenute nel corso degli oltre mille anni della sua storia. Già dagli inizi del Seicento, come si vedrà meglio nel seguito, la Basilica inferiore fu oggetto di abbellimenti di tutte le superfici interne, con la realizzazione del ciclo di affreschi e degli stucchi sulle volte e il rivestimento a intarsi marmorei che ricopre le pareti e le colonne centrali. Dopo il rovinoso terremoto del 1688, furono realizzati imponenti interventi di trasformazione strutturale e formali della Basilica superiore che terminarono nella prima metà del 1700. Nuovi imponenti pilastri inglobarono le colonne e i capitelli provenienti dallo spoglio di templi romani e utilizzati per definire le navate e richiesero, per la loro realizzazione, che venissero rimosse alternativamente le colonne in granito Le pareti laterali furono sfondate per creare contrafforti esterni nei cui vani furono ricavate delle cappelle nelle navate laterali. In sintesi, fu realizzata una rivisitazione barocca con un complessivo ridisegno delle decorazioni parietali e la realizzazione di una volta a botte sull'intera navata centrale che ha occultato il sistema di copertura a capriate lignee a vista, mentre una partitura a volte singole scandisce ora la copertura di quelle laterali in corrispondenza delle varie cappelle. Anche il transetto fu interessato da una radicale trasformazione barocca il cui segno principale era costituito dalla sostituzione della copertura in capriate a vista con la realizzazione di tre cupole in corrispondenza degli incroci con le navate. Quest'ultima trasformazione venne poi eliminata con altri interventi eseguiti verso la metà del Novecento con i quali si intese quanto meno dare una certa rilettura della originaria configurazione romanica, almeno per il transetto, e con la messa in evidenza in alcune parti della presenza delle strutture impostate in epoca normanna. Questo primo programma fu poi completato con altri interventi eseguiti dopo il sisma del 1980.

Nella sua conformazione attuale la Basilica inferiore costituisce un elemento architettonico del tutto inusuale: un'aula rettangolare con altare centrale bifronte collocato in perfetta assialità con quello posto al centro del transetto della Basilica superiore, ma ruotato di 90 gradi. Lo spazio è scandito da esili colonne sormontate da volte a crociera; tre absidi sul lato lungo orientale, corrispondenti verticalmente alle absidi della parte superiore, e il lato corto a sud, corrispondente al livello della strada, sono in esterno, mentre l'altro lato corto a nord e quello lungo a ovest sono a ridosso di un terrapieno.

La definizione del problema

Agli inizi del nuovo millennio si decise di affrontare il problema dei danni all'apparato decorativo della Basilica inferiore, consistenti nel graduale scioglimento del

calcare del marmo, nella progressiva esfoliazione delle superfici pittoriche degli affreschi delle volte e nella caduta di parte delle foglie d'oro degli stucchi. La causa di questi fenomeni veniva attribuita all'umidità ascendente oppure a un elevato valore della umidità relativa che, nelle condizioni termoigrometriche di quell'ambiente, determinava la condensazione del vapore presente nell'aria sulle superfici parietali marmoree e sugli stucchi e gli affreschi delle volte. Un ulteriore problema era costituito dalla comparsa periodica sul pavimento a ridosso del lato corto settentrionale di infiltrazioni di acqua.

Gli interventi già progettati, programmati e finanziati, basati essenzialmente su una diagnosi visiva di umidità, erano altamente invasivi, prevedendo il distacco degli affreschi, la creazione di barriere chimiche alla base delle murature e l'applicazione di prodotti deumidificanti. Fortunatamente prevalse l'esigenza di cercare di individuare dapprima le vere cause di un fenomeno che sembrava recente, in quanto non se ne aveva informazione nel passato. Fu quindi avviata da chi scrive una lunga e accurata campagna di indagini ambientali che dimostrò che la causa dei danni non era l'umidità ascendente. Parallelamente, era stata avviata anche una ricerca di archivio che portò alle stesse conclusioni.

Le indagini

Le indagini, condotte secondo precisi protocolli scientifici, effettuando un monitoraggio continuo per un intero anno dei parametri microclimatici, da settembre 2001 a settembre 2002, furono affidate a una équipe del CNR guidata dall'ing. Alessandro Massa, dell'Università Roma 2 di Tor Vergata. Per verificare la validità dell'ipotesi di presenza di umidità ascendente, fu eseguita una serie di micro carotaggi all'interno dello spessore murario e fu misurata la quantità di acqua presente nei campioni prelevati. I risultati delle misurazioni rivelarono che la presenza di acqua era praticamente limitata allo spessore superficiale, costituito dal rivestimento marmoreo, e si riduceva all'interno della massa muraria, testimoniando quindi che si poteva escludere la presenza di umidità da risalita, tanto più che i fenomeni di degrado si manifestavano a circa quattro metri dal livello del piano di calpestio. Conseguentemente, si abbandonò il progetto di realizzazione di una barriera chimica.

Esclusa l'umidità ascendente, rimaneva da verificare se ci fosse una causa legata al microclima all'interno della Basilica inferiore. Si decise quindi di misurare i valori di temperatura e umidità relativa dell'aria nella Basilica inferiore, in quella superiore e all'esterno, oltre che, per la sola Basilica inferiore, della temperatura superficiale e della concentrazione di anidride carbonica in tre punti significativi. In Figura 1 è riportato lo schema relativo alla disposizione delle sonde. Come detto, il monitoraggio durò un anno, per indagare su eventuali variazioni microclimatiche nella Cripta anche in relazioni alle condizioni al contorno dettate dalla Basilica al livello superiore e dall'ambiente esterno allo stesso livello.

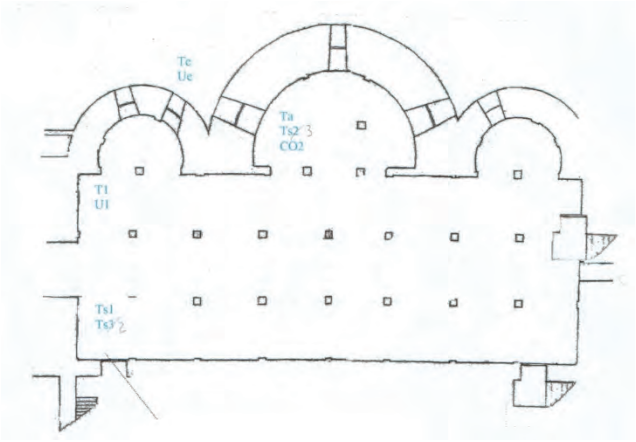


Fig. 1 - Basilica inferiore del Duomo di Salerno: schema relativo alla disposizione delle sonde; a: aria, e: esterno, s: superficie.

Il monitoraggio fu impostato con una sequenza di campionamento di 10 minuti, data la lentezza delle variazioni dei parametri termoigrometrici, anche se la variazione della concentrazione di anidride carbonica nella Basilica inferiore poteva ovviamente variare molto più velocemente. I dati furono poi elaborati per ricavare la quantità relativa di vapore presente nell'aria e il valore della temperatura di rugiada, così da avere un'idea della eventuale presenza di condensa superficiale.

I risultati ottenuti hanno permesso di identificare una correlazione tra le condizioni climatiche interne e quelle esterne. In particolare, il confronto tra i valori della temperatura dell'aria misurati all'interno della Cripta e quelli misurati all'esterno ha mostrato una significativa dipendenza delle oscillazioni interne in funzione di quelle esterne, segno di uno scarso isolamento dall'esterno. Anche i valori dell'umidità specifica calcolati all'interno della Cripta seguivano l'andamento di quelli calcolati all'esterno, con una riduzione in scala, segno della presenza di un ricambio d'aria dovuto al fatto che la porta sulla strada e le due aperture di collegamento con la Basilica superiore determinavano l'innescarsi dell'effetto camino.

Il raffronto tra i valori delle temperature superficiali letti in corrispondenza di punti significativi delle superfici marmoree con quelli della temperatura di rugiada calcolata hanno rilevato condizioni critiche in prossimità delle zone di accesso alla Cripta dalle scale provenienti dalla Basilica superiore.

L'elevata inerzia termica delle pareti determinava il verificarsi dei fenomeni di condensazione anche nella stagione estiva, con formazione di acqua sui marmi, soprattutto sul pavimento nella zona delle scale di collegamento con la Basilica superiore, fenomeno che rapidamente si estendeva sulle superfici verticali e sulle statue dei vescovi che manifestavano un vero e proprio gocciolamento nell'acquasantiera,

Fig. 2 - Basilica inferiore del Duomo di Salerno: acquasantiera, in alto, e busti marmorei gocciolanti, in basso.

come visibile in Figura 2. Ovviamente la presenza di acqua andava a interessare sia i commessi marmorei, sia gli affreschi, facilitando i processi di degrado.

Per quanto riguarda la Basilica superiore, anche in questo caso i valori della temperatura media misurati all'interno hanno mostrato una certa correlazione con quelli misurati all'esterno, nonostante le escursioni stagionali, mentre il rischio di condensa superficiale era praticamente assente.

Interessante è la relazione tra le condizioni microclimatiche nelle due basiliche, laddove quelle della Basilica superiore influenzano quelle della Cripta, ma questo tema richiederebbe un approfondimento non compatibile in questa sede.

Un altro tema trattato nelle indagini è la correlazione tra la concentrazione di anidride carbonica, l'umidità relativa e la temperatura dell'aria. Valori elevati di temperatura e di umidità relativa dell'aria, associati a elevate concentrazioni di CO_2 costituiscono elementi non favorevoli alla conservazione degli affreschi. Infatti, gli agenti inquinanti eventualmente presenti in ambiente lasciati depositare sulle superfici determinano processi di carbonatazione della pellicola pittorica causandone il distacco per graduale esfoliazione. Tali condizioni si possono verificare in corrispondenza di elevati livelli di frequentazione degli ambienti. Queste condizioni, non a caso, sono

state registrate nella Basilica inferiore nei giorni dal 20 al 23 settembre, quando si svolgevano le celebrazioni in onore di S. Matteo, patrono protettore della città, e di altre celebrazioni che richiamano un forte afflusso di fedeli. In queste occasioni l'effetto dell'alto afflusso di fedeli, determinando un aumento della concentrazione di CO_2, il cui valore misurato è arrivato a circa 2000 ppm, e dell'umidità specifica, che ha raggiunto il valore di circa 20 grammi per kilogrammo di aria, unitamente all'apporto di agenti inquinanti portati dalle persone, hanno creato le condizioni di maggiore negatività ambientale. Questo processo era reso ancora più evidente in corrispondenza dei pulvini delle crociere dove erano collocati i corpi illuminanti degli affreschi costituiti da lampade a incandescenza che, riscaldando le superficie dipinte, favoriva una più rapida cristallizzazione dei sali contenuti nell'umidità presente su queste superfici, polverizzando i pigmenti.

Sono stati studiati anche i movimenti dell'aria all'interno della Cripta e della Basilica con l'ausilio di anemometri che hanno registrato l'esistenza di correnti di aria legata all'effetto camino che si innesca tra la porta sulla strada e le aperture verso il livello superiore.

Le considerazioni tecniche conclusive di tutta questa campagna di misurazione delle condizioni ambientali portavano a consigliare l'adozione di azioni tali da evitare o ridurre il verificarsi delle condizioni critiche per la conservazione del patrimonio contenuto nella Cripta: sarebbe bastato mantenere il più possibile stabili le condizioni termoigrometriche interne regolando l'apertura della porta di accesso dall'esterno, magari con un doppio infisso ad apertura automatico, sostituire le finestre con infissi caratterizzati da prestazioni termiche migliori e consentirne l'apertura solo in caso di condizioni esterne favorevoli in termini di umidità specifica, regolare la presenza dei fedeli in occasione di particolari ricorrenze, evitare la concomitanza delle aperture delle porte di accesso alle due scale di collegamento con quella verso l'esterno, sostituire, come è stato comunque fatto, le lampade a incandescenza con corpi a luce fredda.

Le osservazioni storiche e le indagini di archivio

Rimaneva però ancora un quesito senza adeguata risposta, riferito al fatto che questi fenomeni di umidità e di presenza di acqua erano stati registrati in maniera evidente e preoccupante solo a partire dai primi decenni del Novecento, mentre nulla veniva riportato nei documenti dei precedenti otto secoli e, soprattutto, dagli inizi del Seicento quando si diede avvio al programma di decorazione della Cripta.

Per rispondere al quesito al quale le sole indagini non avevano potuto dare risposta non ci si poteva fermare al solo approfondimento diagnostico. Per cercare di comprendere appieno la natura delle problematiche della Cripta è stata effettuata una accurata rilettura del materiale documentale disponibile. Senza addentrarsi nei dettagli e nella descrizione dell'evoluzione storica del complesso, alcune fonti archivistiche e documentali hanno fornito utili indicazioni.

Come si è precedentemente accennato, l'edificazione della Cattedrale di Salerno è legata alle vicende connesse alla contemporanea presenza a Salerno del principe normanno Roberto il Guiscardo, che la conquistò dopo un lungo assedio nel 1077 all'ultimo principe longobardo Gisulfo II, dell'Arcivescovo Alfano I, uomo di scienza, poeta, medico della Scuola Salernitana e mediatore politico nel cruento trapasso dalla dominazione longobarda a quella normanna, del Papa Gregorio VII, rifugiatosi a Salerno durante la complessa vicenda della lotta tra il papato e l'impero di Enrico IV. Roberto, per guadagnare il favore della popolazione salernitana stremata dal lungo assedio preceduto alla conquista, volle donare alla città, ma anche al Papa, una nuova e imponente Cattedrale dedicata all'apostolo ed evangelista Matteo, le cui spoglie furono proprio in quegli anni riscoperte dopo che, nel 954, erano state portate da Capaccio a Salerno e custodite in un luogo segreto, cosa che determinò un nuovo e più fervido impulso alla realizzazione della fabbrica del nuovo Duomo, il cui primo nucleo fu costituito proprio dalla Basilica inferiore. Qui nel 1081 vennero poste le sacre reliquie di San Matteo, dei Santi Vescovi salernitani e dei tre Martiri salernitani.

La Cripta, costituita da un'aula a tre navate con volte a crociera su pilastri in corrispondenza del transetto e delle absidi della Basilica Superiore, fu totalmente trasformata in forme barocche tra il 1600 e il 1616 da Domenico e Giulio Cesare Fontana, su incentivazione dei sovrani di Spagna Filippo II e Filippo III che donarono il metallo per l'esecuzione della doppia statua di San Matteo, collocata sull'altare centrale corrispondente in verticale sia alle reliquie sottostanti, sia all'altare maggiore della Basilica Superiore. In quell'occasione a tutto l'ambiente fu conferito un carattere sfarzoso, secondo il gusto barocco: le colonne originarie furono inglobate in pilastri quadrati in commesso marmoreo policromo, l'aula fu dotata di un altare bifronte e le volte furono ricoperte da affreschi realizzati da Belisario Corezio, pittore tardo manierista, di origine greca, molto attivo a Napoli tra la fine del Cinquecento e gli inizi del Seicento, e dai suoi seguaci.

Nel 1718, iniziò una ristrutturazione per volontà dell'Arcivescovo Poerio, come ricorda una lapide posta sulla porta della scala che conduce alla Cripta dalla navata destra, quella meridionale, della Basilica Superiore. Dei due accessi dalla Basilica Superiore, questo, che si trova in prossimità dell'ingresso su via Roberto il Guiscardo, è quello dove sono stati riscontrati con maggiore intensità ed evidenza i fenomeni di condensa. A proposito di questo ingresso, nel testo curato dalla Soprintendenza per i B.A.A.A.S. di Salerno del 1992, quasi per inciso è scritto che l'accesso da Via Roberto il Guiscardo fu creato solamente alla fine del XIX secolo.

Tra il 1718 e il 1721 vennero modificati anche gli unici due accessi alla Cripta dalle navate laterali della Basilica superiore. Successivamente, nel 1732, la cripta fu ricoperta da un rivestimento marmoreo realizzato da Francesco Ragozzino, probabilmente autore anche dei busti marmorei dei Santi Vescovi, collocati negli ovali lungo le pareti longitudinali [1].

Facendo un rapido balzo in avanti negli anni ’50 del Novecento, nella Cripta, danneggiata dai bombardamenti del 1943, furono realizzati numerosi interventi di restauro, che interessarono sia le strutture architettoniche, sia l’apparato storico artistico. In quel contesto, nel 1957, fu creata, *ex novo*, la Cappella delle Reliquie nella quale furono traslati i resti dei Santi Vescovi che erano custoditi nelle absidi laterali, fu creato un accesso al sepolcro di San Matteo abolendo la mensa dell’altare settentrionale e, da questo lato, fu allungata la balaustra marmorea aggiungendovi le balaustre delle absidi dei Santissimi Martiri e delle Santissime Vergini, a tale scopo rimosse [1].

È stato fatto un approfondimento documentale in merito a queste due informazioni ricavate dalle fonti storiche: la creazione della Cappella delle Reliquie nel 1957 e la realizzazione di un accesso dall’esterno verso la fine del XIX secolo.

La Cappella delle Reliquie

L’inesistenza della Cappella delle Reliquie nella conformazione originaria della Cripta è comprovata dalla osservazione di una semplice pianta della Basilica inferiore ritrovata nel testo di Giuseppe Bergamo (1972), qui mostrata in Figura 3, che, tra le tavole e la documentazione fotografica allegate, riporta anche alcuni grafici riproducenti lo stato di fatto antecedente ad alcuni interventi eseguiti negli anni ’50. Nel testo di Bergamo si legge, a pag. 28, che «fatta la ricognizione delle reliquia e sistemate in un’urna di bronzo [...] le abbiamo portate nella Cappella nuova, costruita in fondo alla Basilica» e, a pag. 187, «in data 10 marzo c.a. (1968) [...] mi permisi di insistere perché la Cassa (del Mezzogiorno) avesse esaminata, con benevolenza, l’opportunità di finanziare anche i lavori della Cappella delle Reliquie, sita in fondo alla Basilica Inferiore, voluta e fatta eseguire da Mons. Moscato, prima del suo finanziamento, per collocarvi convenientemente le reliquie dei Santi, ritrovati negli

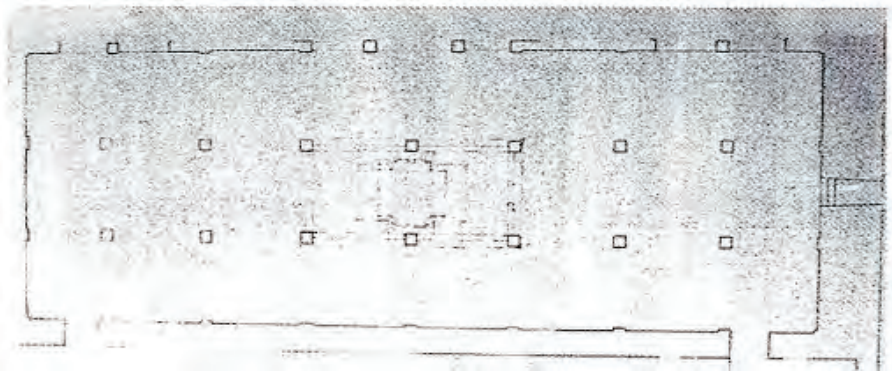


Fig. 3 - Basilica inferiore del Duomo di Salerno: pianta della Cripta prima della realizzazione della Cappella delle Reliquie.

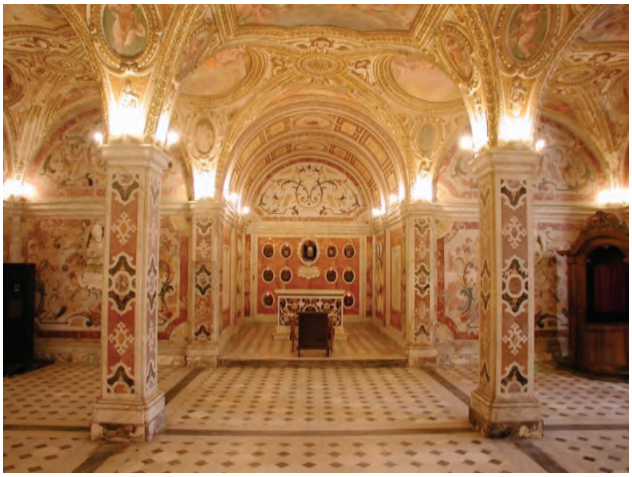


Fig. 4 - Basilica inferiore del Duomo di Salerno: Cappella delle Reliquie.

scavi della Basilica». Quindi, la Cappella delle Reliquie, in Figura 4, fu realizzata ancor prima della richiesta di finanziamento del 1968, certamente in occasione degli interventi eseguiti negli anni '50 nell'ambito dei quali l'Arcivescovo del tempo volle effettuare una ricognizione canonica delle tombe dei Santi, alcune collocate nelle absidi, traslando le reliquie in una nuova cappella a essi dedicata e realizzata nel 1957. Il 20 settembre1969 fu inaugurata la nuova Cappella e in essa furono sistemate le urne portate in solenne processione.

Durante i lavori eseguiti nel 2003 sono state condotte alcune indagini conoscitive sulle pareti esterne delle absidi. Di queste, risultavano completamente libere verso l'esterno solo le due verso sud e verso est, mentre la terza, quella verso nord, risultava per una parte addossata al terreno, così come sembrava interrato l'intero il lato ovest della Cripta. Dopo aver realizzato una intercapedine esterna di aerazione per liberare la parte di fondazione delle absidi, si individuò un cunicolo addossato alla terza abside, quella verso nord, completamente ostruito da materiale di risulta. Liberando gradatamente l'ambiente ci si rese conto che tale cunicolo proseguiva anche intorno alla terza abside, inoltrandosi pure alle spalle del muro settentrionale della Basilica, quello interessato dalla Cappella delle Reliquie, proseguendo tale intercapedine anche lungo tutto il muro occidentale. In conclusione, la Basilica inferiore fu realizzata a ridosso di un pendio, operando uno scavo verso nord e un riempimento lungo il versante meridionale; ovviamente la metà settentrionale della costruzione risultava a ridosso di un terrapieno ma i progettisti del tempo avevano posto rimedio sin dall'origine a questo inconveniente realizzando un ampio cunicolo di separazione tra il terrapieno e l'ambiente da destinare al culto. Tale separazione è stata anche ritrovata nella Basilica superiore lungo l'intero lato nord che confina con il terrapieno.

Fig. 5 - Basilica inferiore del Duomo di Salerno: cunicolo di accesso alla intercapedine, a sinistra, e parete in mattoni di chiusura del cunicolo per la realizzazione della Cappella, a destra.

Nel 2003 il cunicolo risultava interrotto a un certo punto da una parete di mattoni forati che, da misurazioni, risultò essere sul lato esterno della parete sud della Cappella delle Reliquie, come mostrato in Figura 5. Il cunicolo originario era adeguatamente areato da un pozzo di luce verticale fino all'esterno in corrispondenza del quale si evidenziava anche il vano di una finestra, successivamente richiusa, corrispondente alla parte più a nord dell'abside dei Santi Vescovi. Questo cunicolo costituì fin dall'origine un adeguato sistema di aerazione, che chiaramente ha scongiurato per secoli i problemi di umidità che ci si poteva aspettare di avere dai lati contro terra. La realizzazione della Cappella delle Reliquie, avendo occupato proprio nella sua profondità il cunicolo di aerazione, aveva impedito che esso svolgesse la sua originaria funzione, favorendo, anzi, l'afflusso di acqua all'interno della Cripta e aumentando il valore dell'umidità relativa in ambiente.

Fu quindi progettato un intervento che ha assicurato il ripristino del collegamento aereo con la parte retrostante del cunicolo, ha ripristinato l'aereazione della parete e ha riattivato il deflusso delle acque di filtrazione che, trovando ostruzione dalla nuova cappella, spesso invadevano l'interno della Cripta.

L'ingresso da via Roberto il Guiscardo

Dalla lettura dei documenti reperiti, in questo caso si deve ritenere non del tutto attendibile quanto riportato sempre da Bergamo (1972) in merito all'epoca di realizzazione dell'ingresso da via Roberto il Guiscardo. Egli attribuisce la presenza di tracce di un vano ritrovate durante i lavori degli anni '50 alla esistenza di tale accesso sin dall'epoca di costruzione della Basilica. Più affidabile sembra essere quanto riportato da Arturo Capone: «Fin dalla fondazione del Duomo, due sole entrate vi furono, per accedere alla Basilica Inferiore: quelle, cioè, che si aprono alle due estremità delle Navi

minori delle Basilica Superiore. Nel 1877, in occasione della costruzione del pavimento di marmo alla Basilica Superiore [...], essendosi chiusa la Basilica Superiore, affinché non fosse mancato l'accesso anche alla Inferiore, si aprì momentaneamente una piccola porta nel muro meridionale della medesima, sporgente sulla via, allora, chiamata 'Episcopio', e oggi 'Roberto Guiscardo'. Terminata la suddetta pavimentazione non si credette più necessario di mantenere aperta quella porta e per conseguenza, essa venne murata. Ma durante l'ultima guerra europea, quella del 1915-1918, quando le città erano minacciate da aerei bombardamenti per fornire ai cittadini uno dei vari luoghi di rifugio, in caso di bisogno le autorità civili e militari fecero istanza all'Arcivescovo e al Capitolo, perché si ripristinasse quella porta. E così si fece. Terminata poi la guerra, si credette opportuno di non chiuderla, sia per dare ai fedeli un più facile accesso alla Basilica, e sia per togliere l'inconveniente di mantenere aperta la Basilica Superiore, allorché, di sera, fosse occorso di far funzionare nell'Inferiore» (Capone, 1927). In Figura 6 è visibile l'attuale accesso esterno alla Cripta con le finestre intorno.

Fig. 6 - Basilica inferiore del Duomo di Salerno: porta e finestre aperte su Via Roberto il Guiscardo.

L'apertura di questa porta e delle due finestre ai lati di essa ha certamente mutato le condizioni ambientali originarie della cripta che era soggetta unicamente a uno scambio lento e graduale con la Basilica Superiore. La nuova porta favorisce variazioni climatiche più rapide e maggiormente influenzate dalle condizioni esterne, non sempre favorevoli soprattutto nei periodi estivi.

Conclusioni

Il recupero della Basilica inferiore del Duomo di Salerno rappresenta un caso emblematico della necessità di coniugare l'approfondimento scientifico, tecnico e tecnologico con quello documentale. Gli edifici storici e quelli monumentali in particolare hanno avuto una vita complessa e articolata e hanno subito nel corso degli anni e dei secoli modifiche di ogni genere. Se ci si ferma alle indagini tecniche questa storia viene obliterata e si rischia di commettere errori a volte irreparabili.

Al Duomo è stato possibile evidenziare in quale misura interventi palesemente inappropriati potevano condurre a conseguenze negative in termini di conservazione

e non solo. In questa occasione si è rischiato di aggiungere altri errori a quelli già commessi in passato. Tutto ciò è stato evitato cercando nei documenti alcune delle risposte non individuabili altrimenti.

Bibliografia

Capone A. 1927. *Il Duomo di Salerno*. I. Salerno: F.lli Di Giacomo.

Balducci A. 1957. La lapide di Alfano I e i dati della prima costruzione del Duomo di Salerno. Rassegna Storica Salernitana, XVIII, 156-162.

Bergamo G. 1972. *Il Duomo di Salerno.* Battipaglia: Graf Sud.

Belli D'Elia P. (a cura di). 1975. *Alle sorgenti del romanico-Puglia XI secolo, Catalogo della mostra* tenuta a Bari, Pinacoteca Provinciale, giugno-dicembre 1975. Bari: Amministrazione Provinciale.

Braca A. 1988. Interventi nel Duomo di Salerno dopo il terremoto del 1688. In: *Il Barocco a Salerno* (a cura di M.C. Cioffi), 65-90. Nocera Superiore: D'Amico editore.

Braca A. 2001. *Guida alla Cattedrale di Salerno e alle sue opere d'arte*. Lancusi: Edizioni Gutenberg.

Capone A. 1929. *Il Duomo di Salerno*. Voll. I e II. Salerno: Prem. Stab. Tip.-Lit. Cav. Spadafora.

Carucci A. 1974. Le lapidi di Alfano I in Salerno. Benedictina, 21, 29-52.

Carucci A. 1986. *La Cattedrale di Salerno*. Salerno: Scuola tipo-litografica "Istituto Anselmi".

Chierici G. 1937. Il Duomo di Salerno e la chiesa di Montecassino. Rassegna Storica Salernitana, 1(1), 95-109.

De Angelis M. 1936. *Il Duomo di Salerno nella sua storia, nelle sue vicende e nei suoi monumenti*. s.l.: De Angelis editore.

De Angelis M. 1937. *Nuova guida del Duomo di Salerno*. Salerno: Di Giacomo Editori.

Pecoraro U. Carucci A. 1977. *Strutture architettoniche e forme d'arte della Cattedrale di Salerno: la cripta.* Salerno: Grafica Iannone.

Staibano L. 1871. *Guida del Duomo di Salerno: composta ad uso de' viaggiatori.* Salerno: Stab. tip. Nazionale.

Sitografia

[1] https://www.cattedraledisalerno.it/la-cripta.html

Andrea Sorrentino, Vittoria Vittoria

Nanocompositi e nanomateriali: una scoperta recente con radici lontane

Nanocomposites and nanomaterials: a recent discovery with distant roots

Sommario

Il termine "nanocomposito" è diventato di uso comune alla fine del secolo scorso quando alcuni ingegneri della Toyota Motor Corporation, nel tentativo di aumentare le prestazioni dei materiali per l'*automotive*, proposero la modifica chimica di particelle inorganiche di dimensioni nanometriche e la loro introduzione in una matrice polimerica. Questa scoperta si inquadrava in un programma di ricerca internazionale più ampio, mirato a comprendere e sviluppare nanomateriali e nanotecnologie. In quegli anni, governi e aziende di tutto il mondo stavano investendo ingenti risorse su queste ricerche, ritenute strategiche per molteplici motivi. Grazie agli sforzi congiunti di ricercatori e ingegneri a livello globale, i nanocompositi hanno trovato applicazione in svariati settori, dai dispositivi tecnologici alle pentole antiaderenti, dai farmaci ai cosmetici, dai prodotti alimentari ai giocattoli per bambini. Il successo di questi materiali è dovuto principalmente alla possibilità di ottenere prodotti con prestazioni superiori e a costi inferiori.

Abstract

The term "nanocomposite" became common at the end of the last century when some engineers at Toyota Motor Corporation came up with the idea of chemically modifying nanoscale inorganic particles and incorporating them into a polymer matrix. This discovery was part of a broader international research program aimed at understanding and developing nanomaterials and nanotechnologies. During those years, governments and companies worldwide were investing substantial resources in this sector, considering it strategic for various reasons. Thanks to the joint efforts of researchers and engineers globally, nanocomposites have found applications in various sectors, from technological devices to non-stick cookware, from pharmaceuticals to cosmetics, from food products to children's toys. The success of these materials is primarily due to their ability to produce products with superior performance at lower costs.

Introduzione

Le nanotecnologie sono universalmente riconosciute come le tecnologie emergenti del ventunesimo secolo (Braun *et al*., 1997). Il termine nanotecnologia si riferisce alla capacità di assemblare e manipolare strutture complesse con dimensioni che vanno dal nanometro al centinaio di nanometri (Mansoori *et al.*, 2005), come mostrato in Figura1.

Nel campo dell'ingegneria dei materiali, le nanotecnologie hanno portato a un risultato di notevole rilevanza: i nanocompositi. Questi sistemi ibridi rappresentano una classe di materiali innovativa, ottenuta dalla combinazione di nanomateriali inorganici e/o organici con una matrice continua di diverso genere (Akpan *et al*., 2019). A differenza dei compositi tradizionali, che sono ottenuti da una miscela di due o più componenti a formare un materiale con proprietà eterogenee e spesso anisotrope, i nanocompositi si ottengono mescolando un materiale macroscopico con particelle di dimensioni nanometriche ingegnerizzate attraverso tecniche di manipolazione basate sulle nanotecnologie [1]. Le dimensioni nanometriche di queste particelle permettono una interazione a livello molecolare tra le diverse fasi fino a creare sistemi uniformi e isotropi con caratteristiche completamente diverse rispetto ai materiali originali.

I nanocompositi si sono subito distinti per le loro eccezionali caratteristiche meccaniche, termiche, ottiche e chimico-fisiche (Lefebvre, 2002). Una quantità modesta di riempitivo nanometrico, generalmente meno del 5% in peso, in una matrice polimerica è sufficiente a impartire un significativo miglioramento in diverse proprietà, come la permeabilità ai gas, la resistenza ai solventi, la temperatura massima di utilizzo, la stabilità termica e dimensionale e la resistenza al calore e al fuoco, oltre a un aumento della rigidità meccanica (Rozenberg e Tenne, 2008).

Nei compositi tradizionali, miglioramenti parziali si osservano solo con l'aggiunta di elevate percentuali, generalmente superiori al 40% in peso, di riempitivi come la fibra di vetro, il talco e il carbonato di calcio. Queste concentrazioni causano

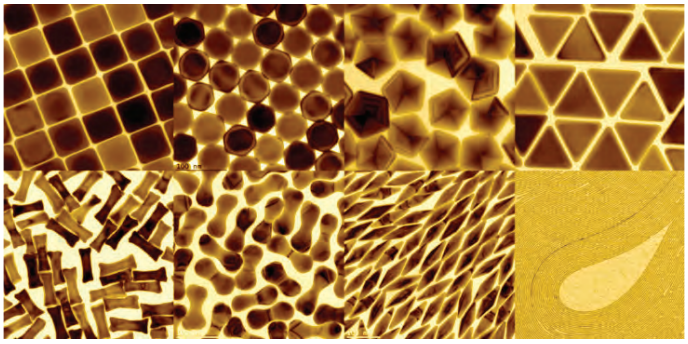


Fig. 1 - Esempi di nanoparticelle d'oro di diverse forme acquisite con microscopio elettronico a trasmissione-TEM (EUSMI - European Soft Matter Infrastructure).

spesso problemi come un aumento della densità, una minore lavorabilità e l'opacità del materiale composito (Qutubuodin e Fu, 2002). Nei nanocompositi, questi inconvenienti sono praticamente assenti non solo grazie alle basse concentrazioni ma anche per le dimensioni estremamente ridotte e alle forti interazioni molecolari. Il contatto ravvicinato tra le diverse fasi crea una quantità cosi grande di interfacce da formare una vera e propria "mesofase" continua, di pochi nanometri di spessore. Nella struttura di un nanocomposito, questa mesofase può costituire fino al 50% del volume totale del materiale, condizionando in modo completo le caratteristiche finali del materiale (Hussain, 2006).

I nanocompositi hanno lentamente sostituito i materiali polimerici tradizionali, ampliandone l'applicazione in settori tecnologicamente avanzati come l'elettronica, l'industria dei trasporti e il confezionamento. Ad esempio, nei trasporti, l'utilizzo dei nanocompositi nelle parti strutturali dei veicoli ha permesso di ridurne il peso, velocizzarne la produzione e migliorarne la stabilità termica e le proprietà meccaniche, promuovendone il riciclo e il riuso (Qutubuodin e Fu, 2002).

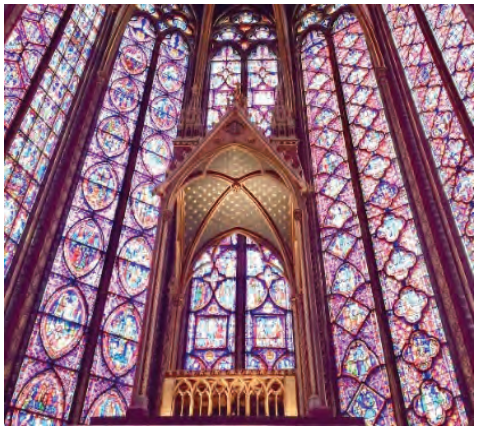
Le nanotecnologie nella storia

La storia della nanotecnologia è un racconto che parte dall'uso inconsapevole di nanomateriali prodotti in processi naturali come eruzioni, incendi, tempeste di sabbia o da organismi viventi come piante funghi e insetti (Griffin *et al*., 2017). Questi materiali hanno dimostrato la loro utilità ben prima che l'uomo ne comprendesse appieno la natura (Bayda *et al*., 2019). Le culture antiche hanno fatto un largo uso di nanomateriali in edilizia, medicina e arte. Uno dei primi esempi di uso dei nanomateriali è rappresentato dalla tintura per capelli a base di nanocristalli di solfuro di piombo utilizzata nell'antico Egitto (Malek, 2001). Anche gli antichi romani utilizzavano questo tipo di materiali nei loro manufatti. Un esempio notevole di questa capacità tecnologica è rappresentato dalla cosiddetta Coppa di Licurgo, del IV secolo d.C., riportata in Figura 2. Questo manufatto, attualmente conservato presso il British Museum, è realizzato in vetro dicroico, così chiamato perché assume due colori a seconda delle condizioni di illuminazione (Freestone *et al.*, 2007): la coppa appare verde quando la luce incide sulla parte anteriore e rossa quando viene illuminata dal retro. Le analisi condotte hanno rivelato che la Coppa di Licurgo è stata realizzata con vetro sodo-calcico miscelato con l'1% di oro e argento e lo 0,5% di manganese (Silvestri *et al.,* 2006). La maestria tecnologica degli artigiani romani si evidenzia nella profonda comprensione dei vari fattori che influenzano l'ottenimento di determinati colori mediante questo metodo di produzione: concentrazione dei colloidi, dimensioni delle particelle, proporzioni e stato di ossidazione degli elementi, nonché tempo e temperatura di cottura, insieme all'atmosfera della fornace durante il processo produttivo. Questi parametri, sebbene oggi possano essere facilmente gestiti da un chimico moderno, rappresentavano sfide complesse nell'antichità, spe-

Fig. 2 - La coppa di Licurgo, a sinistra, e l'altare realizzato intorno al 1420 nella Germania meridionale esposto al Museo Nazionale Svizzero, a destra.

cialmente considerando le ridotte quantità di materiale coinvolte (Sayre e Smith, 1961). Tale contesto sottolinea l'eccezionalità della coppa di Licurgo e del suo metodo di fabbricazione. Le ipotesi riguardanti la sua creazione e l'effetto dicromatico sono state avvalorate da analisi condotte sul manufatto, inclusa l'osservazione di particelle di lega argento-oro tramite raggi X, con dimensioni comprese tra i 50 e i 100 nanometri (Kunicki-Goldfinger *et al*., 2014). In questo caso, i Romani hanno dimostrato di, possedere una conoscenza delle proprietà delle soluzioni colloidali e, in qualche modo, del ruolo delle nanoparticelle integrate nei materiali. La complessità delle incisioni sulla coppa testimonia anche un'abilità tecnica avanzata nella lavorazione del materiale.

Nel tardo Medioevo, gli artisti del centro Europa impararono a decorare le sculture con una tecnica di doratura chiamata "*Zwischgold*" o "oro parziale" (Wu *et al*., 2022), che prevedeva l'applicazione di una sottilissima pellicola d'oro. Sebbene fosse ampiamente utilizzata nel Medioevo, fino a poco tempo fa si sapeva poco o nulla di questa tecnica. Solo recentemente si è riusciti a chiarire la natura di queste dorature attraverso l'utilizzo di immagini tridimensionali al microscopio elettronico. L'analisi di diversi campioni provenienti da una pala d'altare, in Figura 2, realizzata intorno al 1420 nella Germania meridionale, ha evidenziato la presenza di foglie d'oro con uno spessore medio di circa 30 nanometri fissate su una base d'argento; per avere un raffronto, si consideri che una foglia d'oro da oreficeria prodotta oggigiorno ha uno spessore medio di circa 140 nanometri. Lo spessore estremamente ridotto delle foglie d'oro, oltre a permettere di ridurre la quantità di questo metallo necessario alla ricopertura del manufatto, impartiva allo stesso un effetto cromatico completamente nuovo (Wu *et al*., 2018).



Spada di Damasco

Katana giapponese

Fig. 3 - Uno scorcio delle vetrate della Sainte-Chapelle in Parigi, a sinistra, ed esempio di lame damascate e Katana giapponese, a destra.

Nello stesso periodo, le chiese europee presentano un altro esempio di applicazione della nanotecnologia (Colomban *et al.*, 2009). Le magnifiche vetrate delle cattedrali, con i loro brillanti colori rosso e giallo, sono state realizzate mescolando nanoparticelle d'oro e argento, Figura 3. L'utilizzo di nanoparticelle con differenti dimensioni ha permesso ai maestri vetrai dell'epoca di ottenere diverse sfumature di colori con vari effetti luminosi (Bacci *et al.*, 2007).

Tra il V e il XV secolo, gli artisti italiani si distinsero nella creazione di ceramiche mosaici riccamente colorati grazie all'utilizzo di varie particelle nanometriche (Chinni, 2017). Anche il mondo islamico, tra il IX e il XVII secolo ha dimostrato di saper utilizzare smalti ceramici contenenti nanoparticelle di argento, rame e altri metalli (Freestone *et al.*, 2002). Durante i secoli XIII-XVIII, i crociati europei si trovarono a combattere con i cavalieri musulmani equipaggiati con le famose lame in acciaio damascato ultraresistente, in Figura 3. Nonostante tutti gli sforzi nel replicare tale acciaio, nessuno in Europa riuscì a eguagliarne la qualità (Reibold *et al*., 2006). Il metodo produttivo, tenuto attentamente segreto, finì presto con l'essere dimenticato. Soltanto nel 2006 l'analisi al microscopio elettronico ha rivelato una struttura nanofibrosa nell'acciaio, suggerendo che tale configurazione fosse ottenuta attraverso una speciale lavorazione termica in grado di formare nanofili di cementite e nanotubi di carbonio (Sukhanov, 2022).

Così come le spade di Damasco, le spade giapponesi o *katane* vantano una storia millenaria e proprietà di taglio eccezionali (Yaso *et al.*, 2009). La fabbricazione di spade in ferro ebbe inizio in Giappone alla fine del IV secolo, quando i giapponesi adottarono la tecnica della tempra differenziale appresa dai cinesi. Durante il periodo Heian (782-1180), le *katane* assunsero la loro distintiva forma ricurva. Nel periodo

Kamakura (1181-1330), la tecnologia di produzione raggiunse livelli senza precedenti e emersero le celebri "cinque scuole" di maestri spadai, corrispondenti alle diverse regioni di estrazione mineraria. La qualità è attribuita all'acciaio Tamahagane, e al processo produttivo. Gli studi metallurgici hanno infatti rivelato una peculiare microstruttura in grado di impartire proprietà eccezionali di resistenza e affilatura (Yaso *et al.*, 2013). In particolare, le *katane* tradizionali si distinguono per l'*hamon*, in Figura 3, un effetto ondulato sulla lama derivato da un lungo e laborioso processo di tempra differenziale che fa sì il bordo della lama resti affilato come un rasoio senza diventare eccessivamente fragile, come accadrebbe se venisse usato un unico tipo di metallo. Osservata al microscopio, la lama è formata dalla sovrapposizione di numerosi strati nanometrici separati tra loro da inclusioni e ottenuti riscaldando e ripiegando su se stessa la lama un numero elevatissimo di volte. Oggigiorno, per motivi economici, i produttori di *katane* si limitano a replicare l'effetto *hamon* con un trattamento acido in grado di restituire alla lama soltanto l'effetto estetico ma non la qualità.

Le nanotecnologie in epoca moderna

L'inizio dell'epoca moderna per le nanotecnologie si può far risalire alla metà del XIX secolo, grazie a Faraday, che spicca tra i pionieri dello sviluppo in questo settore (Faraday, 1857), condusse studi sui colloidi d'oro al fine di comprendere le loro proprietà e fu sorpreso nello scoprire eccezionali proprietà ottiche ed elettriche delle nanoparticelle d'oro. A quel tempo non vi era la possibilità di controllare o conoscere con precisione le dimensioni delle nanoparticelle. Solo nel 1925, Richard Zsigmondy riuscì a misurare con precisione le dimensioni delle nanoparticelle d'oro, coniando il termine "nanoparticelle". Il suo contributo in questo campo gli valse il premio Nobel.

Ufficialmente, la vera presa di coscienza nella comprensione delle nanotecnologie viene fatta coincidere con una famosa lezione del fisico statunitense Richard Feynman, tenuta il 29 Dicembre 1959 al meeting annuale della American Physical Society presso il California Institute of Technology-Caltech. Durante la lezione, Feynman lanciò l'idea di manipolare la materia su scala atomica (Feynman, 1960). Questo invito portò diversi ricercatori a sfidarsi su problemi estremamente visionari come la costruzione di motori sempre più piccoli e la miniaturizzazione di oggetti della vita quotidiana (Loretan e Müller, 2023). I risultati di queste sfide, apparentemente solo ludiche, hanno condotto alla realizzazione di numerosi nanomateriali e alla scoperta di nuove tecniche di lavorazione che nel giro di pochi anni hanno completamente rivoluzionato numerosi settori industriali e contribuito alla creazione di nuovi campi di ricerca scientifica (Pirzer e Simmel, 2022).

Nel 1974, lo scienziato giapponese Norio Taniguchi coniò per la prima volta il termine "nanotecnologia", descrivendola come il trattamento, la separazione, la consolidazione e la deformazione dei materiali a livello atomico o molecolare (Jones *et*

al., 2013). Un altro nome importante nel campo della nanotecnologia è stato Eric Drexler, il primo a conseguire un dottorato di ricerca nel campo delle nanotecnologie molecolari (Drexler, 1991). Drexler predisse l'esistenza dei nanorobot e le sue implicazioni in due famosi libri "Engines of creation: The Coming era of the nanotechnology" e "Nanosystems: Molecular, Machinery, manufacturing and computation". La sua visione ha avuto un grande impatto sullo sviluppo della nanotecnologia, divulgando attraverso l'organizzazione no-profit *Foresight* i vantaggi e i pericoli correlati all'utilizzo di questi materiali (Jones *et al*., 2013; Stirling, 2018).

Nel 1981, l'invenzione del microscopio a effetto tunnel-STM da parte di Binnig e Rohrer ha rivoluzionato il campo della nanotecnologia, consentendo la visualizzazione e la manipolazione su scala atomica della superficie dei nanomateriali (Binnig *et al*., 1982); questo strumento valse loro il premio Nobel nel 1986.

Sempre nel 1986, è stato realizzato il primo microscopio a forza atomica, l'AFM, da parte di Binnig, Quate e Gerber (Binnig *et al*., 1986). L'AFM rappresenta tuttora lo strumento più avanzato per l'elaborazione e l'*imaging* di materiali su scala nanometrica (Eigler e Schweizer, 1990).

Per quanto riguarda i nanocompositi, la vera svolta si è avuta negli anni '90 del secolo scorso, quando un gruppo di ricercatori della Toyota Central Research provò a inserire in una matrice polimerica particelle di argilla di dimensioni nanometriche (Okada e Usuki, 2007). L'uso di riempitivi inorganici come le argille non era certo una novità nel settore dell'*automotive*. Il merito di questi ricercatori fu quello di ridurre a livello nanometrico la dimensione di queste particelle prima di utilizzarle. L'operazione fu resa possibile dalla speciale natura lamellare dell'argilla. Questo materiale, infatti, a livello microscopico si presenta come dei pacchetti ordinati di lamelle di dimensioni nanometriche tenute insieme da intense forze elettrostatiche che, in presenza di molecole di acqua, tendono ad attenuarsi permettendo alle lamelle di scorrere le une sulle altre fino allo sfaldamento completo dei pacchetti, con la conseguente completa esfoliazione delle lamelle. I ricercatori usarono questo comportamento per ottenere lamelle nanometriche che resero stabili attraverso una modifica chimica della superficie. Le particelle così ottenute potevano essere inserite facilmente in una vasta gamma di materiali polimerici riuscendone a cambiare diverse proprietà in modo radicale. Ad esempio, i ricercatori del Toyota Central Research furono i primi a dimostrare che l'aggiunta di meno del 5% in volume di argilla esfoliata nel nylon-6 ne aumenta il modulo elastico[1] di un fattore di circa pari a 3, mentre contemporaneamente ne incrementa la temperatura di rammollimento di circa 100 °C (LeBaron *et al*., 1999).

Questi primi risultati, e soprattutto la semplicità con cui sono stati ottenuti, hanno ispirato una intera generazione di scienziati e li hanno indirizzati ad approfondire la comprensione dei fenomeni di interazione che avvengono a livello nanometrico tra materiali di natura diversa (Chen, 2004). Parallelamente, altri ricercatori focalizzaro-

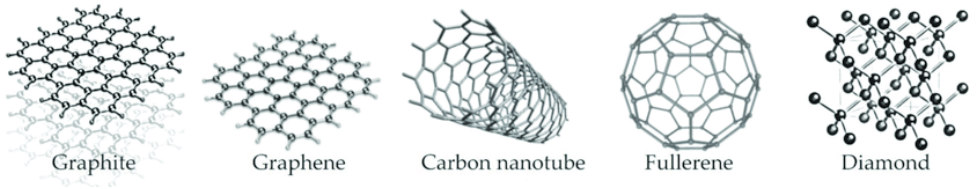


Fig. 4 - Le forme allotropiche del carbonio.

no la loro attenzione su come si potevano sfruttare queste interazioni per migliorare le proprietà termiche, meccaniche ed elettriche di un materiale. Alcuni di questi ricercatori sono stati premiati per il loro impegno nel settore delle nanotecnologie e in particolare dei nanomateriali. Un esempio sono stati i diversi premi Nobel assegnati per la scoperta di nuove forme allotropiche del carbonio tra cui i fullereni, in Figura 4, i nanotubi di carbonio e il grafene[2] , come descritto nel seguito (Hirsch, 2010).

Nell'ottobre del 1996 fu assegnato il premio Nobel per la chimica ai ricercatori Harold Kroto, Robert F. Curl e a Richard E. Smalley per la scoperta dei fullereni, avvenuta nel 1985. Probabilmente il più famoso dei fullereni è il Buckminster fullerene o *buckyballs* (C_{60}), chiamato così in onore dell'architetto Buckminster Fuller (Kroto *et al*., 1985). La scoperta dei fullereni ha dimostrato tra l'altro la capacità di alcuni nanomateriali di auto-assemblarsi, aprendo la strada a nuove scoperte.

Nel 2002 Sumio Iijima, ricercatore della NEC Corporation, fu premiato con il Benjamin Franklin Medal per la scoperta della struttura atomica e del carattere elicoidale dei nanotubi di carbonio a parete singola e multipla (Iijima, 1991). In realtà la storia della scoperta dei nanotubi è molto più articolata ed è cominciata assai prima. I primi lavori su fibre grafitiche cave risalgono infatti già al 1952 a opera di ricercatori russi, ma il fatto di aver pubblicato i risultati della loro ricerca in russo ne ostacolò la diffusione in ambito occidentale. In ogni caso, la scoperta dei nanotubi di carbonio ha avuto un enorme impatto mediatico oltre che scientifico. Già nel 1976, il romanzo di A. C. Clarke "The Fountains of Paradise" rese popolare l'idea di un ascensore spaziale che usava un «cristallo continuo di diamante quasi monodimensionale»: quando furono rese note le eccezionali proprietà meccaniche dei nanotubi di carbonio sembrò che questa idea si potesse concretamente realizzare nel giro di poco tempo.

Nel 2010, Andre Geim e Konstantin Novoselov hanno vinto il premio Nobel per la Fisica per le loro ricerche sul grafene, un materiale del tutto nuovo che non è soltanto il più sottile mai inventato, ma anche il più resistente. Come conduttore elettrico, funziona bene quanto il rame; come conduttore di calore, supera ogni altro materiale noto a quel momento. È quasi completamente trasparente, eppure è talmente denso da non permettere neppure il passaggio dell'elio, il più piccolo atomo gassoso. Geim e Novoselov riuscirono a estrarre il grafene da un pezzo di grafite presente in una matita adoperando un normale nastro adesivo con il quale e ottenendo una sca-

glia di carbonio dello spessore di appena un atomo (Stankovich *et al*., 2006). Tutto ciò, in un'epoca in cui in molti pensavano che rendere stabile un materiale cristallino così sottile fosse praticamente impossibile (Park e Ruoff, 2009).

L'importanza di sviluppare e controllare gli enormi benefici offerti dalle nanotecnologie e dai nanomateriali non poteva certo sfuggire alla politica. Fin da subito sono state, infatti, numerosissime le iniziative da parte di governi e multinazionali per promuovere e sviluppare le ricerche in questi settori (Roco, 2011). Ad esempio, nel 2000, in Giappone, l'Associazione Economica Giapponese ha istituito un dipartimento speciale sulle nanotecnologie sotto il Comitato tecnico e industriale, sviluppando nel 2001 il Programma Quadro per la ricerca sulle nanotecnologie. Questo Programma ha delineato direzioni chiave di ricerca, investimenti di capitale significativi, intensificazione della cooperazione tra dipartimenti, organizzazioni industriali e scientifiche (Roco *et al.,* 2011). Sempre nel 2001, negli Stati Uniti è stata avviata la National Nanotechnological Initiative-NNI con l'obiettivo dichiarato di coordinare gli sforzi dei dipartimenti federali e promuovere lo sviluppo delle nanotecnologie, ritenute cruciali per l'economia e la sicurezza nazionale del paese nel 21° secolo. Anche in Europa si sono sviluppati ambiziosi programmi di ricerca sulle nanotecnologie attraverso bandi nazionali e comunitari (Wang e Li, 2021). Il contributo a favore della ricerca nelle nanotecnologie previsto dai programmi quadro comunitari è gradualmente aumentato dai 1,4 miliardi di euro nel quadriennio 2003-2006, a oltre 1,1 miliardi di euro nel biennio 2007-2008. Un'ulteriore crescita è stata registrata alla fine del 7° programma quadro di ricerca nel 2013. A questi investimenti si è aggiunto un significativo finanziamento pubblico negli Stati membri, dell'ordine di oltre 2,5 miliardi di euro nel 2007-2008. Il finanziamento comunitario ha interessato una gamma assai vasta di iniziative, dalle nanoscienze di base alle applicazioni industriali, in cui una particolare attenzione è stata dedicata alle applicazioni. Una notevole quota di questi finanziamenti è stata concessa nell'ambito degli approcci multi-tematici, nonché alla realizzazione degli obiettivi di altre politiche nei settori della salute, dell'alimentazione, dell'ambiente, dell'energia e dei trasporti.

Conclusioni

Il concetto di nanotecnologia si è formato nei primi anni '60 del Secolo scorso, mentre gli anni tra il 1980 e il 1990 hanno segnato l'inizio dello sviluppo su larga scala delle nanotecnologie. Questo periodo è stato preceduto da una lunghissima maturazione che partendo dalla notte dei tempi si è protratta fino agli ultimi anni del 1800 quando si è passati a uno sviluppo gestito e consapevole delle nanotecnologie.

L'inizio del XXI secolo è testimone di significativi progressi nella nanotecnologia in vari campi, con molti Paesi che attualmente hanno programmi nanotecnologici per avanzare ulteriormente in questo settore. Questo periodo è stato denominato come la Nano-Era, perché caratterizzata da uno sviluppo vertiginoso della nanotecnologia.

Il risultato di tutto questo impegno nel progresso della nanoscienza e della nanotecnologia ha aperto nuove frontiere in diversi campi scientifici, permettendo di osservare fenomeni dalla scala micro a quella nano e persino oltre. Questi avanzamenti hanno anche consentito di esplorare in profondità il comportamento del nucleo cellulare e lo studio di singole molecole in biologia.

In pochi decenni, la nanotecnologia e la nanoscienza hanno assunto un ruolo cruciale nelle applicazioni industriali e mediche. Ad esempio, nell'industria alimentare, i nanomateriali sono stati impiegati per migliorare la produzione, il confezionamento, la conservazione e la biodisponibilità dei nutrienti. I nanomateriali hanno anche rivoluzionando la produzione di energia, contribuendo alla creazione di celle solari avanzate, celle a combustibile a idrogeno e sistemi di stoccaggio di idrogeno più efficienti, che promettono di fornire fonti di energia pulita e sostenibile.

Negli ultimi anni, il dibattito pubblico sulle nanotecnologie è passato da un entusiasmo per visioni futuristiche a una discussione più realistica sulle sfide e opportunità offerte da queste tecnologie. L'attenzione si è focalizzata sulla capacità delle nanotecnologie di affrontare questioni urgenti, come la crisi climatica, e di sfruttare opportunità tecnologiche per risolvere problemi che potrebbero sembrare insormontabili. In vari settori, le nanotecnologie hanno dimostrato il loro potenziale per contribuire significativamente alla soluzione di tali sfide e al miglioramento delle condizioni globali.

Bibliografia

Akpan E.I., Shen X., Wetzel B., Friedrich K. 2019. Design and Synthesis of Polymer Nanocomposites. In: *Micro and Nano Technologies, Polymer Composites with Functionalized Nanoparticles*, 47-83. Amsterdam: Elsevier.

Bacci M., Corallini A., Orlando A., Picollo M., *et al*. 2007. The ancient stained windows by Nicolò di Pietro Gerini in Florence. A novel diagnostic tool for non-invasive in situ diagnosis. Journal of Cultural Heritage, 8(3), 235-241.

Bayda S., Muhammad A., Tuccinardi T., Cordani M., *et al*. 2019. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. Molecules, 25(1), 112.

Binnig G., Rohrer H., Gerber Ch., Weibel E. 1982. Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. Physical Review Letters, 49(1), 57-61.

Braun T., Schubert A., Zsindely S. 1997. Nanoscience and nanotecnology on the balance. Scientometrics, 38(2), 321-325.

Chen B. 2004. Polymer–clay nanocomposites: an overview with emphasis on interaction mechanisms. British Ceramic Transactions, 103(6), 241-249.

Chinni T. 2017. *Produzione e circolazione dei manufatti in vetro in Romagna nel Medioevo* (V-XV sec.). Tesi di Dottorato. Alma Mater Studiorum Università di Bologna.

Colomban P., Tournié A., Ricciardi P. 2009. Raman spectros-copy of copper nanoparticle-containing glass matrices: ancient red stained-glass windows. Journal of Raman Spectroscopy, 40(12), 1949-1955.

Drexler E.K., Peterson C., Pergamit G. 1991. *Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution*. New York: William Morrow and Company.

Eigler D.M., Schweizer E.K. 1990. Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. Nature, 344(6266), 524-526.

Faraday M. 1857. X. The Bakerian Lecture - Experimental relations of gold (and other metals) to light. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 147, 145-181.

Feynman R.P. 1960 There's plenty of room at the bottom. Engineering and Science, 23(5), 22-36.

Freestone I.C., Ponting M., Hughes M.J. 2002. The origins of Byzantine glass from Maroni Petrera, Cyprus. Archaeometry, 44 (2), 257-272.

Freestone I., Meeks N., Sax M., Higgitt C. 2007. The Lycurgus Cup-A Roman nanotechnology. Gold Bulletin, 40, 270-277.

Griffin S., Muhammad M., Muhammad N., Muhammad S., *et al*. 2017. Natural Nanoparticles: A Particular Matter Inspired by Nature. Antioxidants, 7(1), 3.

Hirsch A. 2010. The era of carbon allotropes. Nature Materials, 9(11), 868-871.

Hussain F. 2006. Review article: Polymer-matrix Nanocomposites, Processing, Manufacturing, and Application: An Overview. Journal of Composite Materials, 40(17), 1511-1575.

Iijima S. 1991. Helical microtubules of graphitic carbon. Nature, 354(6348), 56-58.

Jones M.G., Blonder R., Gardner G.E., Albe V. *et al*. 2013. Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges. International Journal of Science Education, 35(9), 1490-1512.

Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., *et al*. 1985. C60: Buckminsterfullerene. Nature, 318(6042), 162-163.

Kunicki-Goldfinger J.J., Freestone I.C., McDonald I., Hobot J. A. *et al*. 2014. Technology, production and chronology of red window glass in the medieval period - rediscovery of a lost technology. Journal of Archaeological Science, 41(janvier), 89-105.

LeBaron P.C., Wang Z., Pinnavaia T.J. 1999. *Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview*. Applied clay science.

Lefebvre J.-M. 2002. *Nanocomposites, Polymer–Clay. Dans Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Loretan C., Müller A. 2023. Nano, Bits, and Feynman's Dream: There's Plenty of Room at the (Molecular) Bottom. Journal of Chemical Education, 100(3), 1366-1370.

Malek J. 2001. Ancient Egyptian Materials and Technology. American Journal of Archaeology, 105(2), 338-340.

Mansoori G.A., Fauzi Soelaiman T.A. 2005. Nanotechnology – An Introduction for the Standards Community. Journal of ASTM International, 2(6), 1-22.

Okada A., Arimitsu U. 2007. *Twenty-Year Review of Polymer-Clay Nanocomposites at Toyota Central Labs.*, Toyota Inc.

Park S., Ruoff R.S. 2009. Chemical methods for the production of graphenes. Nature Nanotechnology, 4(4), 217-224.

Pirzer T., Simmel F.C. 2022. Tiny robots made from biomolecules. Europhysics News, 53(3), 24-27.

Qutubuodin S., Fu X. 2002. *Polymer-clay nanocomposites: synthesis and properties*. Marcel Dekker Inc..

Reibold M., Paufler P., Levin A.A., Kochmann W., *et al*. 2006. Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. Nature, 444(7117), 286-286.

Roco M.C. 2011. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. Journal of Nanoparticle Research, 13(2), 427-445

Roco M.C., Hersam M.C., Mirkin C.A. 2011. *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Rozenberg B.A., Tenne R. 2008. Polymer-assisted fabrication of nanoparticles and nanocomposites. Progress in Polymer Science, 33(1), 40-112.

Sayre E.V., Smith R.W. 1961. Compositional Categories of Ancient Glass. Science, 133(3467), 1824-1826.

Silvestri A., Molin G., Salviulo G., Schievenin R. 2006. Sand For Roman Glass Production: An Experimental And Philological Study On Source Of Supply. Archaeometry, 48(3), 415-432.

Stankovich S., Dikin D.A., Dommett G.H.B., Kohlhaas K.M., *et al*. 2006. Graphene-based composite materials. Nature, 442(7100), 282-286.

Stirling D. A. 2018. *The Nanotechnology Revolution*. Singapore: Jenny Stanford Publishing.

Sukhanov D. A. 2022. Structural and Fractographic Features of XVIII Century Damascus Knife Blade Fractures with Impact Bending. Metallurgist, 66(3-4), 475-485.

Wang L., Zexia L. 2021. Knowledge flows from public science to industrial technologies. The Journal of Technology Transfer, 46(4), 1232-1255.

Wu Q., Soppa K., Müller E., Müller J. *et al.* 2022. A modern look at a medieval bilayer metal leaf: nanotomography of Zwischgold. Nanoscale, 14(40), 15165-15180.

Wu Q., Soppa K., Scherrer N., Watts B. *et al.* 2018. Investigation of the foil structure and corrosion mechanisms of modern Zwischgold using advanced analysis techniques. Journal of Cultural Heritage, 31, 122-132.

Yaso M., Takaiwa T., Minagi Y., Kubota K. *et al.* 2009. Study of Microstructures on Cross Section of Japanese Sword. In: *ESOMAT 2009 - 8th European Symposium on Martensitic Transformations*, Les Ulis, France. s.l.: EDP Sciences.

Yaso M., Takaiwa T., Minagi Y., Kanaizumi T. *et al.* 2013. Study of Japanese sword from a viewpoint of steel strength. Journal of Alloys and Compounds, 577, S690-694.

Sitografia

[1] https://www.intechopen.com/chapters/64843

Note

[1] L'aggiunta di nanoparticelle ai materiali polimerici ne può migliorare il comportamento meccanico, inclusa la resistenza e la rigidità, grazie a una serie di effetti combinati che influenzano la struttura e le proprietà del materiale.

[2] La grafite rappresenta una delle forme più comuni di carbonio, caratterizzata da strati di atomi di carbonio disposti in un reticolo esagonale. Gli atomi di carbonio all'interno di ciascuno strato sono legati da forti legami, mentre i diversi strati sono tenuti insieme da deboli forze di Van der Waals. In contrasto alla grafite, il diamante presenta una struttura cristallina tridimensionale, dove ciascun atomo di carbonio è legato a quattro atomi di carbonio adiacenti tramite legami covalenti tetraedrici. I fullereni, invece, sono molecole di carbonio con forme sferiche cave. Infine, i nanotubi di carbonio sono strutture cilindriche composte da uno o più strati di grafene avvolti.

Simona Coccia, Mario Como

Una nuova analisi sismica delle strutture in muratura

A new seismic analysis of masonry structures

Sommario
Scopo del lavoro è la formulazione di un nuovo approccio per l'analisi del collasso dinamico delle strutture murarie colpite da sequenze di impulsi di accelerazione orizzontale di assegnate intensità e durata. La definizione di collasso dinamico, completamente diversa da quella di collasso statico, è una delle novità presentate nel lavoro. Sono sviluppati alcuni esempi di casi reali.

Abstract
The aim of this paper is to formulate a new approach to the dynamical collapse analysis of masonry structures subjected to sequences of pulses of horizontal acceleration of given intensity and duration. The definition of the dynamical collapse, completely different from that of static collapse, is one of the new features presented in the paper. Some applications to real cases are developed.

Introduzione
Il materiale murario ha bassa resistenza a trazione. Per questa ragione la risposta delle strutture in muratura non può ignorare l'incapacità del materiale di sostenere sollecitazioni di trazione. Secondo il modello di Heyman (1966) la struttura muraria si deforma con meccanismi prodotti dall'aprirsi delle lesioni, come mostrato in Figura 1.

Il blocco rigido poggiante su di un piano con attrito che, durante lo scuotimento sismico, oscilla ruotando e staccandosi alternativamente dalla sua base senza slittare, può rappresentare il moto sotto sisma di una struttura in muratura. Partendo dal lavoro di Housner (1963), che per primo formulò ed integrò le equazioni del moto del blocco, il problema è stato indagato da vari autori come DeJong e Dimitrakopoulos (2014), Makris e Vassiliou (2013), Mehrotra e DeJong (2020). È di Casapulla *et al*. (2010) il lavoro pioneristico che tratta degli effetti di risonanza che possono verifcarsi nel blocco investito da sequenze di impulsi istantanei.

Fig. 1 - Analogia tra il moto del blocco rigido e la parete muraria.

Il lavoro in oggetto, in linea con Coccia et al. (2022), Coccia e Como (2023a) e Coccia e Como (2023b), parte dalla considerazione che i metodi basati sullo spettro di risposta elastico o elasto – plastico e quelli sull'uso del fattore di comportamento *q*, utilizzati con successo nell'ambito delle costruzioni in c.a. e in acciaio, non possono applicarsi alle strutture in muratura. Il comune approccio di verifica sismica, utilizzato per le costruzioni in c.a. e in acciaio e trasferito anche alle strutture in muratura, riduce l'analisi della risposta dinamica di una struttura al sisma in una particolare verifica statica. Questa considera agenti sulle masse della struttura forze statiche determinate da un'accelerazione che, rispetto a quella attesa, viene ridotta del cosiddetto fattore di comportamento *q*, affidando alle capacità dissipative della struttura di assorbire l'esubero di input.

A differenza delle strutture in c.a e in acciaio, le strutture murarie presentano scarsa dissipazione e solo un limitatissimo comportamento elastico. Per esse, per il formarsi di fratture, non c'è la possibilità di definire un periodo proprio di oscillazione. In alternativa a tale approccio, viene qui analizzata la reale risposta dinamica al sisma di una struttura muraria costituita da blocchi con vincoli unilateri.

Schematizzazione dell'evento sismico

Un tipico scuotimento sismico è composto da una sequenza di shocks costituiti da impulsi di accelerazione orizzontale e verticale che si susseguono uno dopo l'altro con diverse intensità. Come esempio, la Figura 2 mostra la parte più significative della registrazione delle accelerazioni orizzontali effettuata vicino a L'Aquila, durante il terremoto del 2009. Le onde incluse nella parte centrale indicano le onde di superficie S, le più intense.

Questi shock sono quelli che hanno la maggiore lunghezza d'onda che definisce il periodo dominante T_E del terremoto e ai quali corrisponde la massima ordinata dello spettro di risposta elastico.

Nell'analisi dinamica che segue lo scuotimento sismico è assunto composto da sequenze di impulsi rettangolari alterni di accelerazione orizzontale del tipo descritto in Figura 2.

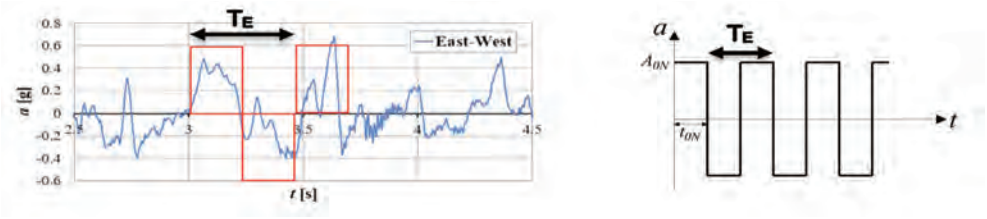


Fig. 2 - Accelerogramma reale e semplificato relativo al terremoto del 2009 a L'Aquila.

Tre quantità definiscono la sequenza di impulsi:

a) il numero N degli impulsi;
b) la massima intensità A_{0N} degli impulsi;
c) la durata t_{0N} degli impulsi.

Come mostrato in (Coccia *et al.*, 2022), il blocco rigido a forma di parallelepipedo di altezza $2H$ e di sezione quadrata di lato $2B$ che dondola su un piano con attrito può descrivere sinteticamente il comportamento di una struttura muraria che oscilla con meccanismi prodotti dall'aprirsi e dal chiudersi delle lesioni. Il blocco, che pesa W, quando colpito da un impulso di accelerazione orizzontale A lascia la sua posizione iniziale di equilibrio verticale e inizia a muoversi appena l'accelerazione A raggiunge il valore A_L tale da portare la retta d'azione di W e di WA/g, a passare per un'estremità della sua sezione di base, come mostrato in Figura 3.

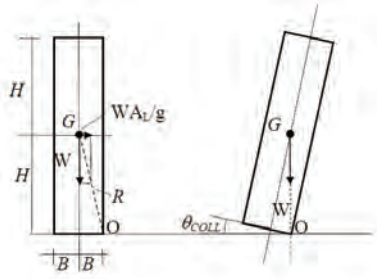


Fig. 3 - Comportamento di un blocco di peso W che viene colpito da un impulso di accelerazione orizzontale A: all'avvio del moto, a sinistra, e nella configurazione critica, a destra.

L'accelerazione di collasso statico del blocco vale:

$$A_L = gB / H \tag{1}$$

Da un altro punto di vista, l'accelerazione A_L corrisponde al moltiplicatore di collasso statico λ_{BL} del carico statico orizzontale, λW, agente sul baricentro del blocco, tale che, come mostrato sempre in Figura 3:

$$\lambda_{BL} = B / H = A_L / g = \alpha_{BL} \tag{2}$$

Questi risultati possono essere estesi dal blocco alla generica struttura in muratura. In questo caso A_L definirà ancora l'accelerazione uniforme limite statica che

produce il collasso statico della struttura, proporzionale a:

$$\lambda_{STR} = A_L / g \tag{3}$$

che è il moltiplicatore limite del carico orizzontale, rappresentativo dell'azione sismica, da determinare mediante applicazione dell'Analisi Limite.

Dopo questa premessa si esamina ora il moto del blocco investito da una distribuzione uniforme di accelerazioni orizzontali. Durante il moto, il blocco può raggiungere la configurazione di resistenza zero, definita dall'inclinazione θ_{COLL} ancora pari a *B/H*, nella quale il blocco ha perso ogni resistenza. Questa configurazione è illustrata in Figura 3, a destra. L'equazione che regola questo moto, per la prima volta fornita da Housner (1963) è espressa dalla seguente condizione di equilibrio dinamico:

$$\ddot{\theta} - p^2\theta + p^2\theta_{COLL}(1 - A / A_1) = 0 \tag{4}$$

dove p è la pulsazione del moto avendo indicato con I_0 il momento di inerzia del blocco rispetto ad uno dei suoi spigoli di base:

$$p = \sqrt{\frac{WR}{I_o}} = \sqrt{\frac{3g}{4H\sqrt{1+\alpha_{BL}^2}}} \tag{5}$$

Analogia tra l'equazione del moto del blocco a quella della generica struttura in muratura

L'equazione (4), come mostrato in (Coccia e Como, 2023a) è perfettamente analoga all'equazione che regola il moto di una generica struttura muraria investita da un impulso uniforme di accelerazione se si considerano, per questa, l'effettiva pulsazione p del moto e l'effettivo angolo di rotazione θ_{COLL} di resistenza zero della struttura. La parete muraria, per esempio, così come il blocco, dondola con oscillazioni non armoniche secondo il relativo meccanismo dovuto all'alternato aprirsi e chiudersi delle lesioni, si veda la Figura 1. Tutte le quantità che definiscono il moto del blocco nella Equazione (4), devono far riferimento alle analoghe quantità relative alla struttura considerata.

La pulsazione p del moto

La pulsazione p determina il cambio di scala della durata degli impulsi della sequenza che, contraendo o dilatando l'effettiva loro durata t_0, diventa la durata specifica pt_0 degli impulsi, che gioca un ruolo determinante nella dinamica sismica delle strutture in muratura. La Figura 4 mostra la variazione della pulsazione p di un arco circolare sotto azioni sismiche a esso complanari, con vari angoli di apertura 2α al variare del rapporto h/R_m.

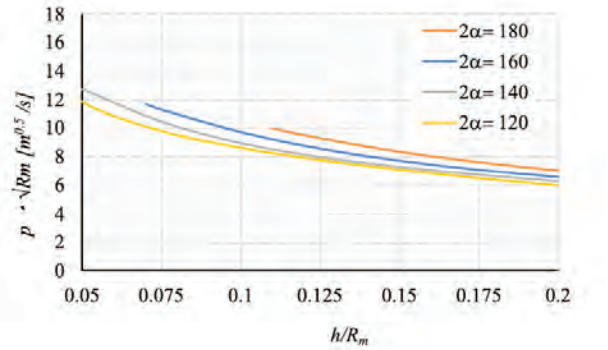


Fig. 4 - L'andamento di $p\sqrt{R_m}$ *con* H/R_m, *in basso.*

La configurazione di resistenza zero

La rotazione critica, ovvero la rotazione di resistenza zero θ_{COLL}, corrisponde all'inclinazione del blocco in corrispondenza della quale la risultante dei suoi pesi passa per il centro di rotazione alla sua base, come riportato in Figura 3, a destra.

L'energia potenziale di *W* in questa configurazione raggiunge il suo massimo e l'incremento di rotazione a partire da questa configurazione produce abbassamento del peso *W* del blocco. Lo stesso accade per ogni altra struttura muraria quando questa raggiunge la configurazione di resistenza zero.

Anche per una struttura generica, la geometria del meccanismo secondo cui questa si deforma è definita unicamente dalla rotazione di uno dei suoi segmenti componenti il meccanismo. Per la struttura muraria si può pertanto assumere come parametro di rotazione critica θ_{COLL} il valore assunto da questo parametro nella configurazione critica o di resistenza zero. La Figura 5 mostra la configurazione critica:

– per la parete verticale bloccata orizzontalmente in testa, che si muove con il meccanismo a tre cerniere;
– per l'arco murario che oscilla nel suo piano.

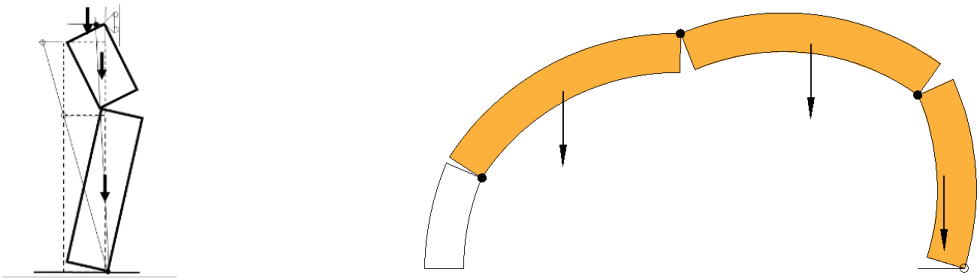


Fig. 5 - Configurazioni critiche per la parete, a sinistra, e per l'arco, a destra.

Si riconosce che, sia per la parete che per l'arco murario, il relativo meccanismo cambia durante il moto a causa della graduale traslazione della relativa cerniera interna fino al raggiungersi della configurazione di resistenza zero.

Accumulo di deformazione sotto impulsi alternati in segno

Un aspetto tipico che caratterizza la dinamica sismica delle strutture murarie è il verificarsi dell'accumulo di deformazione che si sviluppa in esse se investite da sequenze di impulsi di accelerazione di segno alterno.

La Figura 6 illustra l'accumulo di deformazione che si sviluppa:

– nel blocco rigido (Coccia *et al.*, 2022);
– nella parete nel suo meccanismo fuori del suo piano (Coccia e Como, 2023a);
– nell'arco murario (Coccia e Como, 2024).

La Figura 7 riporta i risultati di una ricerca numerica (Coccia *et al.*, 2022) che conferma il verificarsi dell'accumulo di rotazione nel blocco investito da uno scuotimento sismico ripreso da un accelerogramma reale. La Figura mostra l'accumulo di rotazione che si verifica in un blocco dell'altezza di 6,0 m, fino al raggiungersi del collasso, considerando gli intervalli di tempo in cui gli impulsi sono più intensi.

Evidenza sperimentale dell'accumulo di deformazione in pareti portate a collasso da sequenze di impulsi di accelerazione.

Vi è molta ricerca sperimentale su tavolo vibrante svolta per analizzare il comportamento di pareti murarie sotto azioni sismiche ortogonali al loro piano. Sono invece poche quelle che si spingono fino al raggiungersi del collasso. Tra queste ultime si considera la ricerca di Lönhoff e Sadegh-Azar (2018), in Figura 8, in cui viene considerato come eccitazione alla base del tavolo vibrante, più o meno scalata, l'accelerogramma del terremoto di El Centro che presenta una punta di accelerazione di 3,14 m/s^2 e che viene raggiunta dopo circa 2 s, tempo dopo il quale si registra un improvviso accumulo di deformazione che raggiunge il valore di 8 cm senza alcuna inversione di segno, malgrado l'andamento alternato degli shocks. Il forte aumento degli spostamenti avviene uniformemente e dura circa 0,5 s; subito dopo la parete resta ferma nella sua posizione deformata a causa della presenza del sistema di blocco di sicurezza: è quindi collassata. Sempre in Figura 8 è mostrata la prima parte del diagramma degli spostamenti con l'indicazione, marcata da segmenti verticali, dei tempi in cui comincia o finisce la parte ascendente del diagramma, dilatati per meglio mostrare i quattro impulsi che si susseguono uno dopo l'altro durante la fase ascendente degli spostamenti e producono l'accumulo di deformazione; alla fine del quarto impulso la parete ha raggiunto la configurazione di resistenza zero e di conseguenza, con l'arrivo del quinto impulso il collasso della parete sarebbe avvenuto se questa non fosse stata bloccata dal sistema di contenimento.

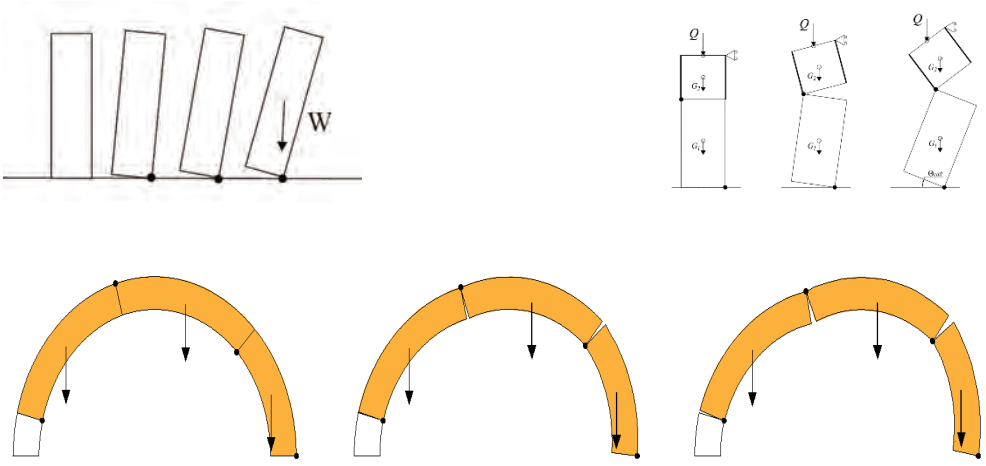


Fig. 6 - Esempi di accumulo di deformazione nel blocco, nella parete e nell'arco murario sotto sequenze di impulsi fino a raggiungere la configurazione critica.

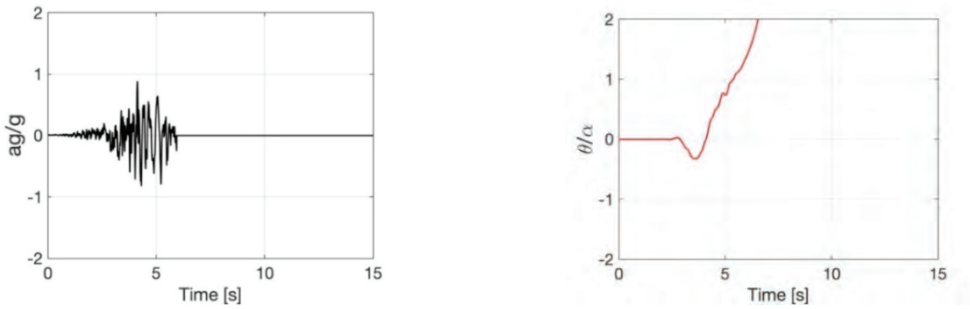


Fig. 7 - Accumulo di rotazione nel blocco sotto un accelerogramma reale.

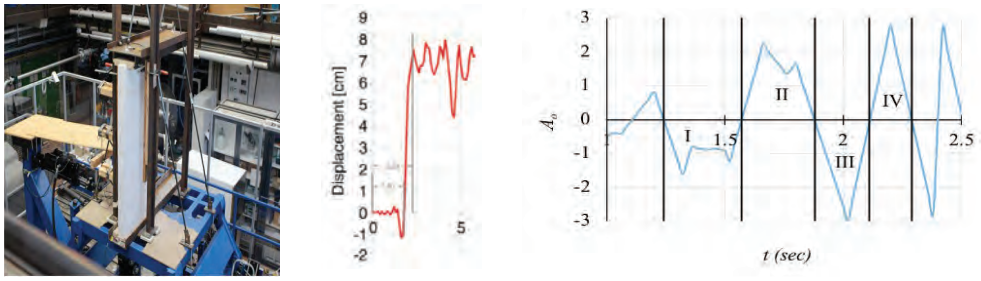


Fig. 8 - Comportamento di pareti murarie sotto azioni sismiche ortogonali al loro piano: accumulo di deformazione nei primi 2 s, a sinistra, i primi quattro impulsi, al centro, e prima parte del diagramma degli spostamenti, a destra.

Questo risultato ha mostrato che il collasso della parete è avvenuto con accumulo di deformazione verificatosi mentre gli shocks si susseguivano alternati uno dopo l'altro, che hanno trascinato la parete verso la configurazione di resistenza zero fino a produrne il collasso, confermando le previsioni della precedente indagine teorica.

Collasso dinamico nella sequenza

Si consideri ora che la struttura sia investita da una sequenza S_3 a tre impulsi aventi intensità A_{03} e durata $pt_{03,}$ in modo tale che la deformazione di collasso θ_{COLL} venga raggiunta proprio alla fine del secondo impulso. La durata t_{03} degli impulsi di accelerazione di intensità $q_{03} = A_{03}/g\lambda_{STR}$, richiesta per trascinare la struttura nella configurazione critica al termine del secondo impulso, è ottenuta imponendo che la rotazione al termine del secondo impulso eguagli la θ_{COOL}. Si ha:

$$q_{03} = (2\cosh^2 pt_{03} - 1) / [2\cosh pt_{03}(\cosh pt_{03} - 1)] \qquad (6)$$

La struttura collassa all'inizio del terzo impulso quando questo la spinge a ruotare nella stessa direzione, al di là dell'angolo di rotazione critica θ_{COOL}.

L'equazione (6), tra tutte le sequenze a tre impulsi, fornisce, per ogni scelta della durata specifica pt_{03} degli impulsi, il corrispondente rapporto critico richiesto per trascinare la struttura nella configurazione critica θ_{COLL} al termine del secondo impulso. Questa sequenza è perciò detta sequenza limite critica a tre impulsi. Viceversa, la durata critica pt_{03} degli impulsi di $S_{03}(pt_{03})$ risulta:

$$pt_{03} = \cosh^{-1}[(2q_{03} - 1) / (2q_{03} - 2)] \qquad (7)$$

Si osserva che la deformazione della struttura cresce con q_{03} in modo che ogni sequenza S'_3 con $q'_3 > q_{03}$ determina certamente collasso. Questa sequenza è pertanto critica, ma non limite, poiché la deformazione critica è raggiunta prima del termine del secondo impulso. Viceversa, una sequenza con $q''_3 < q_{03}$ non è in grado di produrre la deformazione critica al termine del secondo impulso e quindi non de-termina collasso. Pertanto il rapporto critico limite $q_{03} = A_{03}/g\lambda_{STR}$, definito dalla (6), è il più piccolo rapporto di accelerazione tra tutti i rapporti critici $q'3 = q'_3 = A'_{03}/g\lambda_{STR}$ delle sequenze a tre impulsi di durata specifica pt_{03}, che producono il collasso della struttura. La situazione è simile se si considerano durate specifiche più lunghe pt'_3 o più corte pt''_3. L'Equazione (6) definisce nel piano $[pt_{03}, q_{03}]$ la curva

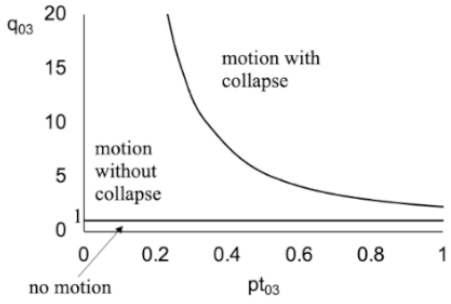


Fig. 9 - La curva limite critica C_{03}.

critica limite, riportata in Figura 9:

$$C_{03} = [pt_{03}; q_{03}(pt_{03})] \tag{8}$$

che fornisce, per ogni durata specifica, $pt_{03,}$ il corrispondente rapporto critico limite $q_{03}(pt_{03})$ per la struttura.

Sequenze di ordine N. La curva critica limite C_0^* delle strutture in muratura
Le sequenze S_N ad N impulsi sono critiche limiti se, per il prescelto valore pt_{0N} e il rapporto critico limite di accelerazione:

$$q_{0N} = A_{0N} / A_L \tag{9}$$

trascinano la struttura nella configurazione critica al termine del penultimo impulso. In analogia con C_{03}, si può tracciare nel piano (pt_{0N}; $q_{0N}(pt_{0N})$) la curva C_{0N}:

$$C_{0N} = [pt_{0N}; q_{0N}(pt_{0N})] \tag{10}$$

che fornisce, per ogni durata specifica pt_{0N}, il corrispondente valore del rapporto $q_{0N}(pt_{0N})$ della sequenza a N impulsi che determina il collasso della struttura proprio all'inizio dell'ultimo impulso di S_N. La Figura 10 mostra le curve critiche limiti C_{03}, C_{05} and C_{07} che corrispondono a sequenze critiche limiti rispettivamente con 3, 5 e 7 impulsi. Per tutte le curve:

$$\lim_{pt_{0N} \to \infty} q_{0N} = 1 \tag{11}$$

Le curve critiche limiti C_{0N} si avvicinano tra loro e quasi si sovrappongono quando il numero N di impulsi cresce.

Può essere in tal modo definita la curva critica limite asintotica C_0^*, in Figura 10, che può essere ben rappresentata dalla curva:

$$q_0^* = q_{07} = (\cosh 6pt_0) / [2\cosh pt_0 (2\cosh 4pt_0 + 1)(\cosh pt_0 - 1)] \tag{12}$$

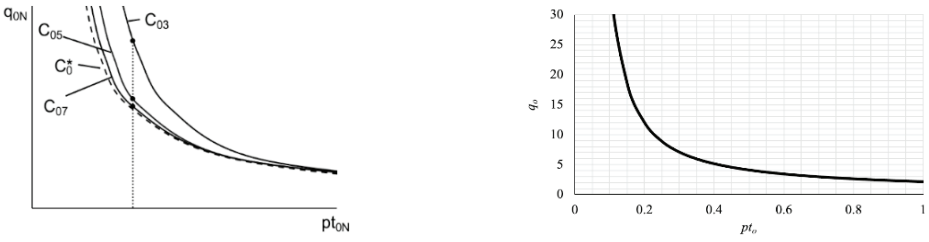


Fig. 10 - Curve limiti di collasso, a sinistra, e curva limite critica di collasso, C_0^*, a destra.

La curva C_0^*, per ogni valore della durata specifica $pt_0 = pT_E/2$, fornisce il rapporto critico limite asintotico q_0^*:

$$q_0^*(pT_E/2) = A_0^*(pT_E/2)/A_L \tag{13}$$

che è *minimo* tra tutti i valori critici dei rapporti di accelerazione in grado di determinare il collasso della struttura.

Verifica della sicurezza delle strutture murarie in-situ

La curva limite di collasso C_0^* può essere usata per identificare la risposta sismica della struttura. Come mostrato in Figura 11, fissato nel piano (q_0, pt_0), dove è tracciata la curva C_0^*, il punto K, di ascissa $pT_E/2$, la durata specifica degli impulsi di accelerazione è definita considerando il periodo del terremoto atteso T_E. Si consideri l'ordinata:

$$q_0^*(pT_E/2) = A_0^*(pT_E/2)/g\lambda_{STR} \tag{14}$$

che interseca la curva C_0^* nel punto K dove λ_{STR} è la resistenza statica della struttura, definita nell'Equazione (3). L'ordinata K definisce il rapporto critico limite $q_0^*(pT_E/2) = q_{0K}$ della sequenza asintotica di impulsi con durata specifica $pT_E/2$.

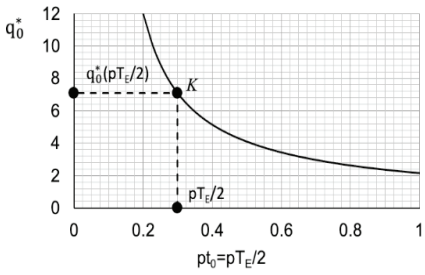


Fig. 11 - La determinazione di $q_0^*(pT_E/2)$ *sulla curva* C_0^*

Il rapporto $q_0^*(pT_E/2) = q_{0K}$, fissato su K, è il *minimo* rapporto di accelerazione tra tutte le sequenze critiche limiti, di ogni ordine N, di impulsi di durata specifica reale $pT_E/2$. Risulta:

$$q_{0K} < q_{0N} \quad \forall N \tag{15}$$

Al contrario, si può ottenere la resistenza statica orizzontale richiesta λ_{REQ} affinché la struttura, con pulsazione *p,* sia in grado di sostenere, al limite del collasso, l'azione di sequenze di qualsiasi ordine N, con impulsi aventi l'assegnata intensità di accelerazione $A_0(pT_E/2)$ e durata $T_E/2$. Il valore della resistenza statica richiesta λ_{REQ} è:

$$\lambda_{REQ} = A_0^*(pT_E/2)/gq_0^*(pT_E/2) = A_0^*(pT_E/2)/(gq_{0K}) \tag{16}$$

Si ammetta che nel sito la massima accelerazione orizzontale attesa sia A_0/g = *PGA*. Allora, poiché q_{0K} è il minimo rapporto di accelerazione tra tutte le sequenze, risulta, con la (15):

$$\lambda_{REQ}(gq_{0K}) = PGA / gq_{0K} > PGA / gq_{0N} \qquad \forall N \tag{17}$$

e quindi λ_{REQ} è la *massima* resistenza sismica orizzontale richiesta affinché la struttura possa sostenere, al limite, l'azione di sequenze di impulsi di ogni ordine N, aventi accelerazione *PGA* e durata specifica pT_E /2. La resistenza statica effettiva della struttura λ_{STR} non deve essere minore della resistenza statica richiesta

$$\lambda_{STR} \geq \lambda_{REQ} \tag{18}$$

Introducendo il fattore di sicurezza $S_0 > 1$ si avrebbe meglio

$$\lambda_{STR} \geq S_0 \lambda_{REQ} \tag{19}$$

Applicazioni

Si consideri la parete in Figura 12, alta H e di spessore B, rinforzata trasversalmente da un cordolo orizzontale in testa e da fasce verticali in FRP, o similari, placcate su entrambe le facce, di lunghezza variabile H-*x'*, soggetta ad accelerazioni orizzontali normali al suo piano. Nelle verifiche sismiche si consideri un'accelerazione orizzontale di progetto *PGA* = 0,4 g, con un'amplificazione *S* = 1,5 e un periodo T_E eguale a 0,4 s.

In via preliminare viene valutata, con l'analisi limite, la distribuzione delle forze orizzontali statiche di collasso agenti normalmente alla parete. I carichi verticali sono costituiti dal peso proprio p_g del muro, espresso come peso di una fascia di muro di lunghezza unitaria in direzione sia orizzontale che verticale e quindi corrispondenti al peso complessivo $G = p_g H$, e da un carico verticale aggiuntivo *Q* applicato sulla testa del muro, come indicato in Figura 12.

Le forze orizzontali sono costituite dal carico distribuito λp_g lungo la verticale e dal carico orizzontale in testa λQ. Il rapporto tra il carico verticale *Q* applicato in testa e il peso complessivo G della parete, valutato su una fascia di larghezza unitaria,

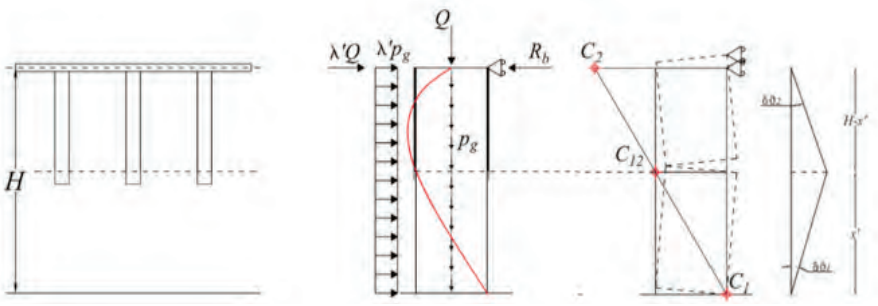


Fig. 12 - Parete verticale rinforzata da un cordolo orizzontale in testa e da fasce verticali in FRP, o similari.

è dato da:

$$\psi = G / Q \tag{20}$$

Il corrispondente moltiplicatore di collasso λ_o delle spinte risulta in tal caso

$$\lambda_0 = \frac{B}{H}\frac{1}{\psi x / H}[(1+2\psi)+\frac{1}{1-x/H}] \tag{21}$$

Nella Figura 13 è riportato il rapporto $\lambda_0 / \lambda_{REQ}$ in funzione di *B/H* per una parete muraria alta 3,5 m avente un rapporto *Q/G* = 0,2 e considerando *(H-x)/H* variabile tra 0,7 e 0,3. Nel diagramma è tracciata la retta corrispondente al fattore di sicurezza S_o=1,5 in modo che i punti posti al di sotto di essa corrispondono a stati non sicuri e viceversa. È evidente che, calibrando opportunamente le lunghezze delle fasce di rinforzo, si può raggiungere la sicurezza sismica richiesta.

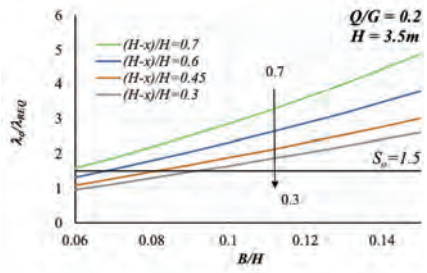


Fig. 13 - Il rapporto $\lambda_0 / \lambda_{REQ}$ in funzione di B/H e di H.

Bibliografia

Casapulla C., Jossa P., Maione A. 2010. Rocking motion of a masonry rigid block under seismic actions: A new strategy based on the progressive correction of the resonance response. *Ingegneria Sismica*, 27(4), 35-48.

Coccia S., Como M. 2023a. Out-of-Plane Dynamical Strength of Masonry Walls Under Seismic Actions. Journal of Earthquake Engineering, 28(4), 1040-1068.

Coccia S., Como M. 2023b. Dynamic collapse of masonry arches. Journal of Earthquake Engineering (in printing).

Coccia S., Como M., Di Carlo, F. 2022. The Slender Rigid Block: Archetype for the Seismic Analysis of Masonry Structures. Journal of Earthquake Engineering, 1-25.

DeJong M.J., Dimitrakopoulos E.G. 2014. Dynamically equivalent rocking structures. Earthquake engineering & structural dynamics, 43(10), 1543-1563.

Heyman J. 1966. The stone skeleton. International Journal of solids and structures, 2(2), 249-279.

Housner G.W. 1963. The behaviour of inverted pendulum structures during earthquakes. Bulletin of the seismological society of America, 53(2), 403-417.

Lönhoff M., Sadegh-Azar H. 2018. Seismic out-of-plane behaviour of unreinforced masonry walls. ce/papers, *2*(4), 291-299.

Makris N., Vassiliou M.F. 2013. Planar rocking response and stability analysis of an array of free-standing columns capped with a freely supported rigid beam. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 42(3), 431-449.

Mehrotra A., DeJong M.J. 2020. A methodology to account for interface flexibility and crushing effects in multi-block masonry mechanisms. Meccanica 55 (6), 1237-61.

Roberta Gambardella

Lo sviluppo dell'illuminazione pubblica a Napoli

The development of public lighting in Naples

Sommario
Il concetto di illuminazione pubblica, in Italia, iniziò a diffondersi solo a cavallo tra il XVIII e il XIX secolo: nelle epoche precedenti le città erano completamente al buio, tranne nelle vicinanze degli edifici e dei monumenti più importanti. Per un periodo, a Napoli, vennero posizionate numerose edicole votive, che, oltre ad avere una valenza religiosa, potevano avere anche una funzione di sicurezza pubblica. Con la scoperta a fine Settecento delle lampade a olio, sembrò realmente possibile illuminare le città, ma è grazie alla diffusione del gas illuminante che si poté pensare a un vero e proprio impianto pubblico. Napoli fu la prima città italiana a creare un sistema di illuminazione pubblica con il gas illuminante nella prima metà dell'Ottocento, mentre la diffusione dell'impianto elettrico avvenne a fine secolo, in concomitanza con i lavori di Risanamento.

Abstract
The concept of public lighting in Italy only began to spread between the 18th and 19th centuries: in previous eras, cities were completely in the dark, except near the most important buildings and monuments. For a period, in Naples, numerous votive urban shrines were placed, which in addition their religious significance, could also serve a public safety function. With the discovery of oil lamps at the end of the eighteenth century, it really seemed possible to illuminate cities, but it was thanks to the spread of illuminating gas that a real public system could be conceived. Naples was the first Italian city to create a public lighting system with gas in the first half of the nineteenth century, while the diffusion of the electrical lighting occurred at the end of the century, in conjunction with the "Risanamento" works.

Introduzione
L'essere umano, fin dall'antichità, ha voluto contrastare il buio. Il fuoco è l'elemento che andato incontro a questa esigenza, anche se con i limiti dettati dalla pericolosità

della fiamma, dalla durata della stessa e anche dalla mancanza di un sistema strutturato che potesse illuminare spazi molto più ampi. In effetti, le città di notte erano avvolte dalle tenebre e questo le rendeva alquanto malsicure: durante le ore più buie, si potevano commettere facilmente crimini di ogni sorta. Per coloro che dovevano camminare di notte, esistevano delle piccole lanterne portatili, spesso utilizzate da servi che facevano da accompagnatori, che permettevano di muoversi per le strade con maggiore facilità (Mariacher, 1965, p. 145). Una prima forma di illuminazione delle città è sicuramente di carattere religioso: si utilizzavano delle immagini votive con il doppio intento di devozione e di sicurezza pubblica, posizionate nei punti più critici delle città. Questo metodo, però, non scoraggiava i ladri o, più in generale, i criminali a compiere cattive azioni durante le ore notturne. I cittadini avevano come unica possibilità di difesa quella di illuminare il più possibile le vie con delle candele fuori le finestre, ma non si poteva parlare di un vero e proprio impianto di illuminazione. In tale direzione si mosse il Parlamento parigino, il quale, il 17 giugno 1524, dopo i continui incendi appiccati in città nel cuore della notte, obbligò tutti i cittadini a mettere delle lanterne, munite di candela accesa, fuori tutte le aperture prospicienti una strada (Pedrini, 1905, p. 141; D'Allemagne, 1891, pp. 261-262); si considera questo esempio come una prima forma di illuminazione pubblica, anche se bisogna sottolineare che i suddetti provvedimenti venivano spesso disattesi. Si può dire che Parigi ebbe la prima illuminazione pubblica più di un secolo dopo, cioè nel 1662, quando il napoletano Laudato Carafa organizzò delle squadre di lampadofori (Doria, 1958, pp. 236-237), che accompagnavano i cittadini per strada di notte, dietro un corrispettivo in denaro (Compagnia Napoletana Gas, 1962). L'iniziativa fu particolarmente lodata e questa conquista si deve sicuramente anche alla creazione, nel 1667, di un ufficio di polizia dedicato al controllo della regolare illuminazione pubblica (D'Allemagne, 1891, p. 318), nonostante si susseguirono diversi disservizi negli anni a seguire.

Una vera e propria svolta in questo ambito si ebbe alla fine del XVIII secolo, quando si diffusero le lampade a olio, anche se dopo pochi anni si scoprì il gas illuminante con tutti i suoi vantaggi (Pedrini, 1905). Le prime rimasero per lungo tempo all'interno delle abitazioni, poiché avevano un costo ridotto e non richiedevano altre spese per l'installazione di un impianto, mentre quelle a gas si adattavano perfettamente all'illuminazione dei luoghi pubblici, considerando, oltre alle strade, anche i teatri, i club, i caffè. La prima applicazione del gas a uso illuminante avvenne nel 1801, merito dell'ingegnere francese Lebon, il cui sistema era ancora imperfetto e non ebbe una grossa diffusione (Annali Civili, 1841, p. 51). Anche in Inghilterra si stava sperimentando il gas illuminante e già nel 1809 si illuminarono alcune fabbriche di Birmingham; nel 1812 si illuminarono a gas le principali strade di Londra, mentre a Parigi ciò avvenne nel 1815 (Doria, 1958, pp. 236-237). Per avere una diffusione del gas illuminante su larga scala si attesero i miglioramenti che resero molto più stabile la luce emessa dalla lampada (Mariacher, 1965, p. 35).

Le origini dell'illuminazione pubblica a Napoli

Come è stato già accennato, una prima forma di illuminazione pubblica è stata quella di matrice religiosa, diffusa in molte città europee e italiane (Pedrini, 1905, p. 141), ma con particolare rilievo a Napoli, in cui ancora oggi si possono osservare numerosi esempi.

Nella città partenopea, nel 1770, il Governo obbligò tutti i Banchi e gli edifici pubblici, insieme ai palazzi dei Ministri, degli Ambasciatori e dei Signori a tenere accesi dei fanali per tutta la notte e addirittura se ne posarono otto davanti al Palazzo Reale. In seguito, si fece un esperimento: si posizionarono alcune lanterne negli incroci più importanti della città, ma i malviventi subito sabotarono questa iniziativa, spegnendo prima tutti i fanali e poi rompendoli risolutivamente (Compagnia Napoletana Gas, 1962, p. 16). Il governo aveva ormai rinunciato completamente all'illuminazione, fino a quando intervenne un personaggio particolare della storia napoletana: Padre Rocco[1]. Egli fece realizzare trecento copie di un quadro della Vergine, fece costruire centro croci di legno con la figura di Cristo dipinta e, infine, scelse le zone dove posizionare queste opere, soprattutto nei luoghi di maggiore passaggio, nei quali fece quindi costruire nicchie e piedistalli affiancati da almeno due fanali. Dopo l'inaugurazione e la benedizione, Padre Rocco chiedeva ai cittadini di non abbandonare le immagini sacre, bensì di mantenere sempre viva la fiamma per non commettere peccato, riuscendo, in questo modo, a far installare circa duemila fanali. Inizialmente vi erano comunque dei delinquenti che volevano ritornare nel regno delle tenebre, ma Padre Rocco riusciva facilmente a ritrovare i rei e punirli severamente (de la Ville sur-Yllon, 1897, pp. 86-87; Compagnia Napoletana Gas, 1962, pp. 15-17; Manzo, 2007, pp. 10-11).

Nel 1787, il marchese Caracciolo, divenuto da poco Segretario di Stato, ordinò che si ricercassero delle piante di lentisco, soprattutto nel salernitano, dove crescevano in misura maggiore piante spontanee di tale varietà, per utilizzare il suo olio per l'illuminazione e si costruissero delle lanterne, con gli elementi di sostegno, da impiegare per illuminare il decumano inferiore di Napoli. Sembra che in questi anni il regio ingegnere Costantino Portanova provò a posare 49 lanterne dalla Chiesa della Madonna dei Sette Dolori fino a Porta Nolana, posizionate in modo da essere perfettamente in linea: questo esperimento riuscì abbastanza bene, tranne per le lamentele causate dall'odore sgradevole dell'olio di lentisco (Compagnia Napoletana Gas, 1962, p. 26). L'idea era quella di installare 2102 lanterne nella città di Napoli e altre 868 nei borghi limitrofi, ma il costo preventivato sembrò eccessivamente alto e avrebbe gravato troppo sulla popolazione, cosicché il Re propose di sospendere qualsiasi progetto, restituendo i soldi ai creditori (Cutolo, 1928, Compagnia Napoletana Gas, 1962, pp. 22-27)[2].

Si arrivò alla fine del secolo senza grandi cambiamenti, anzi la città di notte continuava a essere infestata dai ladri e in particolare, tra il 1798 e il 1799, ci furono diversi disordini popolari contro i francesi del generale Championnet (De Nicola,

1963, p. 69). Il generale si impose sulla città e il 26 gennaio 1799 ordinò che tutte le sere i cittadini dovessero posizionare una lampada fuori la finestra o alle porte per assicurare maggiore sicurezza alla città (De Nicola, 1963, p. 47). Questa disposizione fu modificata nel mese di febbraio da un altro editto municipale per cui l'obbligo si ridusse solo agli abitanti del primo piano, a causa della scarsità di olio che si avvertì in quegli anni (De Nicola, 1963, p. 69; Compagnia Napoletana Gas, 1962, p. 30).

Poco cambiò negli anni a cavallo tra i due secoli fino al 1806, anno in cui si può dire che Napoli ebbe un primo impianto di illuminazione a olio, anche se in ritardo rispetto a molte altre città italiane ed europee. Infatti, il 15 dicembre 1806 «si è veduta per la maggior parte delle strade di questa Capitale, per la prima volta illuminata» (Monitore Napoletano, 1806; Compagnia Napoletana Gas, 1962, p. 33), mentre nel resto d'Europa si stava già sperimentando il gas illuminante con i primi successi.

Il gas nelle strade di Napoli arrivò con particolare anticipo rispetto ad altri centri italiani e la città partenopea fu infatti la prima a dotarsi di un impianto di illuminazione pubblica con tale tecnologia[3]. Già nel 1817 venne concessa a Pietro Andriel di Montpellier, tramite decreto reale 611, l'esclusiva di illuminare la città con il gas, progetto di cui purtroppo non si ha più alcuna traccia (Lizza, 2008, p. 1183). Nel 1837 si fece un primo esperimento di illuminazione a gas a piazza del Plebiscito, lungo i portici della chiesa di S. Francesco di Paola, a opera del cavalier Giovanni De Frigière. Venne installato provvisoriamente un piccolo opificio alle spalle del porticato della Chiesa di S. Francesco di Paola, con il quale si riusciva a illuminare ventinove fanali, ciascuno con un consumo di gas di circa 200 l/h, tramite la distillazione dell'olio: per ogni chilo di olio trattato si riusciva a ottenere 0,55 m^3 di gas (Compagnia Napoletana Gas, 1962, pp. 56-58; Lizza, 2008, p. 1185).

In seguito, nel 1838, fu redatto «l'instrumento di appalto dell'illuminazione a gas» tra il Municipio, con il Sindaco Giuseppe Caracciolo, e De Frigière, in società con Alessandro Cottin e Montgolfier Bodin. La stessa compagnia sottoscrisse un contratto con il Municipio partenopeo nel 1839, che prevedeva quindici anni di illuminazione a gas e sei a olio (Treccozzi, 2018, p. 1603). Nello stesso anno si avviò la costruzione dell'opificio destinato alla produzione di gas: il luogo scelto fu in Vico Cupa, nella zona Chiaia: lo stabilimento constatava di una sala di circa 550 m^2, alto 12,50 m all'interno del quale si sarebbero situate 14 storte per la distillazione e gli apparecchi di depurazione, vi era inoltre un camino di 34 m per lo smaltimento dei prodotti di combustione. Era prevista in un primo momento la realizzazione di due gasometri uguali, per un totale di circa 2.000 m^3 di capacità, con la previsione di ampliare presto l'impianto con altre due unità. In questa prima fase si prevedeva l'erogazione di 200 m^3/h di gas, la distillazione dell'olio sarebbe avvenuta con un brevetto di origine inglese (Compagnia Napoletana Gas, 1962, p. 98) e negli anni successivi si sarebbe passati al carbone (Compagnia Napoletana Gas, 1962, p. 129); in un primo momento era stata concordata un'altra zona per la costruzione dell'opi-

ficio, più precisamente all'Arenaccia, area più disabitata e destinata alle industrie, ma a causa della distanza rispetto alla zona destinata all'illuminazione la compagnia riuscì a farsi cedere un terreno nelle vicinanze del perimetro da illuminare. La costruzione dell'opificio venne completata nel 1840, anno in cui ufficialmente l'illuminazione pubblica si diffuse a Napoli (Del Curto e Landi, 2008, p. 17; Treccozzi, 2018, p. 1605; Lizza, 2020, p. 161), anche se limitata a Toledo, a Chiaia e al Piliero (Doria, 1958, pp. 236-237). I lavori procedettero lentamente e con numerose interruzioni, causando diversi disagi e non accogliendo particolare favore da parte dei privati, come notò De Boissieu, che nel marzo 1839 subentrò a De Frigière. Il contratto sarebbe durato fino al 1853, anche se, a seguito della costituzione della Compagnia di Illuminazione a Gas della città di Napoli, con Alfonso Pouchain come amministratore, si ebbe un prolungamento dell'appalto per i privati fino al 1871; ciò comportò che si ampliasse anche il contratto per l'illuminazione pubblica, dato che il Municipio era impossibilitato alla cessione degli impianti già realizzati dalla società (Treccozzi, 2018, p. 1605). Quindi, nel 1854, il Municipio stipulò il contratto con la società francese di Lione, che però illuminò «solo la parte più ricca e fruttuosa della città, lasciando l'altra a suo arbitrio» (Atti del Consiglio Municipale, 1862a, p. 11). Lentamente, sotto la direzione dell'architetto municipale Carlo Paris, vennero posate in diverse strade urbane delle lampade a gas in ghisa, lavorate dall'Opificio di Pietrarsa (Buccaro e Matacena, 2004; Treccozzi, 2018).

Anche se la città di Napoli ebbe quindi il primato di aver posato per prima in Italia le lampade a gas per l'illuminazione pubblica, sicuramente non ha mantenuto il primato di eccellenza nella sua gestione. Infatti, continuavano a esserci moltissime strade illuminate a olio, a differenza di tutte le grandi città europee, mentre il gas utilizzato per le poche lampade con la nuova tecnologia era impuro e causava odori sgradevoli (Savarese, 1861, p. 3).

A seguito dell'Unità d'Italia, il Municipio di Napoli sentì l'esigenza di ampliare l'illuminazione della città, ma il contratto con la società Pouchain non permetteva di indire una nuova gara d'appalto per le stesse zone. Allora si optò per la pubblicazione di una gara per le aree esterne, con l'accordo che a seguito della fine del contratto con la società Pouchain l'impianto sarebbe stato gestito totalmente dal vincitore della concessione (Treccozzi, 2018, p. 1605). Cinque furono le offerte presentate: quella di Anaclerio Vedovi, come rappresentante di Giulio Amiques, quella del Conte Arrivabene, rappresentante di una casa inglese, quella di N. B. Accini, a nome di una società anonima, quella della Compagnia che già illuminava parte della città e, infine, quella della Casa Parent Schaken & Co, rappresentata da Emilio Hemery (Atti del Consiglio Municipale, 1862a, p. 13). I primi due concorrenti ritirarono la propria offerta, mentre la Compagnia Pouchain trovò un accordo con Emilio Hemery per procedere a una fusione delle due società e, in seguito, presentò al Municipio delle modifiche alla sua offerta (Atti del Consiglio Municipale 1862b, p. 198). La propo-

sta della Casa Parent risultò ben strutturata e allettante, soprattutto perché avrebbe eliminato ogni contenzioso del Municipio con la Compagnia Pouchain e avrebbe garantito l'illuminazione della città, anche con una migliore qualità della luce, in tempi ridotti. Questi vantaggi, insieme alla mancanza di una concreta garanzia della proposta di Accini, fecero sì che l'offerta Parent fosse preferita all'unanimità (Atti del Consiglio Municipale, 1862b, p. 203). Dopo diversi mesi e dopo la costituzione della società, il 12 maggio dello stesso anno si stipulò il contratto, della durata di 60 anni, tra il Municipio e la Compagnia Napoletana di illuminazione e scaldamento col gas, in cui Hemery fu il direttore e Parent il presidente. Il progetto della nuova concessionaria prevedeva di costruire un nuovo opificio, da collocare nelle zone dell'Arenaccia, e di utilizzare quello di via Cupa a Chiaia come sede degli uffici; l'opificio fu realizzato in tempi brevissimi e inaugurato il 21 novembre 1863. Il resto dei lavori di canalizzazione proseguì altrettanto celermente e in circa quindici anni si riuscì a illuminare diversi quartieri della città (Treccozzi, 2018, pp. 1606-1607). La maggioranza delle zone illuminate, però, continuava a essere quella più ricca, mentre per le strade meno importanti sembrava quasi di tornare dieci anni indietro nel tempo, senza contare che il prezzo del gas non era accessibile a molti privati (Atti del Consiglio Municipale, 1884a, p. 348); per questi motivi susseguirono numerosi dibattiti nel Consiglio Municipale nel corso dei decenni a seguire, fino a mettere in discussione un nuovo rinnovo di concessione alla Compagnia del gas nel 1884.

La svolta elettrica

Come è ben noto, nel 1884 la città di Napoli fu colpita da una delle più catastrofiche epidemie di colera del secolo, causando, oltre che un numero altissimo di decessi, anche una battuta d'arresto per le società che lavoravano nel territorio locale. Tale anno è da considerarsi quindi uno spartiacque per molti temi, come, ad esempio, l'igiene e le infrastrutture idrauliche, ma anche per la tecnologia per l'illuminazione. Infatti, vi fu una decisa svolta nel citato campo poiché si stava diffondendo in Europa l'illuminazione elettrica e, proprio in quell'anno, il sindaco Nicola Amore pose una condizione per il rinnovo della concessione alla Compagnia del gas, cioè di considerare l'applicazione dell'energia elettrica per l'illuminazione (Lizza, 2008, p. 1190). In effetti, nel contratto precedente e nelle successive modifiche, non vi era alcun impedimento sulla possibilità di utilizzare una fonte illuminante differente dal gas, anzi «in un articolo del contratto di concessione leggesi una formale riserva pe' nuovi mezzi d'illuminazione, che potessero uscir fuori co' progressi della scienza. Se gli esperimenti per una illuminazione elettrica delle pubbliche vie, altrove frustrati di effetto, fossero tra noi coronati da favorevole successo, noi saremmo i primi a battere le palme, e a favorirne l'esecuzione. I cittadini napoletani non sono avvinti da alcun impegno legale che li obblighi a fare uso di gas; e il Municipio non ha garentito alla Compagnia che solo la metà dell'attuale consumazione. Si consumano per suo conto

oltre a tre milioni di metri cubi di gas, e la garantia concessa è di appena un milione. Siam liberi, per conseguenza, di fare con l'elettricità qualunque esperimento; e riuscendo, siam liberi di applicarla a nostro talento» (Atti del Consiglio Municipale, 1884b, p. 323). La Compagnia del Gas cercò di difendere la sua posizione e solo alla fine del 1885 si riuscì a concludere un contratto che accontentasse entrambe le parti (Atti del Consiglio Municipale, 1885a, p. 894). Nel nuovo accordo furono apportare diverse modifiche, in particolare sul prezzo del gas, sull'ampliamento del gasometro e sulla possibilità di una transizione all'energia elettrica. Ispirandosi a un contratto similare stipulato a Milano, la città dove si era già enormemente sviluppata l'illuminazione elettrica, la Giunta concordò che il Municipio di Napoli avesse il diritto di concedere ad altre società la realizzazione e la gestione di un sistema di illuminazione elettrica qualora la stessa Compagnia del gas avesse deciso di non gestirlo a parità di condizioni; la Compagnia avrebbe in ogni caso mantenuto il diritto di conservare e amministrare le proprie canalizzazioni e i propri impianti fino al termine della concessione (Atti del Consiglio Municipale, 1885b, p. 62).

Il passaggio alla sorgente elettrica avvenne prima nei teatri, approfittando della nuova tecnologia per ridurre al minimo il rischio degli incendi. Il 20 agosto 1887 il Municipio stipulò un contratto con la società Edison per la concessione dell'illuminazione del Teatro S. Carlo, in cui era prevista l'installazione di 1.000 lampade a incandescenza Edison con un potere luminoso complessivo di almeno 14.500 candele, di cui 350 nella sala e le altre suddivise tra l'orchestra, la ribalta, i corridoio, il palcoscenico e lo scalone d'ingresso, e 4 lampade ad arco Siemens dal potere luminoso di 1.400 candele per il portico del Teatro, più 8 regolatori dal similare potere luminoso per la grande scala del Palazzo Reale: tale impianto fu collaudato da una Commissione tecnica composta da valenti ingegneri napoletani come Gaetano Bruno e Carlo Cigliano (Municipio di Napoli, 1910). Dopo soli tre anni, cioè nel 1890, alla società Edison subentrò la Società Generale d'illuminazione, che illuminò anche la Galleria Umberto I (Municipio di Napoli, 1910). Nel 1892 la Giunta Comunale di Napoli prese in considerazione la proposta dell'ingegnere Eugenio Vitale di illuminare con l'energia elettrica la Galleria dei Tram a Piedigrotta, mentre l'anno successivo si approvò il progetto dell'illuminazione elettrica nelle zone dei lavori di Risanamento, precisamente lungo la via e le piazze del Rettifilo, all'epoca denominata corso Re d'Italia, e nei pressi della Stazione Centrale; in Figura 1 è riportata l'immagine di un candelabro del Rettifilo. La Compagnia del gas aderì alla richiesta di sostituzione dell'impianto dal gas all'elettricità, ma fece eseguire il lavoro dalla SGI-Società Generale d'illuminazione sotto la garanzia della stessa Compagnia. Prima di stipulare un vero e proprio accordo, si seguì un iter burocratico piuttosto lungo che si concluse con il contratto del 5 aprile 1900 con il notaio Luigi Tavassi, in cui si determinarono i modi e le vie da illuminare elettricamente, con una concessione che sarebbe durata fino al 1937 (Municipio di Napoli, 1910, pp. 111-132). I lavori vennero suddivisi in

tre gruppi, da realizzare in ordine di priorità: il primo comprendeva le vie più ricche della città, come via Chiaia, via S. Lucia, via Partenope e via Mergellina; al secondo gruppo appartenevano via Roma, via Museo, via Municipio e altre strade limitrofe; infine, nell'ultimo vi erano strade come via Foria, via dei Tribunali, via Duomo e la zona nei pressi dell'Albergo dei Poveri; il numero di lampade da installare variava tra 90 e 100, a seconda della strada, e dovevano avere almeno 8 ampère sia in caso di corrente continua che alternata. La SGI passò alla fase operativa, provvedendo alla sostituzione della vecchia illuminazione a gas con quella elettrica, con un consumo di circa 220.000 kW/h l'anno, e rimuovendo le temporanee linee aeree che alimentavano i lampioni elettrici già posati, senonché sorsero subito delle divergenze con il Comune di Napoli, che si portarono avanti praticamente per tutta la durata della concessione. I motivi principali di disaccordo erano i prezzi orari in base alla tipologia di lampada, la posa delle condutture e gli aumenti dei costi della fornitura di energia elettrica (Municipio di Napoli, 1910). Inoltre, l'espansione della città, l'aggregazione alla città di comuni limitrofi e la velocità di sviluppo dell'energia elettrica, portarono alla realizzazione di impianti provvisori e a studiare un nuovo progetto che fosse al passo con i continui cambi del territorio comunale di Napoli (Bollettino del Comune di Napoli, 1928, p. 3).

Fig. 1 - Candelabro del Rettifilo di Napoli: disegno (s.a., 1900)*, a sinistra, e particolare del candelabro oggi, a destra.*

Nel 1899 fu fondata un'altra società che si dedicò all'illuminazione elettrica, la SNIE-Società Napoletana per Imprese Elettriche, la quale fece una forte e aggressiva concorrenza alla SGI (Parisi, 2001, p. 66; Caiazzo, 2013, p. 115), interessandosi all'illuminazione degli ex Comuni aggregati alla città di Napoli (Barbagallo, 2018; Municipio di Napoli, 1910). La SNIE creò molti problemi alle sue avversarie ma ebbe vita breve perché la spietata competizione non portò ai risultati sperati: la SGI riuscì a comprare le azioni della SNIE, nonostante il Municipio di Napoli fosse particolarmente spaventato dalla possibilità di un completo monopolio sull'illuminazione, e nel 1926 si arrivò a una vera e propria fusione tra le due, formando una nuova società dal nome di Società Elettrica Generale Napoletana, che proseguì il compito di ampliare l'illuminazione pubblica in tutta la città (Caiazzo, 2013; Il Foro Italiano, 1932; Bollettino del Comune di Napoli, 1931).

In questo contesto si inseriva un'altra società, la SME-Società Meridionale di Elettricità, la quale si pose come obiettivo primario quello di generare energia elettrica mediante lo sfruttamento delle acque del fiume Tusciano, nei pressi di Salerno (Barbagallo, 2018). La storia della SME è molto complessa e ampiamente trattata in letteratura e in questa sede si vuole solo brevemente citare la sua influenza nel mondo dell'illuminazione pubblica: la società nacque per la volontà di diverse realtà già strutturate, come la Compagnia del gas, la quale era l'assoluta protagonista del settore a Napoli. La concorrenza della SNIE creò dei disagi iniziali, che portarono la SME e la SGI a fronteggiare la situazione con complesse manovre finanziarie. Il risultato fu che la SME riuscì a creare un vero e proprio monopolio nel settore dell'elettricità, riuscendo a inglobare le due società di illuminazione che operavano a Napoli, oltre ad altre realtà elettriche in tutto il meridione.

Conclusioni

La città di Napoli vanta il primato di aver installato per la prima volta in Italia delle lampade a gas per l'illuminazione pubblica. Questo primato è certamente importante, ma bisogna contestualizzarlo per capire la realtà dei fatti. L'illuminazione pubblica a olio arrivò molto in ritardo rispetto a molte altre città italiane ed europee, mentre il gas fece la sua comparsa in tempi più brevi. La compagnia che rese possibile l'illuminazione a gas si mostrò, fin da subito, non sufficientemente strutturata ed esperta per fornire una luce adeguata e, quindi, fino al cambio di gestione, la città partenopea non poteva considerarsi allo stesso livello di altre località. Anzi, sembrava tornare indietro nel tempo, poiché erano presenti ancora moltissime lampade a olio mentre quelle a gas, a causa della materia prima impura, producevano una luce insoddisfacente, oltre a emanare terribili odori. Una importante svolta si ebbe con il passaggio all'energia elettrica, che avvenne in leggero ritardo rispetto a città come Milano e Torino. Come già sovente era capitato, le zone che si illuminarono con maggiore urgenza furono quelle più ricche, mentre le altre parti della città aspettarono diversi decenni per avere un impianto di illuminazione stabile. Il susseguirsi di diverse realtà politiche nei primi trent'anni del Novecento e le continue vicende che toccavano le società elettriche nel napoletano contribuirono a un ritardo nel realizzare ciò che si era concordato nei contratti con il Municipio. Si può dire che le amministrazioni locali cercassero di essere al passo con il resto d'Europa e d'Italia, ma talvolta gli interventi fatti sembravano essere solo di facciata, come a volersi fare vanto di essere riusciti in un'impresa complessa. In conclusione, la diffusione dell'illuminazione pubblica nella città di Napoli non ha seguito un percorso lineare, bensì si alternavano fasi di grande innovazione ad altre di stasi: infatti, l'interesse per l'illuminazione arrivò un po' in ritardo rispetto al resto d'Italia, in cui già si era diffuso l'utilizzo delle lampade a olio; invece, il gas illuminante per l'illuminazione pubblica fu utilizzato per la prima volta a Napoli, con grande successo in fase di inaugurazione, mentre il

servizio degli anni successivi è da considerarsi tra i peggiori; infine, approfittando anche del lavori di Risanamento, ci fu un veloce sviluppo dell'energia elettrica, segno del forte interesse verso le nuove tecniche illuminanti da parte dell'amministrazione locale e soprattutto della volontà di portare la città partenopea ai livelli più alti della nazione dal punto di vista tecnologico.

Ringraziamenti
Vorrei ringraziare l'Archivio Storico Municipale di Napoli, in particolare la dott.ssa Giuliana Buonaurio, la quale mi ha aiutata ad approcciare a questa ricerca e mi ha fornito dei consigli preziosissimi.

Bibliografia
Atti del Consiglio Municipale di Napoli 1862a. Tornata del 7 gennaio 1862. Sessione ordinaria autunnale.
Atti del Consiglio Municipale di Napoli 1862b. Tornata del 24 febbraio 1862. Sessione ordinaria autunnale.
Atti del Consiglio Municipale di Napoli 1884a. Tornata del 16 aprile 1884. Sessione straordinaria.
Atti del Consiglio Municipale di Napoli 1884b. Tornata del 7 aprile 1884. Sessione ordinaria di primavera.
Atti del Consiglio Municipale di Napoli 1885a. Tornata del 28 dicembre 1885. Sessione straordinaria.
Atti del Consiglio Municipale di Napoli 1885b. Tornata del 20 febbraio 1885. Sessione straordinaria.
Barbagallo F. 2018. *Napoli Belle Époque*. Bari-Roma: Editori Laterza.
Bollettino del Comune di Napoli 1928. *I nuovi impianti per l'illuminazione*. 54(9), 3-6. Napoli: R. Tipografia Francesco Giannini & Figli.
Bollettino del Comune di Napoli 1931. *La pubblica illuminazione. I nuovi impianti*. 57(3), 3-8. Napoli: R. Tipografia Francesco Giannini & Figli.
Caiazzo F. 2013. *Reti di capitali e reti di servizi: la Compagnie Napolitaine d'éclairage et de Chauffage par le gaz (1862-1919)*. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II.
Compagnia Napoletana Gas (a cura di). 1962. *Le compagnie del gas in Napoli*. Napoli: L'Arte Tipografica.
Cutolo A. 1928. L'illuminazione pubblica a Napoli alla fine del XVIII secolo. Bollettino del Comune di Napoli, VI(5), 21-26.
D'Allemagne H.R. 1891. *Histoire du luminaire depuis l'époque romaine jusqu'au XIX siècle*. Paris: Alphonse Picard Libraire-Editeur.
De la Ville sur-Yllon L. 1897. Padre Rocco e l'illuminazione della città di Napoli. Napoli Nobilissima, v. VI, f. VI, 81-87.
De Nicola C. 1963. *Diario napoletano, dicembre 1798 - dicembre 1800* (a cura di P. Ricci). Bergamo: Giordano editore.
Del Curto D., Landi A. 2008. Gas-light in Italy between 1700s & 1800s: a history of lighting. In: *The culture of energy*. Newcastle: Mogens Rüdiger - Cambridge Scholars Publishing.

Il Foro Italiano. 1932. Udienza 30 ottobre 1931; Pres. Sciasciulli, Est. Falcone; Società Generale Elettrica Napoletana (Avv. Graziani, Massari) c. Finanze dello Stato e Comune di Napoli (Avv. Gianturco) 1932. In: *Il Foro Italiano*, Vol. 57. Parte prima: giurisprudenza civile e commerciale, pp. 599-600, 603-604.

Lizza A. 2008. Storia dell'illuminazione a gas nella città di Napoli. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 2° Convegno Nazionale* (a cura di Alfredo Buccaro, Giulio Fabricatore, Lia Maria Papa), II, 1183-1192. Napoli: Cuzzolin Editore.

Lizza A. 2020. Storia dell'industria del gas a Napoli. In: *Proceedings of the 4th International Conference - Atti dell'8° Convegno Nazionale* (a cura di Salvatore D'Agostino e Francesca Romana d'Ambrosio Alfano), I, 159-169. Napoli: Cuzzolin Editore.

Manzo E. 2007. Le edicole sacre a Napoli. Architettura e simboli nella cultura del Mediterraneo. In: *Edicole sacre. Percorsi napoletani tra architetture effimere* (a cura di E. Manzo), 10-15. Napoli: Clean.

Mariacher G. 1965. *Illuminazione dal Quattrocento all'Ottocento.* Milano: Antonio Vallardi Editore.

Monitore Napoletano. 1806. 16 dicembre, n. 84.

Municipio di Napoli. 1910. *Contratti per l'illuminazione elettrica interceduti con la Società Generale d'illuminazione e con la Compagnia del gas*. Napoli: R. Stab. Tipografia Francesco Giannini & Figli.

Parisi R. 2001. Verso una città salubre. Lo spazio produttivo a Napoli tra storia e progetto. Meridiana, 42, 53-74.

Pedrini A. 1905. *La città moderna a uso degli ingegneri, dei sanitari, e degli uffici tecnici delle pubbliche amministrazioni*. Milano: Ulrico Hoepli.

s.a. 1900. I candelabri dell'illuminazione elettrica di Napoli. L'Ingegneria Moderna, I(7), 53-54.

Savarese R. 1861. *Dell'illuminazione della città di Napoli, memoria al Consiglio Municipale*. Napoli: Tipografia G. Cardamone.

Treccozzi D. 2018. La conquista della notte: l'illuminazione a gas a Napoli tra programmi urbani e logiche imprenditoriali,1839-1893. In: *La città altra. Storia e immagine della diversità urbana: paesaggi dei privilegi e del benessere, dell'isolamento, del disagio, della multiculturalità* (a cura di F. Capano, M.I. Pascariello e M. Visone), 1601-1610. Napoli: FedOA.

Note

[1] Gregorio Maria Rocco (1700-1782, Napoli) era un padre domenicano particolarmente famoso tra la popolazione partenopea ed era addirittura adorato a Corte (Compagnia Napoletana del gas, 1962).

[2] C'è incertezza sulle date: dalla fonte citata sembra che queste lanterne siano state posate a seguito della morte di Padre Rocco; invece, dallo scritto di de la Ville-sur Yllon (1897) sembra che questo esperimento fosse stato fatto prima dell'intervento dello stesso Padre.

[3] In Italia il gas illuminante era già stato sperimentato nei luoghi chiusi, come nel 1822 all'interno di un caffè a Torino, mentre si aspettarono altri vent'anni circa per vedere le strade illuminate.

Federica Fiorillo

L'illuminazione pubblica a Napoli, concessioni e progetti dall'Unità d'Italia al Piano di risanamento e ampliamento della città di Napoli del 1885

Public lighting in Naples, concessions and projects from the Unification of Italy to the 1885 Plan of risanamento e ampliamento della città di Napoli

Sommario
Già a partire dalla fine del XVIII secolo, emerse la necessità di rendere «più sicura di notte la città di Napoli, e meno soggetta a quei disordini e inconvenienti facili a succedere col favore dell'oscurità […]» (Cutolo, 1928, p. 3). Attraverso la lettura delle relazioni rinvenute negli *Opuscoli d'Ingegneria,* custoditi nella biblioteca dell'Associazione Nazionale Ingegneri e Architetti Italiani (A.N.I.A.I), e dei documenti conservati nell'archivio storico dell'Italgas, questo contributo si pone l'obiettivo di approfondire il tema dell'illuminazione pubblica nella città di Napoli, inquadrandolo nel più ampio contesto delle trasformazioni della città avviate all'alba dell'Unità d'Italia, fino all'inizio dei massicci interventi di risanamento e ampliamento urbano programmati con il piano redatto da Adolfo Giambarba e Gaetano Bruno a seguito dell'epidemia di colera asiatico del 1884.

Abstract
At the end of the 18th century, the need emerged to make «the city of Naples safer at night, and less subject to those disorders and inconveniences easy to happen with the favour of darkness [...]» (Cutolo, 1928, p. 3). This contribution aims to investigate the issue of public lighting in Naples by reading the Engineering Pamphlets preserved in the library of the National Association of Italian Engineers and Architects (A.N.I.A.I) and the documents stored in the historical archives of *Italgas*. The subject of public lighting is treated in the context of the city's transformations, from the dawn of the Unification of Italy to the beginning of the urban renewal and expansion works planned with the plan of Adolfo Giambarba and Gaetano Bruno following the Asian cholera epidemic of 1884.

Le premesse storiche

Il 18 aprile del 1782, Giuseppe Beccadelli, marchese della Sambuca nonché Ministro degli Affari Esteri del Regno di Napoli dal 1776 al 1786, su ordine di re Ferdinando

IV, si era riferito a Marcantonio Colonna di Stigliano, III principe di Sonnino, con tale comunicazione: «avendo presenti li salutari effetti che risultano alle più grandi e ben governate capitali di Europa dalla generale ben disposta illuminazione notturna ch'è in esse stabilita e diligentemente mantenuta dalla vegliante lor polizia, è venuto il Re nella determinazione di adottare e far eseguire somigliante misura per la sua capitale» (Cutolo, 1928, p. 3).

Con l'obiettivo di conoscere quanto stava avvenendo nelle altre capitali, in cui erano già presenti dei primi sistemi di illuminazione pubblica, con ordine del 7 maggio 1782, il Re richiese ai Ministri del Regno, ambasciatori nelle città di Vienna, Madrid, Parigi, Londra, Lisbona e Torino di recuperare e fornire quante più informazioni possibili circa i metodi e i regolamenti adottati in detto campo. Ricevute le relazioni, il progetto di illuminare la città di Napoli, però, subì un brusco rallentamento a causa del significativo investimento stimato per la sua realizzazione. Il 25 giugno del 1789 si ritornò concretamente sull'argomento, nello specifico, l'ingegnere Costantino Portanova presentò una nota di spesa, ammontante a circa 2056 ducati, per l'installazione di 49 lanterne nella strada da S. Maria dei sette dolori fino a Porta Nolana (Cutolo, 1928, p. 7). Detta nota di spesa fu seguita da un *Conto prudenziale approssimativo al vero per lo illuminamento notturno di tutte le strade e i vicoli, così del corpo della città di Napoli, che dei vari borghi*, presentato dallo stesso ingegnere Portanova alla Giunta dell'Annona e del buon Governo. La stima dei costi era riferita a circa 2012 lanterne da collocare in tutte le strade, i vicoli e i vari borghi della capitale. Tuttavia, ancora una volta, il costo – ovvero 87.283,54 ducati per l'impianto e 148.638,55 ducati per la manutenzione – non trovò il consenso del Supremo Consiglio delle Finanze che bloccò nuovamente il progetto e risarcì i creditori coinvolti in questa prima fase di ricerca e sperimentazione.

L'illuminazione pubblica a gas nella città di Napoli: i contratti con la Compagnia di Illuminazione

Il progetto di dotare la città di Napoli di un impianto di illuminazione pubblica cadde nuovamente nell'oblio. Negli ultimi anni del XVIII secolo furono, infatti, i privati cittadini a occuparsi della stessa, esponendo i lumi alle finestre delle proprie abitazioni, soprattutto in occasione di festività religiose e civili. Tra le più rilevanti, si citano, le luminarie di gala allestite, per 4 sere consecutive dal 25 gennaio 1799, in onore del comandante dell'esercito francese Jean Antoine Étienne Vachier detto Championnet. «Passo Championnet, passò la Repubblica partenopea, torno e ripartì Ferdinando IV e tali memorabili eventi concorsero a far sì che la illuminazione pubblica a Napoli fosse sempre e soltanto quella di Padre Rocco» (Compagnia napoletana gas, 1962, p. 33). Fu solo nel 1806, per volere di Giuseppe Napoleone, che la capitale del Regno di Napoli ebbe il suo impianto di illuminazione pubblica a olio, con circa duemila lampioni. Dopo oltre un ventennio, la città raggiunse un

importante traguardo seppure nelle altre capitali europee si stava già sperimentando un nuovo sistema per dar luce alle strade cittadine, ovvero, quello a gas. Infatti, nello stesso anno, grazie al contributo di Frederick Winsor, fondatore della *National Light and Heat Company*, a Londra si stava diffondendo, su scala urbana, il sistema di illuminazione a gas.

Il Regno Unito fu successivamente seguito nel primato dalla Francia, dal Belgio e, infine, dalla Germania. (Del Curto e Landi, 2008).

Anche se in ritardo rispetto ai citati paesi, più aggiornati in detto campo, l'Italia e, nello specifico, Napoli, riuscì a conquistare un posto nel primato, divenendo la prima città del Regno a vantare un impianto di illuminazione pubblica a gas.

A tal proposito, nel 1817, Ferdinando I di Borbone, con Decreto Reale n. 611, aveva concesso a Pietro Andevel la privativa per l'illuminazione a gas idrogeno nel Regno delle Due Sicilie (Di Rauso, 2008). Nonostante la concessione, bisognerà attendere il 1834 per il primo esperimento, nello specifico il 10 settembre, giorno in cui furono installate 29 lanterne nel Porticato della Basilica di S. Francesco di Paola (Lizza, 2022).

Tuttavia, il progetto di illuminare sistematicamente la città prese l'avvio solo nel 1838, grazie alla figura del Cavaliere Giovanni De Frigiere, che formulò una proposta a Ferdinando II di Borbone sottolineando espressamente al re che: «Sua Maestà […] gradirebbe una sollecita illuminazione ad uso della Regia col metodo a gas, ed il supplicante fra quindici giorni sarà pronto ad eseguirla perché sia conchiuso un contratto per lo scopo del quale egli ha fatto dispendiosi ammonimenti ed ha provveduto Forniture di grave importanza»[1].

La proposta fu accolta e il Cavaliere De Frigiere costituì una società denominata Compagnia per l'Illuminazione, insieme a Alessandro Cottin, Montgolfier Bodin, Don Andrea Rocco e Don Nicola Maria Scala; quest'ultimi appaltatori della illuminazione a olio allora già in funzione.

Il contratto di concessione in favore della Compagnia per l'Illuminazione, composto da 68 punti, presentava indicazioni ben precise in termini di localizzazione, gestione e manutenzione degli impianti, dalle officine alle singole lanterne, con estrema attenzione al monitoraggio e al controllo della qualità del servizio fornito. Nello specifico, le condizioni prevedevano un appalto della durata di 15 anni, per l'illuminazione a gas – cioè, fino al 31.12.1853 - e 6 anni per quella a olio, quindi, fino al 31.12.1844. Le spese di impianto delle officine, così come quelle delle tubazioni e delle lanterne, sarebbero state esclusivamente a carico della Compagnia. Quest'ultima, a sua volta, si impegnava a rispettare le indicazioni fornite dall'architetto Municipale e dall'Ufficiale Sanitario in relazione alla scelta del luogo dove impiantare l'officina, possibilmente che fosse «il meno popoloso, e propriamente all'Arenaccia di Casanova»[1]. Il contratto dettava condizioni specifiche, altresì, riguardo la manutenzione e la pulizia degli impianti, nonché gli orari di accensione e spegnimento

delle singole lanterne, anche in relazione agli eventi politici, sociali e religiosi come Giovedì Santo, Venerdì Santo e la parata di Piedigrotta. Per esempio, era previsto che «quante volte sua Maestà è in permanenza nel Real sito di Capodimonte, le lanterne, o i fanali lungo la Strada di Santa Teresa sino al Real Palazzo di Capodimonte essere debbano illuminati alle ore ventiquattro italiane»[1].

Il Cavaliere De Frigiere, formalizzato il contratto di concessione, con atto notarile dell'11 marzo del 1839, cedette l'appalto al sig. Alfonso De Boissieu, negoziante di Lione. De Boissieu, in società con altri cinque cittadini francesi, per volere del Re, fu costretto, a sua volta, a riservare la sottoscrizione di un quarto delle azioni della Società anonima, in via di costituzione, a un gruppo di cittadini napoletani. Pertanto, il 7 gennaio 1841, al cospetto del notaio Gabriele Maria Ferraro, venne costituita la società Compagnia di Illuminazione a Gas della Città di Napoli, con capitale sociale di 350.000 ducati, diviso in 3.500 azioni da 100 ducati ciascuna, e validità di trent'anni, prorogabili previa autorizzazione delle Autorità competenti.

Nonostante la costituzione della nuova società, gli obblighi contrattuali si rilevarono estremamente onerosi e, in assenza dei fondi necessari, i lavori proseguirono in maniera lenta e incompleta. Il malcontento fu non solo dell'amministrazione ma anche dei soci azionisti della compagnia che sostituirono l'amministratore De Boissieu con Alfonso Pouchain. La nuova nomina non migliorò le condizioni finanziarie della Compagnia tanto che, nel 1854, il Consiglio Comunale indisse una nuova gara d'appalto per l'illuminazione dell'area della città di Napoli non compresa nella precedente concessione: «Avendo il Municipio veduto il bisogno di estendere a tutto il perimetro della Città di Napoli la illuminazione a gas, che ora è limitata a pochi punti […]»[2]. Parteciparono al bando cinque società e tra le offerte presentate fu scelta la proposta di Emilio Hemery e Basilio Parent, rappresentanti della Casa Parent Schaken e Compagni.

Il 12 maggio 1862, al cospetto del Notaio Gaetano Martinez, il sindaco Giuseppe Colonna e Basile Parent, in qualità di socio della Casa Parent Schaken e Compagni, firmarono la nuova concessione dalla durata di sessant'anni, dall'1 giugno 1862 all'1 giugno 1922, a favore della citata Casa Parent Schaken e Compagni. Detta società, ottenuta la concessione, sottoscrisse un contratto di appalto per l'illuminazione a gas in nome di una costituenda società anonima quale la *Compagnie Napolitaine D'Eclaraige e de Chauffage pour le Gaz*. Stabiliti i nuovi confini previsti dal contratto, i concessionari si impegnarono anche a realizzare un nuovo stabilimento e a provvedere, entro 18 mesi, alla realizzazione di una canalizzazione per la fornitura giornaliera di 4.500 metri cubi di gas (Lizza, 2008).

Anche in questo caso il contratto di concessione si presentava davvero blindato dettando regole precise in termini di utilizzo del suolo pubblico, produzione del gas e gestione e manutenzione degli impianti. Ad esempio, l'articolo tredici citava: «il gas […] dovrà essere tale, che sotto una pressione di due a tre millimetri d'acqua lo

splendore d'una lampa Carçel bruciante quarantadue grammi di ottimo olio all'ora, possa ottenersi con un buco di gas che consumerà centoventicinque litri di gas all'ora compensatamente»[2]. Tra gli obblighi contrattuali presenti si specificava, inoltre, che la completa accensione doveva avvenire al massimo entro 30 minuti e, dal 25 al 30 di ogni mese, i concessionari dovevano provvedere, a proprie spese, alla corretta manutenzione dei dispositivi illuminanti.

Di estremo interesse, infine, l'articolo nove che regolamentava l'utilizzo dei suoli da destinare all'insediamento dei gasometri. In tal modo, si indicava che, laddove il terreno fosse stato di proprietà del Municipio, sarebbe stato ceduto in piena proprietà ai concessionari e il suo valore, fissato in accordo tra le parti, sarebbe stato pagato dai concessionari nel giorno della consegna. Diversamente, se in possesso di privati, il suolo sarebbe stato espropriato per causa di pubblica utilità. I concessionari divenivano i nuovi proprietari previo pagamento di una quota comprensiva del valore del terreno e delle spese affrontate per la stima dello stesso. Il prezzo pagato dai concessionari al Municipio sarebbe stato, infine, da quest'ultimo impiegato per risarcire il proprietario espropriato e gli aventi diritto.

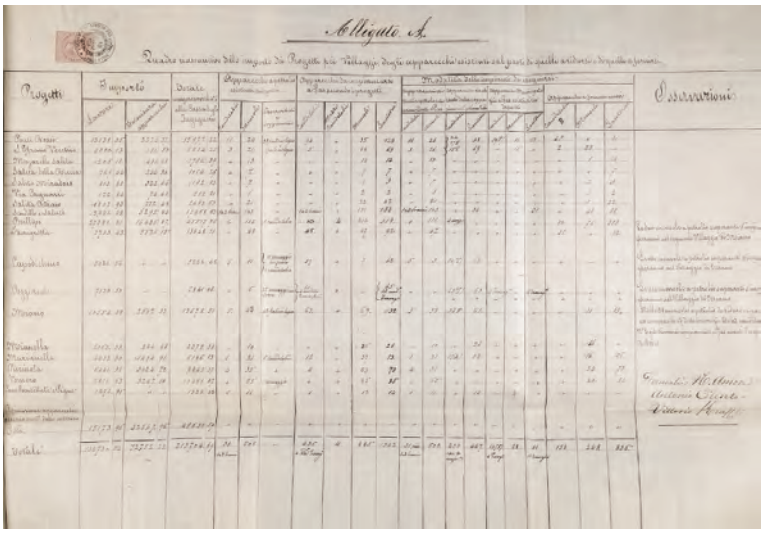
Da ricordare, inoltre, che, già a partire dalla seconda metà del XIX secolo, a Napoli e nei suoi dintorni erano sorte numerose officine e fonderie tra cui si citano Delamorte (1847), Guppy and Co. (1853) e Arena & Esposito (1875). Comparvero sul territorio nuove tipologie urbane realizzate in ghisa tra cui recinzioni, panchine, cancellate e candelabri artistici. Quest'ultimi, dalle eleganti sezioni circolari, mostravano alla base decorazioni allegoriche, con diretti richiami alla storia della città, e terminavano con elementi costituiti da una lampada sorretta da un pastorale. A oggi, presso la Corte ottagonale del Real sito di Portici, sono presenti quattro esemplari.

Ancora, dal progetto per l'illuminazione del Corso Vittorio Emanuele, realizzato nel 1869 dalla Compagnia Napoletana di Illuminazione a Gas, si evince una dettagliata descrizione del fanale maggiormente utilizzato in quegli anni. In tal senso, il candelabro proposto si presentava terminante con un solo corpo luce, alimentato a gas, con un palo ad altezza ridotta e composto da un beccuccio e delle staffe su cui poggiava la scala utilizzata per l'accensione (Bazzocchi, 2007).

Nel 1885, il sindaco Nicola Amore pose una nuova condizione che definì necessaria per il rinnovo del contratto di concessione per la pubblica illuminazione. Il Sindaco richiedeva, infatti, l'abbassamento del prezzo per il consumo del gas e la sperimentazione del nuovo sistema elettrico. Il 27 dicembre del 1885, fu firmata, così, la nuova convenzione tra il Municipio e la Compagnia Anonima di Illuminazione a Gas della Città di Napoli. Come indicato nel contratto, la Compagnia si assunse, tra l'altro, l'obbligo di illuminare a gas i villaggi annessi alla città di Napoli.

In Figura 1 è riportata la pianta della città di Napoli allegata al contratto e in Figura 2 è mostrato il quadro riassuntivo dell'importo dei progetti per la periferia.

Fig. 1 - Pianta della città di Napoli allegata al contratto di concessione alla Compagnia Napoletana per l'illuminazione a gas della gestione e del riscaldamento della città, 1885.



Allegato A.

Fig. 2 - Quadro riassuntivo dello importo dei progetti pei villaggi, degli apparecchi esistenti sul posto di quelli a ridursi e di quelli a fornirsi, 1889.

Le trasformazioni urbane e la transizione verso l'illuminazione elettrica

Nel 1890, con le delibere del 19 luglio e del 18 agosto, la Società Generale ottenne, con stipula avvenuta il 27 dicembre presso il notaio Luigi Carnevale, la concessione per il sistema di illuminazione elettrica della Galleria Umberto I, in Figura 3, e del Teatro San Carlo, con lampade ad arco. In linea con il parere positivo precedentemente espresso dal Consiglio Tecnico e dalla Direzione Tecnica municipale, ferma restando la deliberazione del 30 aprile 1892 riguardo l'illuminazione elettrica del tunnel a Piedigrotta e della galleria dei Tram, proposta dall'ingegnere Eugenio Vitale, si approvò l'impianto di illuminazione a luce elettrica anche per «le via e piazze del Rettifilo (Corso Re d'Italia) e per la piazza dell'Unità Italiana […]»[3].

Nonostante in un primo momento la Compagnia di Illuminazione a Gas, invocando le precedenti concessioni del 1862 e del 1885, avesse impugnato la validità del nuovo contratto tra la Società Generale e il Municipio di Napoli, la Società Generale di Illuminazione riuscì a proseguire la sua attività parallelamente a quanto aveva operato fino ad allora la Compagnia. Il passaggio al sistema di illuminazione elettrica si presentava competitivo in termini di efficienza energetica e, soprattutto, costi di gestione e manutenzione. Così, alla luce di detti vantaggi, il 17 dicembre del 1894, si formalizzò il primo accordo per l'illuminazione elettrica di Piazza Unità d'Italia, oggi Piazza Garibaldi, con le relative arterie di collegamento verso la chiesa di San Giuseppe e Piazza Municipio, e la galleria tramviaria di Fuorigrotta.

«[…] la Piazza della Ferrovia centrale deve essere inclusa in tale progetto di illuminazione non solo perché in gran parte di essa piazza rientra nei piani di Risanamento onde è stata ampliata e rettificata ma ancora formare un tutto armonico coordinato»[4]. La nuova arteria «diventa un ingresso d'onore e la stazione vede ribaltata la sua originaria qualifica di confine tra due realtà urbane - il nucleo murato e la periferia dilatata- proponendosi quale fulcro visivo e funzionale dei principali assi di penetrazione cittadina» (Cirillo, 2010, p. 45).

Su dette premesse e con occhio rivolto a quanto stava accadendo nelle altre città d'Italia, soprattutto a Milano, dove già a partire dal 1877 nella notte tra il 17

Fig. 3 - Impianto di pubblica illuminazione a Napoli (Archivio Italgas, s.d.).

e il 18 marzo vi era stato un primo esperimento di illuminazione elettrica in piazza Duomo, (Lapini, 2021), si giunse, il 17 dicembre 1894 alla nuova convenzione tra il Municipio e la Società Generale regolamentando, altresì, il precedente rapporto con la Compagnia di Illuminazione a Gas[5]. Quest'ultima riconosceva che la concessione esclusiva, ottenuta nei precedenti contratti del 1862 e del 1885, decadeva nel caso in cui si fossero insediate sul territorio tipologie di impianto differenti da quella a gas e si impegnava, al contempo, a sopprimere, entro il 1903, tutte le condutture aeree realizzate. A partire dalla decorrenza del nuovo contratto, ovvero il 1° gennaio 1895, la Compagnia si impegnava, altresì, a ridurre il prezzo della fornitura da 1,20 lire per kilowattora a 0,80 centesimi di lire per kilowattora.

Al di là delle eterogenee indicazioni relative ai tempi di concessione, alle modalità di impianto e ai costi del servizio, è emblematico quanto il capitolo dell'illuminazione pubblica abbia dialogato e modificato il disegno della città di Napoli in termini di decoro urbano, sviluppo delle infrastrutture, espansione delle nuove aree residenziali e delle zone industriali, soprattutto a seguito dell'insediamento dei gasometri nell'area orientale della città.

Conclusioni

L'evoluzione del sistema di illuminazione pubblica della città di Napoli, ha rappresentato un importante momento nel più ampio processo di configurazione della "forma urbana" in termini di sviluppo urbanistico-territoriale, infrastrutturale e decoro. Non a caso, i primi sistemi di illuminazione pubblica, a partire da quelli a olio, hanno interessato, nella prima metà del XIX secolo, le residenze reali per integrarsi sinergicamente, alla fine del secolo stesso, con i significativi interventi di trasformazione urbana. Con il passaggio al sistema di illuminazione a gas, da cui l'insediamento degli opifici e la canalizzazione della distribuzione della nuova risorsa energetica, si è verificato «il consolidarsi di due poli urbani, coerentemente con le direttive del tempo: da un lato la città borghese, verso occidente, dall'altro la nascente area industriale, verso oriente, polarità che ancora oggi si riscontrano nell'assetto urbano della città» (Treccozzi, 2018).

La conversione al sistema elettrico, infine, intercettando e fiancheggiando Piazza dell'Unità Italiana, Corso Re d'Italia oggi Corso Umberto, dai napoletani detto "Rettifilo", Piazza Municipio, in Figura 4, Piazza Depretis, Piazza Garibaldi e il traforo del *tramway* di Pozzuoli, tutte aree fortemente modificate dai significativi interventi di demolizione e ricostruzione avviati in città dal Piano di risanamento e ampliamento, si integra perfettamente con il processo di trasformazione urbana che ha portato alla definizione della Napoli moderna. "Città moderna" quale «prodotto di una consapevole adesione della cultura urbanistica locale alle istanze nazionali di salubrità urbana, che intendevano coniugare progresso scientifico e prosperità economica con il benessere collettivo e sociale» (Parisi, 2001, 54).

Fig. 4 - Impianto di pubblica Illuminazione a Napoli (Archivio Italgas, s.d.)

Bibliografia

Bazzocchi L. 2007. Il Golfo illuminato. Arredo&città, 1, 30-32.

Cirillo O. 2010. La "grandiosa" stazione della Napoli postunitaria, In: *La stazione centrale di Napoli. Storia e architettura di un palinsesto urbano* (a cura di C. Lenza). Napoli: Electa.

Compagnia napoletana gas (a cura di). 1962. *Le compagnie del gas in Napoli nel centenario della sua costituzione, 1862-1962.* Napoli: L'arte tipografica.

Cutolo A. 1928. *L'illuminazione pubblica a Napoli alla fine del XVIII secolo*. Napoli: R. Tipografia Francesco Giannini & figli.

Del Curto D., Landi A. 2008. Gas-light in Italy between 1700s & 1800s: a history of lighting. In: *The culture of energy.* Newcastle: Mogens Rüdiger - Cambridge Scholars Publishing.

Di Rauso F. 2008. Una medaglia d'argento per Napoli la prima città italiana ad avere l'illuminazione pubblica a gas. Panorama Numismatico, 234.

Lapini G. 2021. *Milano tecnica: alle radici del vivere moderno*. Milano: L'Onda.

Lizza A. 2008. Storia dell'illuminazione a gas nella città di Napoli. In: *Atti del II Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino), II, 1183-1192. Napoli: Cuzzolin Editore.

Lizza A. 2022. Le officine del gas e i gasometri di Napoli. *In: Proceedings of the 5th International Conference on History of Engineering - Atti del 9° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino), II, 943-950. Napoli: Cuzzolin Editore.

Parisi R. 2001. Verso una città salubre. Lo spazio produttivo a Napoli tra storia e progetto. Meridiana, 42, 53-74.

Treccozzi D. 2018. La conquista della notte: l'illuminazione a gas a Napoli tra programmi urbani e logiche imprenditoriali,1839-1893. In: *La città altra. Storia e immagine della*

diversità urbana: paesaggi dei privilegi e del benessere, dell'isolamento, del disagio, della multiculturalità (a cura di F. Capano, M. I. Pascariello e M. Visone), 1601-1610. Napoli: FedOA.

Note

[1] Torino, Archivio Italgas, NAP/500 47. B 2.3, *Concessioni varie per l'appalto dell'illuminazione a gas in Napoli*, 1962, Archivio Notarile Superiore di Napoli, n. 268, 13/12/1838.

[2] Torino, Archivio Italgas, NAP/500 47. B 2.3, *Concessioni varie per l'appalto dell'illuminazione a gas in Napoli*, 1962, Archivio Notarile Superiore di Napoli, n. 207, 12/05/1862.

[3] Torino, Archivio Italgas, NAP/500 47. B 2.3, *Concessioni varie per l'appalto dell'illuminazione a gas in Napoli*, 1962, Archivio Notarile Superiore di Napoli, n. 3128, 17/12/1894.

[4] Torino, Archivio Italgas, NAP/500 47. B 2.3, *Concessioni varie per l'appalto dell'illuminazione a gas in Napoli*, 1962, Archivio Notarile Superiore di Napoli, n. 3128, 17/12/1894.

[5] Contratto stipulato tra il Sindaco di Napoli Carlo Del Pezzo, Leopoldo Persico, Vittorio Krafft, quale presidente del consiglio di amministrazione e direttore della *Compagnia Napolitana d'Illuminazione e scaldamento col Gas*, e Giovanni Meuricoffee in qualità di vicepresidente del Consiglio di amministrazione della *Società Generale per l'illuminazione.*

Francesco Caputo, Paolo Magaldi Jr

Le Supercinghie di Paolo Magaldi

Leather driving belts by Paolo Magaldi

Sommario
Questo lavoro descrive l'invenzione delle innovative cinghie di cuoio per la trasmissione di potenza meccanica che fu opera di Paolo Magaldi negli anni trenta del secolo scorso. Si tratta di un artefatto costituito da una serie di strisce lunghissime di cuoio collegate tra loro mediante rivettatura che poteva assumere una vastissima gamma di dimensioni nella sua sezione retta, in assoluta indipendenza dalle dimensioni naturali delle pelli di cuoio di bufalo impiegate nella fabbricazione. È di particolare interesse considerare che l'invenzione fu ispirata da antesignani e basilari precetti di affidabilità strutturale per la prevenzione delle rotture per carichi di fatica, quali la ripartizione del carico su numerosi elementi collaboranti, il cosiddetto "effetto fune", l'incidenza dell'effetto grandezza nella propagazione delle lesioni e la capacità, dovuta alla particolare morfologia, di immagazzinare elasticamente lavoro di deformazione per attenuare gli effetti delle punte di carico Sia la cinghia, sia la macchina per praticare il taglio gli elementi costitutivi in cuoio furono ideati e brevettati da Paolo Magaldi che, con la collaborazione di suo padre Eduardo, fu innovatore non solo del prodotto, ma anche del suo processo di fabbricazione.

Abstract
This paper describes the invention of the innovative leather belts for the transmission of mechanical power which was the work of Paolo Magaldi in the 1930s. It is an artefact made of a series of very long strips of leather connected to each other by riveting which could take on a very wide range of dimensions in its straight section, in absolute independence from the natural dimensions of the buffalo leather hides used in manufacturing. It is of particular interest to consider that the invention appears inspired by forerunner sand basic precepts of structural reliability for the prevention of breakage due to fatigue loads, such as the distribution of the load on numerous collaborating elements (rope effect), the incidence of the greatness in the propagation of the lesions and the ability of elastically storing deformation work due

to the particular morphology, in order to attenuate the effects of the load peaks. Both the strap and the machine for cutting the leather constituent elements were designed and patented by Paolo Magaldi, who was an innovator of both the product and its manufacturing process, in collaboration with his father Eduardo.

Introduzione

La trasmissione della potenza meccanica negli opifici industriali, da un motore primo alle macchine operatrici, rappresenta una tipologia di alimentazione che ebbe inizio intorno alla fine del secolo diciannovesimo e durò fino agli anni sessanta del ventesimo secolo. Gli organi di trasmissione erano le cinghie in cuoio bovino che, con una configurazione ad anello chiuso, andavano da una puleggia, collegata a un albero situato in alto, ad un'altra puleggia, collegata all'operatrice. La numerosità di questi collegamenti era tale che gli impianti apparivano "foreste di cinghie", come mostrato in Figura 1.

Questo contributo riguarda una particolare soluzione costruttiva per le cinghie di cuoio che fu sviluppata a Buccino, in provincia di Salerno.

Il protagonista

Paolo Magaldi, figlio di Eduardo Francesco Maria e di Maria Antonietta Lenzi, nacque il 25 aprile del 1901 a Buccino, storica cittadina della Campania, che prima dell'Unità d'Italia apparteneva al Principato Citra. Discendeva da una stirpe di artefici[1] che per antica tradizione avevano sempre realizzato prodotti meccanici come orologi da torre e serrature, armi bianche e da fuoco, utensili e strumenti da lavoro per l'agricoltura e, ancora, torchi per la lavorazione del vino, pompe a spalla per irrorare vigneti e ulivi e gassogeni sicuri e facili da usare per produrre e distribuire l'acetilene destinato all'illuminazione di abitazioni e di edifici di uso pubblico comunitari come scuole, collegi, conventi, ospedali e, alberghi, etc. Con il passare degli anni, questi pregevoli manufatti artigianali erano divenuti ben noti non solo nel circondario, ma anche fuori dalla Campania, perché erano sempre ben concepiti, fatti per durare a lungo e lavorati con la massima cura, impiegando materiali di prima scelta[2].

Fin da giovane, Magaldi seguì la naturale vocazione familiare e nutrì sempre il proposito non solo di onorarla, ma anche di adeguarla opportunamente ai tempi e alle esigenze dell'industria, che in Europa e negli Stati Uniti d'America già era ben consolidata e mostrava promettenti prospettive di crescita. Mai venne meno a questo convincimento e riuscì a realizzare il sogno di dar vita a una vera e propria industria che offrisse concrete possibilità di lavoro e di sviluppo ai giovani della sua terra natia. In più, ebbe la capacità di rendere "darwiniana"[3] la sua attività imprenditoriale senza mai rinunciare ai valori della tradizione familiare. In questo contesto, nuove sfide s'imponevano come basilari e irrinunciabili: creatività, innovatività, diversificazione della gamma produttiva e necessità di difendere con brevettazione

Fig. 1 - Impianti produttivi alimentati con trasmissioni a cinghie (Caputo, 2019).

la proprietà intellettuale dei prodotti erano fondamentali per sviluppare la propria attività industriale senza soccombere alla concorrenza. Ma ciò che più colpisce nel ripercorrere il cammino della vita lavorativa di Magaldi è il costante e inflessibile impegno ch'egli sempre dimostrò per garantire ai clienti destinati a utilizzarli la massima affidabilità non solo delle cinghie di trasmissione, ma anche degli altri beni strumentali ch'egli ideò e realizzò nel corso della sua vita. Occorre aggiungere che comprese molto bene la necessità di stabilire fattivi rapporti con altre imprese italiane e straniere per confrontarsi e per collaborare con esse e fu anche convinto dell'opportunità di far ricorso a Università e Centri di Ricerca per verificare la fattibilità delle proprie idee. A queste capacità, altre ancora ne aggiunse, come quella di saper sviluppare una originale politica di penetrazione sul mercato basata sulla chiarezza e sulla forza della comunicazione tecnica: seppe anche essere efficace redattore dei testi, elegante grafico e valido *designer*. Ma il suo merito maggiore, anche alla luce di quanto è poi avvenuto dopo di lui, è nell'aver intuito che la principale caratteristica dei suoi prodotti dovesse essere non solo l'efficienza ma, come accennato, anche l'affidabilità; di quest'ultima, superandone la semplice intuizione, divenne convinto al punto che sempre rivendicò il primato che nessuna delle sue Supercinghie avesse mai subito una rottura di schianto. Fu altresì capace di fornire di questo suo vanto chiara e convincente documentazione ai suoi clienti nei notiziari tecnici che puntualmente inviava loro con continuità.

Magaldi iniziò a lavorare attivamente fin da giovane. Nel giugno del 1919, a un anno dalla conclusione della Prima Guerra Mondiale, aveva concluso con pieno merito i suoi studi di perito Elettromeccanico all'Istituto Alessandro Volta di Napoli.

Nonostante le gravi difficoltà sociali e le ristrettezze economiche causate dall'impossibilità di riconvertire l'industria bellica alle esigenze del tempo di pace negli anni che seguirono la conclusione della prima guerra mondiale, Paolo trovò lavoro

come tracciatore di lamiere nella grande impresa industriale inglese Armstrong[4] che, dalla fine del XIX secolo, era insediata a Pozzuoli, sul mare, e produceva meccanica pesante, in prevalenza pezzi di artiglieria di grosso calibro con il relativo munizionamento, destinati all'armamento navale. Il suo lavoro alla Armstrong non durò a lungo poiché ebbe una nuova offerta di lavoro dalla SME, Società Meridionale di Elettricità, che a quel tempo produceva e distribuiva nel Mezzogiorno d'Italia energia elettrica quasi del tutto prodotta da fonti idriche.

Per questo suo nuovo incarico Paolo si trasferì a Pertosa, nella zona carsica del Vallo di Diano, ai piedi del monte Intagliata, presso la centrale idroelettrica dell'Angelo, che sfruttava l'acqua sorgiva all'interno di una delle più interessanti grotte[5] scavate nell'Alburno dalle acque del fiume Negro nel corso dei millenni. In breve tempo, Paolo approfondì la conoscenza di ogni parte della centrale idroelettrica di cui era responsabile e ben presto imparò a tenerla in perfetta efficienza e sempre in ordine. L'impegno di svolgere il suo lavoro, però, non gli impedì mai di continuare a studiare libri di meccanica e di economia e di riflettere con speranza e con intensità sul suo futuro. Il ruolo cui era stato destinato, pur gratificante, non valeva però ad acquietare le sue ambizioni e a scalfire le certezze su ciò che avrebbe ben presto voluto realizzare. Il suo sogno, come detto, era intraprendere a Buccino una propria attività industriale, in cui utilizzare le moderne tecnologie, come sempre più si verificava in Europa e nel mondo, e impiegare maestranze della sua terra, per portare una ventata di benessere e un germe di speranza dove c'erano sempre stati solo il duro lavoro dei campi e la povertà dolente di chi atavicamente viveva con poche speranze o senza averne affatto, ma pur sempre con grande dignità.

Nel 1929, dopo essere riuscito a mettere da parte un po' di denaro, Magaldi prese l'irrevocabile decisione di rinunciare all'impiego presso la SME. Era certo di poter compiere questo passo perché aveva tanta fiducia in se stesso e confidava in un futuro che gli avrebbe riservato ciò che aveva sempre desiderato: la libertà d'inventare e di fare.

Le Supercinghie di Paolo Magaldi

Magaldi aveva a lungo meditato la sua idea innovativa e ambiziosa: produrre e immettere sul mercato una nuova cinghia di trasmissione per l'azionamento delle macchine operatrici che evitasse del tutto gli inconvenienti di quelle tradizionali diffusamente impiegate a quel tempo. Il suo principale riferimento furono le cinghie di cuoio ideate nell'anno 1900 e successivamente brevettate da suo zio Emilio Magaldi, che erano conosciute e impiegate prevalentemente all'estero. Emilio Magaldi, infatti, aveva ceduto i suoi brevetti in Spagna, dove ne era stata licenziataria l'Industria de Cuero Armado, e in Francia dove erano prodotte dalla G. Getting et A. Jonas (Getting e Jones, 1910)[6].

Le cinghie ideate da Emilio Magaldi, fatte di elementi sottili, presentavano alcuni inconvenienti: il primo era originato dalle dimensioni naturali delle pelli bovine, che

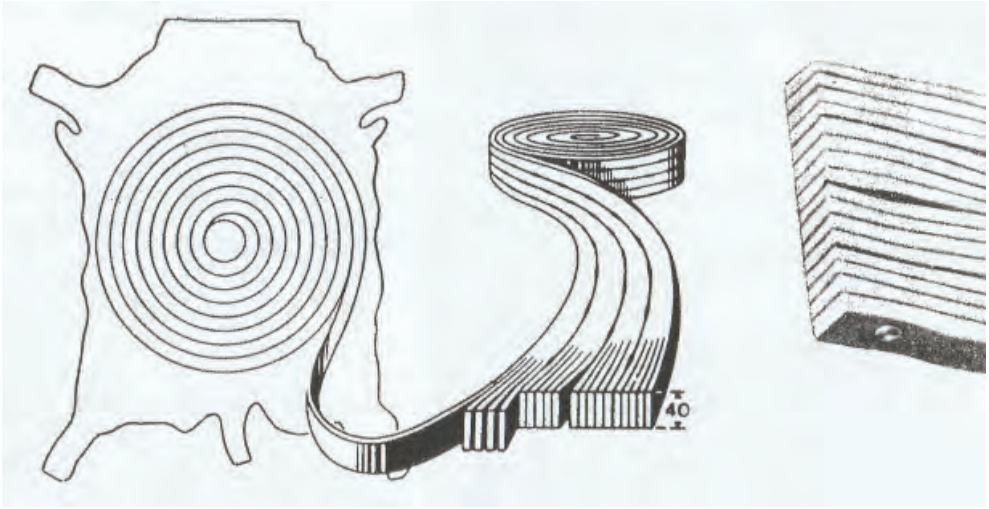


Fig. 2 - Schema del taglio a spirale con la giunzione delle strisce di cuoio.

consentivano di comporre sia le cinghie piane realizzate collegando tra loro liste sottili nel senso della larghezza[7], sia quelle ottenute mediante la giunzione di fasce di cuoio di lunghezza inferiore a 2 m, fino a raggiungere la dimensione richiesta; queste ultime, maggiormente diffuse, richiedevano una opportuna preparazione dei lembi da sovrapporre e rendere solidali fra loro con incollaggio e cucitura. Il secondo inconveniente derivava dal fatto che il più delle volte le cinghie cedevano di schianto allorquando in uno qualsiasi dei loro elementi, a causa di un difetto preesistente o di un danno accidentale, si verificava l'innesco di una lesione che avanzava trasversalmente fino a quando la sezione residua si riduceva al punto di non resistere più al carico di trazione agente. Un ulteriore inconveniente di questa stessa tipologia di cinghie si verificava nella trasmissione di potenze di rilevante entità; in tali casi, vista l'impossibilità di far ricorso a pulegge ingombranti e pesanti con eccessive larghezze di contatto con la cinghia, per ottenere una sezione resistente sufficiente era necessario aumentare lo spessore sovrapponendo due o più fasce di cuoio per renderle collaboranti tra loro e le sollecitazioni flessionali affaticanti dovute alla deformazione imposta al cingolo nel ciclico passaggio sulle pulegge, tendevano a recidere i collegamenti impiegati per rendere solidali fra loro gli spessori di cuoio sovrapposti.

Le cinghie che Paolo Magaldi intendeva realizzare, invece, sarebbero state costituite da strisce di cuoio lunghissime, ricavate dalla pelle intera del bufalo con un taglio a spirale, partendo dall'esterno verso l'interno, come mostrato in Figura 2, riducendo quasi completamente gli scarti. La cinghia sarebbe stata quindi composta da un serie di strisce lunghe, affiancate e collegate tra loro e questo avrebbe garan-

Fig. 3 - Cinghie di trasmissione per potenze particolarmente elevate.

tito la collaborazione di numerosi elementi capaci di resistere come i fili nei trefoli di una fune; l'eventuale rottura di uno dei tanti elementi lunghi e sottili che costituivano la cinghia sarebbe stata facilmente sopportata senza fermare l'impianto, rinviando la riparazione alla prima manutenzione in programma. Inoltre, gli elementi di piccole dimensioni, utilizzabili anche per cinghie per trasmissione di potenze assai rilevanti, fino a quattromila cavalli, come mostrato in Figura 3, utilizzavano l'incidenza dell'effetto grandezza nella propagazione delle lesioni e, grazie alla particolare morfologia, mostravano la capacità di immagazzinare lavoro di deformazione nell'attenuare gli effetti anche in presenza di elevate punte di carico, come mostrato in Figura 4. Poiché erano costituite da numerosi lacciuoli collaboranti fra loro, le cinghie avrebbero potuto essere realizzate con un'ampia gamma di spessori, dal momento che la larghezza di taglio degli elementi era destinata a fungere da spessore dell'intera cinghia

Fig. 4 - Pubblicità della Supercinghia Magaldi in cui sono evidenziate le ondulazioni generate dai collegamenti tra le liste di cuoio che assicuravano al cingolo la possibilità di subire significative deformazioni in lunghezza, provocando altresì una contrazione nel senso della larghezza.

assemblata. Considerata la lunghezza degli elementi in cuoio, sarebbe stata necessaria una sola giunzione per ottenere la chiusura ad anello dell'intera cinghia. Rispetto a quelle costituite da fasce di cuoio giunte mediante cucitura e incollaggio, queste cinghie sarebbero state assolutamente indenni dalle rotture di schianto, particolarmente dannose poiché non solo interrompevano il processo produttivo, ma spesso causavano anche danni alle parti in lavorazione o alle attrezzature delle macchine operatrici, e avrebbero avuto un coefficiente d'attrito più favorevole ai fini della trasmissione della potenza meccanica, poiché la superficie della cinghia che veniva a contatto delle pulegge era quella costituita dai lacciuoli tagliati nello spessore del cuoio. In sintesi, queste cinghie, una volta realizzate, sarebbero state veramente delle "Supercinghie": era questo, infatti, il nome che Magaldi aveva prescelto per loro.

Nella descrizione del brevetto della Supercinghia Magaldi che Paolo depositò nel 1932 si legge «La presente invenzione ha per oggetto una cinghia di cuoio, per trasmissione, che non presenta nel senso della sua lunghezza tra i suoi due capi alcuna soluzione di continuità o giuntura, quali che siano le sue dimensioni, a differenza di tutte quelle fino a oggi realizzate».

La nuova Supercinghia Magaldi fabbricata a Buccino era un prodotto ben concepito, ancor meglio realizzato e soprattutto, dal punto di vista economico, più conveniente, tenendo conto dell'affidabilità in esercizio e della durata. Arrivarono i primi ordini e la fabbrica che da poco era nata cominciò a lavorare per le prime consegne; l'industria italiana attraversava allora un periodo di moderata espansione e il mercato era in favorevole crescita. In poco tempo Paolo conquistò la fiducia di altri clienti e le ordinazioni presero ad aumentare. Grazie alla sua affidabilità e alla sua durata, la Supercinghia Magaldi sarebbe stata ancor più conveniente sotto il profilo economico nei casi in cui vi fosse stata l'esigenza di trasmettere potenze particolarmente rilevanti.

Già allora Magaldi aveva concepito una strategia innovativa di conquista del mercato, che richiedeva innanzitutto chiarezza tecnica e verità, oltre che costanza e precisione. I prodotti da perfezionare e da realizzare sarebbero stati destinati a clienti in grado di giudicarli solo in base agli oggettivi e incontrovertibili dati tecnici delle loro prestazioni: efficienza, durata, convenienza economica, riduzione della rumorosità. Anche suo padre, Eduardo Francesco Maria, era stato sempre chiaro ed esauriente nel concepire e realizzare i cataloghi e le informazioni tecniche puntualmente inviate ai suoi clienti, perché voleva che questi si mantenessero fedeli a lui nel tempo. La differenza, questa volta, era che i clienti da raggiungere e da conquistare erano in numero molto maggiore, poiché la dimensione cui Paolo mirava sarebbe stata quella di una vera e propria industria e non quella di un opificio artigianale. Le caratteristiche tecniche che Paolo Magaldi descriveva nelle sue note informative ai clienti esprimevano con chiarezza i vantaggi di resistenza e di affidabilità che le sue Supercinghie garantivano.

Da quel lontano 1931 molto tempo è passato, ma da allora, fino ad oggi, il perseguimento degli stessi essenziali requisiti è sempre stato obiettivo prioritario nella Magaldi.

Innovazione di processo per l'innovazione del prodotto

Paolo Magaldi e suo padre Eduardo Francesco Maria avevano lavorato insieme per realizzare la macchina che avrebbe consentito di ricavare dalla pelle intera lunghissimi elementi nastriformi di cuoio: padre e figlio per innovare il prodotto avevano compiuto anche l'innovazione dello strumento produttivo.

La macchina costruita dalle mani abilissime di Eduardo pezzo per pezzo e sottoposta, dopo il montaggio, a qualche ulteriore intervento migliorativo e a un'accurata messa a punto, eseguì alla perfezione il taglio delle liste di cuoio destinate alla produzione della prima Supercinghia Magaldi.

Il disegno originale della macchina eseguito a matita da Paolo è riportato in Figura 5. È del tutto evidente che si tratta di un meccanismo essenziale, improntato alla massima semplicità, concepito per svolgere con piena efficacia la sua funzione e, al tempo stesso, robusto e affidabile.

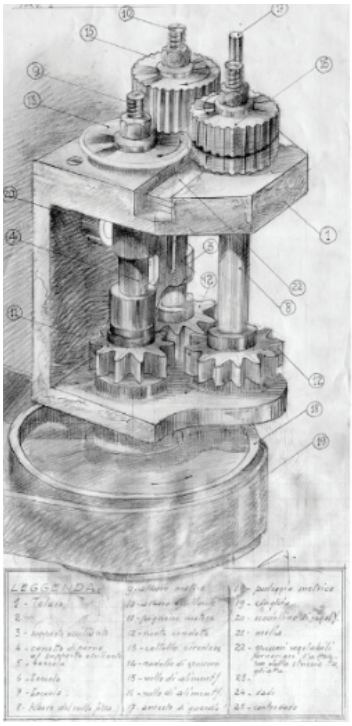


Fig. 5 - Disegno originale della macchina per tagliare lunghe liste di cuoio a spirale dalla pelle bovina.

Conclusioni

Dopo più di novant'anni l'invenzione di Paolo Magaldi, atta a innovare insieme prodotto e processo di fabbricazione, è ancora tenuta in funzione nell'antica fabbrica che ancora esiste sul colle di Buccino ed è ancor oggi nello stato in cui si trovava più di sessant'anni fa. Viene usata per produrre cinghie da utilizzare come nastri trasportatori destinati alla movimentazione tra i reparti di materiali taglienti, fragili o particolarmente delicati: non esiste al mondo un nastro capace di accogliere e di trasportare con altrettanta affidabilità lamiere o elementi stampati di particolare pregio come parti di carrozzeria di automobili. Tutto, nell'antico opificio, è stato lasciato com'era ai tempi di Paolo Magaldi: nessuno ha mai avuto l'ardire di dismettere la sua fabbrica delle cinghie composte di lunghi lacciuoli, perché si tratta di un luogo che serve a preservare, insieme alla storia dell'impresa, anche i valori ideali che legano i Magaldi di ieri, attraverso quelli di oggi, a quelli del futuro. Chissà che un giorno quel capannone non divenga un vero

e proprio museo-laboratorio dove, nel rievocare una bella storia di uomini orgogliosi e consapevoli, si possa ancora tagliare dalla grande pelle del bufalo che vive nella valle del Sele la lunghissima striscia di pelle, partendo dalla sua parte esterna e procedendo nel taglio a spirale verso il centro. E poi, dopo averla tutta forata secondo la lunghezza, si possa mostrare come, affiancandola alle altre, tutte insieme esse vadano collegate con i rivetti per ottenere un cingolo morbido e flessibile, resistente ai carichi, ai tagli e alla fatica, destinato a movimentare con estrema sicurezza i prodotti più delicati e costosi. Un manufatto piacevole al tatto, che porta il buon odore del cuoio e che è anche bello da vedere, come tutto ciò che l'uomo riesce a realizzare con perfetti requisiti di funzionalità e originalità.

Ringraziamenti
Gli Autori esprimono particolare riconoscenza all'ing. Giuseppe Perrotta per la preziosa collaborazione loro assicurata.

Bibliografia
Caputo F. 2019. *I Magaldi inventori e innovatori dalla terra degli ulivi alla competizione globale*. Soveria Mannelli: Rubbettino Editore.
Caputo F. 2014. L'industria meccanica nel Mezzogiorno d'Italia. In: *Storia della Meccanica*, I, 237-311. Pavia: University Press.
Getting G., Jonas A. 1910. *Tanneries. Chrome&Chene*. Courroies titan en cuir armé, brevetées scdg, courroies geji en cuir chromé et en cuir tanné, cuirs industriels emboutis, galets, engrenages, cuirs verts. Saint Denis sur Seinne: Au siège de la societé.

Note
[1] La storia della famiglia e delle sue invenzioni è riportata in (Caputo, 2019).
[2] Due particolari abitudini hanno sempre caratterizzato le attività della famiglia Magaldi nel corso degli anni: la prima è la brevettazione, per la salvaguardia della proprietà intellettuale, la seconda è la minuziosa cura dimostrata durante due secoli nel conservare ogni documento utile a descrivere e a comprovare l'impegno e i risultati delle proprie attività produttive. I documenti raccolti costituiscono un fondo che è di tale interesse per la Storia dell'Industria nel Mezzogiorno d'Italia da essere stato sottoposto alla disciplina del Decreto N. 42 del 22 gennaio 2004 dal Ministero per i Beni e le Attività culturali, della Repubblica Italiana, Soprintendenza archivistica per la Campania, il 17 luglio , Prot. 3447, Titolo IV, 1.2009.
[3] Definizione impiegata per raccontare di aziende industriali meridionali capaci di gestire i cambiamenti imposti dal mercato modificando la gamma produttiva e perfino di trarne vantaggio (Caputo, 2014).
[4] Divenuta poi Armstrong-Breda.
[5] La Grotta di Pertosa, detta anche dell'Angelo o di S. Michele è una delle più importanti cavità ipogee dell'Italia Meridionale. Ha una lunghezza complessiva esplorata nelle varie diramazioni, di 2560 m ed è ricca di stalattiti e stalagmiti che costituiscono una successione di viste sempre nuove e suggestive.

[6] Nella prefazione del catalogo della G. Getting & A. Jonas tanneries, chrome et chêne (Getting e Jonas, 1910) si legge: «*Notre Maison a etè fondee en 1902 pour l'exploitation generale des Procédes Magaldi et la fabrication des courroies perfectionnées, Marque Titan, si connues maintenant des Industrielles*».

[7] Rispetto alle altre in commercio all'epoca, le cinghie di Emilio Magaldi, pur richiedendo una molteplicità di giunzioni nel senso della lunghezza, avevano il vantaggio che queste ultime erano sfalsate tra loro in modo da evitare che capitassero tutte nella stessa sezione.

Gigliola Ausiello, Francesco Sommese

Dalle miscele cementizie alle superfici architettoniche in pietra. Applicazioni con biossido di titanio tra storia recente ed evoluzione

From cement mixtures to architectural stone surfaces. Titanium dioxide applications between recent history and evolution

Sommario

Nel panorama internazionale, gli obiettivi di riduzione dei consumi energetici e di sostenibilità ambientale richiedono strategie, tecnologie e materiali innovativi, capaci di reagire agli stimoli ambientali. Questo articolo traccia un percorso evolutivo delle applicazioni del biossido di titanio sulle superfici di edifici nuovi ed esistenti in modo da tracciare la storia di una tecnologia, che fa seguito a una scoperta del 1967, che si deve al professore Akuira Fujishima dell'Università di Tokyo. Calcestruzzi e rivestimenti contenenti nanoparticelle di biossido di titanio guadagnando un comportamento attivo, rendendo il materiale intelligente ovvero capace di reagire agli stimoli luminosi, attraverso reazioni attivate dalla luce che avvengono su scala nanometrica. Le condizioni di super-idrofilia alternate a quelle di super-idrofobicità sotto l'irraggiamento solare rendono i materiali autopulenti e antinquinamento, si veda la Figura 1. Nel 1996, si progetta la Chiesa Dives in Misericordia, opera di Meier realizzata nel 2003 nella periferia di Roma, che costituisce un'applicazione emblematica di calcestruzzo autopulente e antinquinante. Pochi anni dopo, si definiscono nuovi orizzonti di ricerca e questa nanotecnologia guadagna sperimentazioni e applicazioni nel campo dei beni culturali, rivedendo significativamente il concetto di minima invasività. Partendo dalle reazioni fotochimiche naturali, non visibili a occhio nudo, vengono descritte alcune applicazioni del biossido di titanio attraverso casi di studio nazionali e internazionali.

Abstract

On the international scene, the goals of reducing energy consumption and environmental sustainability require innovative strategies, technologies, and materials, capable of reacting to environmental stimuli. This paper traces an evolutionary path of the applications of titanium dioxide on the surfaces of new and existing buildings in order to trace the history of a technology, which follows a 1967 discovery by Professor Akuira Fujishima of the University of Tokyo. Concretes and coatings

containing titanium dioxide nanoparticles take on an active behavior, making the material intelligent or capable of reacting to light stimuli, through reactions activated by light that occur on a nanometric scale. The conditions of super-hydrophilicity alternating with those of super-hydrophobicity under solar radiation make the materials self-cleaning and anti-pollution. In 1996, the Dives in Misericordia Church was designed, a work by Meier built in 2003 on the outskirts of Rome, which constitutes an emblematic application of self-cleaning and anti-polluting concrete. A few years later, new research horizons were defined and this nanotechnology gained experimentation and applications in the field of cultural heritage, significantly revising the concept of minimal invasiveness. Starting from natural photochemical reactions, not visible to the naked eye, some applications of titanium dioxide are described through national and international case studies.

Introduzione

L'interazione attuata dalle nanoparticelle di biossido di titanio nei composti cementizi è passata alla storia sicuramente esaltata da strategie pubblicitarie che, se hanno contribuito a innescare una fase di conoscenza su una nanotecnologia promettente, dall'altro hanno acceso l'attenzione su materiali e tecnologie *smart*. E mentre si diffondevano le immagini della mela che si conserva più a lungo nel sacchetto contenente materiale fotocatalitico esposto alla luce, nel campo del costruire segnava una svolta il calcestruzzo autopulente della Chiesa Dives in Misericordia, progettata da Richard Meier nel 1996 e realizzata nella periferia di Roma nel 2003. In quest'opera la scelta del bianco non si limita a essere una semplice scelta linguistica, ma una richiesta all'innovazione tecnologica di rigenerare la composizione del calcestruzzo alla scala nanometrica, in modo da rendere questa tecnologia, sia sostenibile che intelligente. Infatti, innovativo è l'effetto autopulente e antinquinante, ottenuto con l'introduzione di nanoparticelle di biossido di titanio nel cemento. Quantità infinitesime di biossido di titanio, per effetto dell'assorbimento di energia luminosa, innescano reazioni fotochimiche attraverso cristalli nanometrici che sono particelle attive per un raggio di azione dell'ordine del micron.

Fig. 1 - Superficie idrofoba e idrofila, marmo bianco di Carrara sporcato e autopulito (dal web).

Fig. 2 - Mela senza e con biossido di titanio, foglie di loto e superfici autopulenti (foto di G. Ausiello e dal web).

La scoperta delle proprietà autopulenti del biossido di titanio si attribuisce al chimico giapponese Akuira Fujishima, professore emerito dell'Università di Tokyo, che le individuò nel 1967, durante il dottorato di ricerca, sotto la supervisione del professor Kenichi Honda. Soltanto nel corso degli anni Novanta, dopo almeno un ventennio di studi, le sperimentazioni si concentrano su un pigmento nanometrico, da impiegare come aggiunta nella polvere di cemento per le sue caratteristiche fisiche e chimiche. Ne consegue che i calcestruzzi e tutti i rivestimenti cementizi, pitture e intonaci, contenenti nanoparticelle di biossido di titanio, pur conservando l'aspetto esteriore, assumono un comportamento attivo nell'efficienza prestazionale, che ha reso possibile il guadagno dell'attributo "intelligente".

Il pigmento bianco più prodotto al mondo, tra l'altro con ridotte emissioni di sostanze inquinanti, si ricava dall'anatasio, minerale in forma cristallina metastabile e quindi più attiva come fotocatalizzatore. Si ricava, per macinazione, dall'anatasio, che, in presenza di radiazione luminosa, cambia la propria configurazione chimica, per cui può assumere due comportamenti con conseguenti prestazioni diverse. L'impulso della luce attiva la fotocatalisi, reazione chimica che perdura finché c'è luce, da cui nasce la definizione di fotocatalizzatore, che si attribuisce comunemente al biossido di titanio, si veda la Figura 2. Si aggiunge nel cemento con percentuali del 5-10% e presenta dimensioni variabili dai 5 ai 30 nanometri.

Reazioni fotochimiche naturali

Le reazioni fotochimiche, attivate dalla luce, avvengono alla scala nanometrica e quindi sfuggono alla percezione dell'occhio umano. La luce non si limita a caratterizzare gli spazi per abitare, ma rende intelligente la materia delle superfici delle facciate e delle pavimentazioni, fino a renderla ecosostenibile. Ne conseguono vantaggi in relazione alla variabilità delle prestazioni nel tempo, in base al variare di un fattore esterno quale la luce. In questa alternanza di prestazioni in condizioni di buio e luce, il concetto di mutevolezza del materiale acquista un nuovo significato che supera quello statico, tipicamente associato ai materiali da costruzione. Infatti, a differenza dei materiali tradizionali, normalmente statici e quindi inerti, materiali

come il biossido di titanio possono definirsi dinamici, ovvero capaci di modificare le proprie proprietà intrinseche e, di conseguenza le prestazioni, in risposta a determinati stimoli ambientali, che possono variare su scala giornaliera o stagionale.

Nel caso del biossido di titanio, l'azione fotochimica indotta dalla luce, per quanto attiene la capacità di rendere autopulente la superficie irradiata dalla luce, si traduce nella modificazione alla scala nanometrica della "rugosità" della superficie del materiale irradiata dalla luce, che passa da una superficie ruvida, super-idrofobica, a una liscia, super-idrofila. La formazione di un sottile film di biossido di titanio è responsabile di una trasformazione con cui la superficie raggiunge condizioni di superidrofilicità, che hanno inizio dopo trenta minuti e terminano dopo circa due ore di esposizione alla luce. In effetti, la ruvidezza della superficie diventa nanometrica per effetto della reazione chimica attivata, venendosi a creare una pellicola che si configura come un reticolo a scacchiera di 60÷80 nanometri di lato, formato da quadrati alternativamente idrofili e idrofobi. Ed è proprio l'alternanza tra le due proprietà a rendere i materiali autopulenti (Tongini Folli, 2007) e intelligenti.

Alla base di questa innovazione c'è l'imitazione della natura, pienamente in linea con la logica di Leonardo, in un'accezione di natura come maestra, celebrata da Leonardo con l'espressione «inventare non significa altro che saper riprodurre» (Galluzzi, 1996, p. 51). Infatti, la capacità di autopulizia è denominata «effetto loto», in relazione al comportamento naturale delle foglie di questa pianta che, immerse in acque fangose, si presentano sempre lucide e pulite. Il meccanismo, fotoindotto naturalmente dalla luce solare, si basa sulla presenza di nanoparticelle naturali sporgenti, che definiscono la superficie della foglia e impediscono alle gocce d'acqua di distendersi. La goccia rimane a rilievo e poggia soltanto su minutissime setole, poi scorre sulla foglia trascinando con sé polveri e insetti, che in tal modo vengono naturalmente rimossi. Non casualmente il bel fiore di questa pianta è fin dall'antichità simbolo della purezza e, pertanto, possiede valenze religiose per gli induisti e i buddisti che lo considerano un fiore sacro. La super-idrofobicità delle foglie di loto funge da vari anni da modello per sperimentare un comportamento che il biossido di titanio, semiconduttore a basso costo, attivato dalla luce, riesce a instaurare sulle superfici costruite, rendendole capaci di impedire che particelle più o meno inquinanti ristagnino per poi essere rimosse dalle gocce d'acqua. La denominazione effetto loto, si trasforma in "effetto Honda-Fujishima", dopo gli studi dei due chimici giapponesi.

All'effetto autopulente se ne somma un altro che consiste nel ridurre smog, batteri, funghi, muffe, microrganismi e gas tossici e maleodoranti, evitandone l'accumulo e la proliferazione. Infatti, il biossido di titanio, induce una reazione fotochimica, la fotocatalisi (Fujishima *et al*., 2000; Khataee e Mansoori, 2011), che si estrinseca in un forte processo ossidativo che favorisce una più rapida decomposizione di sostanze organiche e inorganiche nocive in composti assolutamente innocui, cioè si com-

porta come un acceleratore dei processi di ossidazione che già esistono in natura. In particolare, i monossidi e biossidi di azoto e i composti organici volatili, di ridottissime dimensioni e misurabili quantitativamente in parti per milione, reagiscono con il biossido di titanio fotoattivato, formando acido nitrico, che, in caso di pioggia raggiunge il suolo, con un ulteriore effetto, quello di fertilizzante. In caso contrario, la reazione evolve e si formano sostanze stabili e innocue, quali sali e calcare (Cassar *et al*., 2003). Il vento e qualsiasi azione induca movimento dell'aria influiscono favorevolmente sulla fotocatalisi, nella misura in cui le sostanze inquinanti sono sospinte sulla superficie fotoattiva per essere decomposte.

Entrambi i comportamenti, relativi rispettivamente all'autopulizia e all'antinquinamento, sono la trasposizione di processi naturali. Anche la luce artificiale, mediante sorgenti luminose a radiazione UV, riesce ad attivare i suddetti comportamenti.

Gli agenti inquinanti coinvolti nella reazione di fotocatalisi si distinguono in principali e secondari. I primi sono emessi direttamente dalle sorgenti in atmosfera, ovvero da processi di combustione di qualunque natura, e sono soggetti a diffusione, trasporto, deposizione e trasformazione chimico-fisica, come ad esempio gli idrocarburi incombusti, il monossido di carbonio, gli ossidi e il monossido di azoto e il materiale particellare, che, per quanto di dimensioni micrometriche o submicrometriche, è nocivo se respirato. I secondi si formano a seguito di trasformazioni chimico-fisiche degli inquinanti primari, come ad esempio le reazioni fra gli ossidi di azoto e gli idrocarburi in presenza di luce solare, da cui si formano biossido di azoto, ozono, formaldeide, nitrati e nitroderivati in fase particellare. L'insieme di questi prodotti costituisce lo smog fotochimico, una delle forme di inquinamento più dannose per l'ecosistema, tipica delle aree urbane, specie quelle mediterranee, in cui è innescata dalla radiazione solare intensa e dalla temperatura elevata [1]. Le reazioni naturali di ossido-riduzione richiedono tempi lunghi, perché si ottenga il fine di ridurre le sostanze inquinanti; il biossido di titanio, in sinergia con il cemento, riesce ad accelerare tali reazioni in misura elevata, riuscendo a produrre composti innocui.

La sinergia con il cemento

Le potenzialità offerte da calcestruzzi, intonaci e pitture contenenti cemento fotocatalitico sono particolarmente rilevanti sin dalla scoperta del biossido di titanio, specie per i piccoli centri e le città, in cui lo smog raggiunge livelli eccezionali. Le prime applicazioni sembrano guardare al futuro con una innovazione in cui le nanoparticelle attive di biossido di titanio offrono al calcestruzzo la possibilità sia di accedere al dominio dei materiali intelligenti che di migliorare la qualità dell'ambiente. Quindi, il calcestruzzo tenta il riscatto in termini di sostenibilità ambientale.

Quando l'innovazione entra nella realtà del costruire, sono le scelte di coraggio di alcuni grandi architetti a innescare i cambiamenti. Nel 2003 è Richard Meier a sce-

gliere un calcestruzzo con cemento fotocatalitico per una delle architetture più pregevoli degli albori del terzo millennio, la chiesa Dives in Misericordia, in Figura 3, realizzata a Roma. La scelta di Meier non solo sottolinea la rigenerazione tecnologica del calcestruzzo, ma si traduce in impegno a trasmettere il messaggio culturale del presente. E così il bianco assoluto delle superfici murarie della celebre chiesa non si limita a essere una scelta di linguaggio, cui Meier non rinuncia nelle sue opere, ma attiva una nuova fase in cui cambiamento e movimento non percepibili sottendono un obiettivo di qualità da perseguire e garantire a lungo. Il calcestruzzo bianco, ordinato in megaconci prefabbricati, impiega il calcare di Carrara come inerte per esaltare la purezza del bianco, ma sceglie il cemento con biossido di titanio, per garantire nel tempo la conservazione del bianco stesso, confidando sull'autopulizia.

Il vero inizio della storia dell'utilizzo del biossido di titanio in edilizia, in relazione all'innovazione, non è più tanto la scoperta dei professori giapponesi, quanto la svolta innescata dalla prima eccezionale realizzazione romana che segna, con la nuova architettura di Meier, un punto di partenza importante, a cominciare dal dinamismo che entra nelle architetture fino alle nanotecnologie che, con la piccola scala, assecondano le azioni e i movimenti al di là della percezione umana. Anche la luce artificiale con lampade UV, utilizzata per gli interni della chiesa, attiva un forte processo ossidativo che, favorendo una più rapida decomposizione di alcuni agenti inquinanti, sostiene la scelta di Meier del calcestruzzo bianco a faccia vista anche all'interno, in modo da esaltare al massimo la caratterizzazione dello spazio architettonico e, al contempo, da non rinunciare alla suggestione delle candele di cera, in quanto con la fotocatalisi se ne riesce a bruciare il grasso, evitando che questo si depositi sulle superfici interne dell'aula liturgica.

Eppure, questo primato tutto italiano svanisce prima ancora dell'ultimazione della chiesa, il cui progetto del 1996 viene completato solo nel 2003. Infatti, nel 2001 si inaugura la *Cité de la Musique e des Beaux Arts* di Chambéry, il cui cantiere ha preso avvio nel 1999. Molte sono le opere francesi che seguono nel giro di pochi anni, ponendo un punto fermo nel panorama europeo, a cominciare dall'Hotel de Police a Bordeaux, alla Maison Laffitte a Ilot Mermoz, fino all'ampliamento della Sede Air France dell'aeroporto Charles de Gaulle di Parigi e altre, con cui la Francia guadagna un primato rispetto a sporadiche realizzazioni nel resto dell'Europa.

Dopo l'esperienza della chiesa a Roma, Richard Meier progetta nel 2012 la nuova sede del centro di ricerca dell'Italcementi a Bergamo, nei pressi del polo scientifico Kilometro Rosso: un nuovo simbolo nel campo dell'architettura ecosostenibile, in cui è protagonista il calcestruzzo bianco per celebrare l'attenzione e l'impegno che l'Italcementi dedica ai temi dell'innovazione e della sostenibilità. Nello stesso anno viene completata la realizzazione delle Torri Vodafone, complesso eco-tecnologico di Milano Lorenteggio, opera di Rolando Gantes e Roberto Morisi, il cui progetto ha preso avvio nel 2008.

Fig. 3 - Chiesa della Divina Misericordia a Roma e Palazzo Italia all'Expo di Milano 2015 (foto di G. Ausiello).

Parallelamente si diffondono numerose applicazioni in cui il pigmento nanometrico si impiega anche in componenti già commercializzati, quali piastrelle e pavimentazioni a base cementizia. La relativa posa all'interno degli spazi aspira all'autopulizia delle superfici, specie di quelle domestiche, mentre la posa all'esterno sottende l'obiettivo di combattere significativamente i problemi legati all'inquinamento ambientale e al degrado di edifici e opere infrastrutturali. In ogni caso, coinvolgendo tutte le superfici intercettate dalla luce, facciate e pavimentazioni di piazze e ampi spazi esterni, l'obiettivo della riduzione dell'inquinamento ambientale diviene un'azione propositiva perseguita da parte di vari comuni.

L'attenzione all'interazione tra cemento e biossido di titanio si riaccende con la realizzazione di Palazzo Italia, progettato da Nemesi&Partners in occasione dell'Expo di Milano del 2015, in Figura 3. Il cemento fotocatalitico è ridefinito cemento bio-dinamico e l'attenzione a questa realizzazione crea un'atmosfera revivaleggiante che ricorda il clima del primato italiano di circa quindici anni prima con la chiesa Dives in Misericordia. Il prefisso bio, oltre all'attività fotocatalitica, si deve anche all'impiego di circa l'80% di aggregati riciclati, in parte provenienti dagli sfridi di lavorazione delle cave di marmo bianco di Carrara, mentre l'attributo dinamico, alludendo al movimento, traduce il senso delle reazioni fotochimiche e meglio esprime il concetto di tecnologia intelligente. Il termine fotocatalitico, massicciamente impiegato all'inizio di questa storia, viene messo un po' in ombra e il calcestruzzo si libera dal vincolo con un'aggettivazione troppo specifica e legata alla reazione chimica antismog. La miscela utilizzata a Palazzo Italia, tre volte più fluida dei calcestruzzi ordinari grazie all'uso di additivi, si avvale ancora del cemento con biossido di titanio e riesce a caratterizzare l'esterno della struttura espositiva, materializzando i pannelli a imitazione di una fitta ragnatela bianca o di una trama di tessuto. Il riscatto del calcestruzzo nella direzione della sostenibilità compie un altro passo per il valore aggiunto che sta nell'elevata percentuale di aggregati di riciclo impiegati nel confezionamento. E così il padiglione Italia si pone come un'altra pietra miliare dell'architettura di questo nuovo millennio, con i suoi 750 pannelli tra piani e curvi, tutti diversi l'uno dall'altro, rigorosamente bianchi, autopulenti e antinquinanti.

Il percorso evolutivo del biossido di titanio procede creando anche nuove soluzioni tecnologiche e nuovi campi applicativi. Innanzitutto, le applicazioni vedono il biossido di titanio aprirsi anche ai trattamenti depurativi delle acque reflue, alla produzione di idrogeno come fonte energetica, alla realizzazione di tessuti autopulenti che sono, al tempo stesso, impermeabili e traspiranti. Senza dire che l'innovazione tende a guadagnare un altro step, allorché la ricerca mira a modificare il biossido di titanio con trattamenti al plasma, in modo da renderlo attivo anche con luce visibile. Ne consegue la possibilità di accrescere sensibilmente l'attività autopulente, sia all'aperto che al chiuso. E ancora è allo studio un materiale composito, costituito da apatite e biossido di titanio, che lavorano sinergicamente in modo che l'uno sia capace di catturare sporco e smog e l'altro di decomporli. Oppure perle di silica-gel, rivestite da un film trasparente di biossido di titanio, che, irradiate dalla luce, diventano attive e decompongono alcune sostanze organiche presenti nell'acqua.

Verso un futuro più sostenibile del patrimonio culturale

La vera svolta fortemente evolutiva nella storia del biossido di titanio si ottiene quando le applicazioni guadagnano possibilità di accesso all'esistente, prefigurando enormi vantaggi per la conservazione delle superfici storiche e di pregio architettonico. Infatti, oltre a essere usato nei calcestruzzi, il pigmento nanometrico si apre anche ad altri materiali da costruzione, con nuove interazioni, per diventare rivestimento di materiali lapidei naturali, vetri e pitture, in modo da renderli attivi, sotto la luce solare, sia nei trattamenti autopulenti, che antinquinanti. L'orizzonte applicativo si apre ai beni culturali, rivedendo significativamente il concetto di minima invasività, alla base dell'approccio reversibile.

Con il biossido di titanio è possibile realizzare coating non visibili a occhio nudo e di consistenza materica nanometrica, che rendono il rivestimento molto reattivo alla radiazione UV. Ne consegue che le superfici lapidee non soltanto sono autopulenti, ma riescono a ridurre la deposizione delle sostanze inquinanti, limitando tanto la formazione di croste ed efflorescenze, quanto i processi di degrado e i danni irreversibili che ne conseguono. Gli studi scientifici (Munafò *et al*., 2015; Gherardi *et al*., 2017) dimostrano che la patina biologica che naturalmente si forma sulle superfici dei manufatti crea condizioni tali per cui gli agenti inquinanti presenti in atmosfera più facilmente riescono ad attecchire e svilupparsi. Alcune di queste tipologie di trattamento rivestono un carattere preventivo e duraturo, oltre a essere meno invasive rispetto ad altre tecniche di preservazione. La capacità del biossido di titanio di non reagire chimicamente con il supporto lapideo, naturale e artificiale, lo rende ideale per applicazioni in cui l'attività autopulente, disinquinante e biocida deve essere garantita per potenziare in maniera significativa la conservazione dei litotipi, mediante un'azione preventiva che, non solo limiti la necessaria manutenzione, ma allunghi la vita delle superfici in pietra del patrimonio architettonico e archeologico (Graziani *et al*., 2015).

Le modalità di azione, trattandosi di soluzioni nanotecnologiche, convergono nella formazione di un film superficiale che si ottiene posando un nano-rivestimento in cui il biossido di titanio è "ospitato" in un prodotto, detergente o consolidante, di diffusa utilizzazione, anche se purtroppo diminuisce di efficacia l'azione fotocatalitica in entrambi i casi. In alternativa, il biossido di titanio è applicato direttamente, veicolandolo tramite soluzione in sol-gel a base acquosa o alcolica. La scelta tra le due modalità dipende dalla natura della pietra e dall'aggressività del degrado. Bioricettività e bio-deterioramento costituiscono i due fattori che condizionano non soltanto la scelta della tipologia di prodotto in cui è diffuso il biossido di titanio, ma anche quella della posa in opera che, variando tra il getto a spuzzo, la posa a pennello o con rullo e l'immersione, garantiscono la creazione di film di omogeneità e quantità variabile, con effetti leggermente diversi, tanto per la formazione di eventuali aloni e sprechi di materiale, quanto per la sicurezza dell'operatore (Dell'Edera *et al*., 2021).

La ricerca, oggi, tende sempre più ad avanzare sperimentalmente e a parametrare i risultati perché le valutazioni siano sempre più puntuali e mirate alle specifiche applicazioni (Munafò *et al*., 2014; Munafò *et al*., 2015; Gherardi *et al*., 2015; Gherardi *et al*., 2017; Veltri *et al*., 2018). Le sperimentazioni di laboratorio su provini di pietre naturali costituiscono un punto di partenza nuovo, in cui l'attenzione si rivolge all'esistente, con particolare riguardo alle superfici in pietra (Munafò *et al*., 2015).

L'attenzione al tufo giallo napoletano, protagonista del patrimonio partenopeo, dai celebri castelli, alle opere ottocentesche del Grenoble di Lamont Young e dell'accademia delle Belle Arti di Errico Alvino, è sicuramente proiettata verso un futuro, auspicabilmente non troppo lontano. A tal proposito, è interessante una ricerca su provini in tufo (D'Orazio e Grippo, 2016), in cui le nanoparticelle di biossido di titanio sono disperse in soluzione acquosa con un polimero termoplastico, il policarbonato uretano, così da creare un materiale composito da porre in opera sia mediante spazzolatura che per immersione. Il contesto scelto per la simulazione dell'inquinamento urbano è stato il tetto della torre nord della chiesa di Saint-Eustache a Parigi, sul quale è stata predisposta un'attrezzatura rotante per garantire un'uniforme esposizione agli agenti atmosferici. Al tatto i provini in tufo giallo napoletano trattati mostrano una minore attitudine alla polverizzazione, mentre l'analisi colorimetrica fornisce risultati soddisfacenti. Inoltre, le buone proprietà autopulenti e la resistenza agli attacchi biologici sono incoraggianti per una protezione preventiva di questo materiale.

L'interesse della ricerca guarda anche alla pietra leccese (Petronella *et al*., 2017), di grande diffusione nel territorio pugliese, e al travertino (La Russa *et al*., 2012; Munafò *et al*., 2014), la pietra calcarea più utilizzata in tutto il nostro Paese, sia nei monumenti che negli edifici storici. Entrambe, caratterizzate da una porosità piuttosto elevata, queste pietre subiscono fenomeni di degrado il cui studio richiede sperimentazioni e test per valutare l'assorbimento d'acqua e la permeabilità al vapore acqueo.

Fig. 4 - Intervento con biossido di titanio sulla copertura del Duomo di Milano nel 2012 [2, rielaborazione di G. Ausiello].

Oltre alle consuete valutazioni delle variazioni cromatiche, che si eseguono correntemente per tutti i prodotti consolidanti superficiali, sono oggetto di monitoraggio la riduzione della bagnabilità attraverso la misurazione dell'angolo di contatto per quanto attiene all'autopulizia, e la risposta per l'attività fotocatalitica (Behera, 2022).

La ricerca conosce, ogni giorno, orizzonti di alto profilo scientifico che sono il più grande investimento per la conservazione del patrimonio culturale, che è memoria e risorsa, ma tocca livelli ancor più elevati quando diviene sperimentazione alla scala reale. E qui il riferimento alla più grande fabbrica gotica del mondo, che è il duomo di Milano, è diretto per il grande valore emblematico dell'opera. Nel novembre 2012 hanno preso avvio lavori di restauro che vedono impegnati docenti e tecnici di Chimica dell'Università Statale di Milano per restituire il bianco/rosa al marmo di Candoglia annerito da ossidi di azoto, di carbonio e di zolfo e dal particolato atmosferico (Gherardi *et al*., 2017), [2]. La posa del biossido di titanio è sperimentale e limitata ad alcune lastre di copertura della navata centrale e ad alcune piccole aree della facciata laterale, in modo da poter monitorare gli effetti di autopulizia e di antinquinamento, si veda la Figura 4. L'idea è di testare dal vivo il contributo della luce solare che, reagendo fotochimicamente con un coating di biossido di titanio, sortisce lo scopo di rendere la superficie autopulente e di convertire lo smog in sostanze innocue. L'obiettivo a lungo termine è quello di preservare la superficie lapidea e, al contempo, limitare i costi di manutenzione e di restauro del Duomo. Si è eseguito lo studio del percorso solare, considerato che sulle superfici del fianco sinistro del duomo, esposte a nord, l'azione fotocatalitica è ridotta rispetto alle condizioni ottimali e quindi si è scelto il tetto della navata centrale. Un approccio conservativo che tenga però presente l'innovazione prevede l'esecuzione di un coating ottenibile mediante spruzzatura di un sistema colloidale a base alcolica. La posa è stata estesa anche allo zoccolo basamentale della cattedrale. L'attenzione all'innovazione, che questa prova sperimentale dimostra, è in linea con le scelte che la Veneranda Fabbrica del Duomo, istituita nel 1387, prima ancora del completamento dell'opera, persegue da sempre l'obiettivo di prediligere interventi di restauro innovativi per ottenere la massima efficacia, nel rispetto della compagine materica storica.

Una sperimentazione sul campo era già stata compiuta durante il lungo restauro materico della Torre di Pisa, che ha avuto inizio nel 2002. Al termine di numerosi e complessi interventi di pulitura e di un innovativo consolidamento dei capitelli in marmo bianco di Carrara del celeberrimo campanile della romanica cattedrale di Santa Maria Assunta, che avevano perso consistenti parti di materia, si è eseguito un trattamento con nanoparticelle di biossido di titanio, posato in opera mediante pennello, soltanto sull'arco in sottopendenza per inibire il riformarsi delle croste nere dovute al dilavamento dell'acqua piovana che, per la posizione sfavorita, è di maggiore aggressività. L'intervento, sia pur circoscritto, era prevedibilmente mirato a ottenere maggiore pulizia e minore attacco delle sostanze inquinanti ed organiche (Baldi *et al*., 2006).

La sperimentazione si divide tra laboratorio e cantiere nel 2015, quando l'attenzione si rivolge a una fabbrica romanica, il duomo di Monza, in cui ritorna il marmo di Candoglia che convive con il marmo di Crevoladossola. Entrambi bianchi, erano talmente scuriti dal degrado indotto dallo smog da confondersi con i filari di marmo scuro, neutralizzando la bicromia della facciata. Un cantiere pilota ha coniugato esperienze di laboratorio, eseguite su campioni prelevati direttamente dalla fabbrica, e sperimentazioni sul campo in un'area appositamente scelta, dopo aver eseguito interventi di pulitura (Gherardi *et al*., 2017). Le diverse condizioni di conservazione e le differenti patologie di degrado tra i due marmi hanno reso necessario testare vari rivestimenti a base di biossido di titanio, posti in opera con la tecnica a pennello. L'intento era quello di verificare eventuali alterazioni cromatiche indotte dal nano-coating, che si sono rilevate non visibili a occhio nudo e inferiori a quelle relative ad altri consolidanti superficiali. Inoltre, l'obiettivo era la valutazione dell'assorbimento d'acqua in relazione all'aumento di porosità che il degrado determina (Gherardi *et al*., 2017).

Anche gli studi sugli intonaci sono promettenti e mirano ad ampliare ancor di più l'orizzonte applicativo nell'ambito dell'intero patrimonio esistente (Martinez *et al*., 2014). Il primo intervento sull'esistente risale al 2005 e ha per oggetto il rifacimento della finitura esterna della Chiesa Matrice di San Giorgio, costruita dopo il terremoto del 1783 a Cittanova, comune della città metropolitana di Reggio Calabria.

La sperimentazione sul campo prosegue lentamente e la ricerca scientifica avanza con ritmi sempre più incalzanti (Gherardi *et al*., 2017; Goffredo, 2017; Moongraksathum *et al*., 2019; Veltri *et al*., 2018; Xu, 2021). Dalla loro interazione si legge un crescendo evolutivo in cui l'innovazione guarda al futuro, ma con un'attenzione al patrimonio costruito che denota una nuova cultura, caratterizzata da approcci cauti e misurati, rispettosi dell'esistente e sempre più orientati alla conservazione del patrimonio costruito. Molte soluzioni innovative sull'esistente, comprese quelle nanotecnologiche a base di biossido di titanio, sono poco invasive rispetto a quelle tradizionali ed essendo frutto di una scelta progettuale sono mirate alla durabilità degli interventi con cui la conservazione si persegue.

Bibliografia

Baldi G., Cappelletti S. 2006. Applicazioni di biossido di titanio nanoparticellare Parnasos™TiO_2. Sviluppo di nuovi materiali. La Chimica e l'Industria, 88(10), 60-64.

Behera A. 2022. *Advanced Materials, An Introduction to Modern Materials Science.* Berlin: Springer.

Cassar L., Pepe C., Tognon G. ,Guerrini G.L., *et al*. 2003. White cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties, In: *Proceedings of 11th International Congress on the Chemistry of Cement*. Durban. s.l.: s.e.

Dell'Edera M., Lo Porto C., De Pasquale I., Petronella F., *et al*. 2021. Photocatalytic TiO2-based coatings for environmental applications. Catalysis Today, 380, 62-83.

D'Orazio L., Grippo A. 2016. A water-dispersed titanium dioxide/poly (carbonate urethane) nanocomposite for protecting cultural heritage: Eco-sustainable treatments on Neapolitan Yellow Tuff. Progress in Organic Coatings, 99, 412-419.

Fujishima A., Rao T. N., Tryk D. A. 2000. Titanium dioxide photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, 1,1, 1-21.

Galluzzi P. (a cura di). 1996. *Gli ingegneri del Rinascimento da Brunelleschi a Leonardo da Vinci*. Firenze: Giunti.

Gherardi F., Colombo A., D'Arienzo M., Di Credico B., *et al*. 2015. Efficient self-cleaning treatments for built heritage based on highly photo-active and well-dispersible TiO_2 nanocrystals. Microchemical Journal, 126, 54-62.

Gherardi F., Gulotta D., Goidanich S., Colombo A., *et al*. 2017. On-site monitoring of the performance of innovative treatments for marble conservation in architectural heritage. Heritage Science, 5(4), 1-15.

Goffredo G.B., Terlizzi V., Munafò P. 2017. Multifunctional TiO2-based hybrid coatings on limestone: Initial performances and durability over time. Journal of Building Engineering, 14, 134-149.

Graziani L., Quagliarini E., D'Orazio M. 2016. Superfici autopulenti e biocide nel restauro archeologico di pietre e laterizi. Restauro Archeologico, 24(2), 28-43.

Khataee A., Mansoori G.A. 2011. *Nanostructured Titanium Dioxide Materials.Propreties, Preparation and Application*. Singapore: World Scientific Publishing.

La Russa M.F., Ruffolo S.A., Rovella N., Belfiore C.M., *et al*. 2012. Multifunctional TiO_2 coatings for cultural heritage. Progress in Organic Coatings, 74, 186–191.

Martinez T., , Bertron A., , G Escadeillas, Ringot E. 2014. Algal growth inhibition on cement mortar: Efficiency of water repellent and photocatalytic treatments under UV/VIS illumination. International Biodeterioration & Biodegradation, 89, 115-125.

Moongraksathum B., Chien M.-Y., Chen Y.-W. 2019. Antiviral and Antibacterial Effects of Silver-Doped TiO_2 Prepared by the Peroxo Sol-Gel Method. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 19(11), 7356-7362.

Munafò P., Quagliarini E., Goffredo G. B., Bondioli F., *et al*. 2014. Durability of nano-engineered TiO2 self-cleaning treatments on limestone. Construction and Building Materials, 65, 218-231.

Munafò P., Goffredo G.B., Quagliarini E. 2015. TiO2-based nanocoatings for preserving architectural stone surfaces: An overview. Construction and Building Materials, 84, 201-218.

Petronella F., Pagliarulo A., Striccoli M., Calia A., *et al*. 2017. Colloidal Nanocrystalline Semiconductor Materials as Photocatalysts for Environmental Protection of Architectural Stone. Crystals 7(30), 1-17.

Tongini Folli R. 2007. Fotocatalisi antismog. Modulo, 330, 325-329.
Veltri S., Palermo A.M., De Filpo G., Xu F. 2018. Subsurface treatment of TiO_2 nanoparticles for limestone: Prolonged surface photocatalytic biocidal activities. Building and Environment, 149, 655-661.
Xu F. 2021. Coating of photocatalytic TiO_2 and TiO_2-$K_2OxnSiO_2$ nanocomposite thin films on limestone: Accelerated rainfall erosion tests. Construction and Building Materials, 271, 121552.

Sitografia

[1] http://www.italcementi.it
[2] https://video.repubblica.it/edizione/milano/il-duomo-autopulente-con-l-aiuto-della-luce-solare/110541/108925

Cesare Tocci, Edoardo Piccoli

La statica delle volte, alla prova delle bombe

The statics of bomb-proof vaulted structures

Sommario
Il comportamento statico delle volte a prova di bomba costituisce un tema lungamente dibattuto che, a seguito della "rivoluzione balistica" di metà Settecento, divenne oggetto di una intensa attività teorica e sperimentale. A partire da un nostro precedente studio sul pionieristico lavoro del piemontese Papacino D'Antoni, basato su un'estensione del meccanismo di scorrimento di De La Hire, ci proponiamo in questo contributo di analizzare un manoscritto degli inizi dell'Ottocento di P.J. Ardant, "*Polytechnicien*" e professore alla Scuola di Artiglieria di Metz, nel quale alcune delle questioni lasciate aperte da Papacino D'Antoni sembrano trovare una trattazione fisicamente convincente.

Abstract
The statics of bomb-proof vaults constitutes a long-debated topic which became the subject of intense theoretical and experimental activity following the "ballistic revolution" of the mid-eighteenth century. Starting from our previous study on the groundbreaking text by Piedmontese Papacino D'Antoni, whose approach was based on an extension of De La Hire's sliding mechanism, we aim in this contribution to analyze a manuscript essay from the early 1800s, written by P.J. Ardant, a "*Polytechnicien*" teaching at the Artillery school at Metz, in which some of the questions left open by Papacino D'Antoni seem to find a physically convincing treatment.

Introduzione
Al Service Historique de la Défense di Vincennes un grosso faldone riunisce, e forse è l'unica silloge di questo tipo che è dato di trovare, già pronta all'uso, in un archivio, una serie ordinata di progetti e relazioni, redatte tra la metà del secolo XVIII e gli anni '70 del secolo successivo, sulla costruzione di edifici "alla prova della bomba", *à l'épreuve*, si legge in lingua[1]. Con una progressione che parte dal 1747, la questione si conferma come particolarmente rilevante non solo rispetto allo sviluppo dell'architettura militare, ma anche per chi è interessato a seguire l'evoluzione delle

teorie sulla statica delle strutture murarie, in un periodo densissimo di riflessioni e di progressi nelle conoscenze scientifiche.

In questa silloge, quasi interamente composta di relazioni e progetti di ingegneri francesi, trova spazio un testo italiano: la "Architettura militare" di Alessandro Vittorio Papacino D'Antoni (Bianchi, 2014; Papacino D'Antoni, 1759-1782; Cuccoli, 2018), di cui è trascritto un lungo estratto in traduzione[2]. La scelta di estrarre e tradurre, dal quinto volume dell'opera dell'italiano, le pagine dedicate alle volte "alla prova", si spiega per la rilevanza del contenuto, in quanto il testo di Papacino D'Antoni era stato il primo a riportare riflessioni scientifiche moderne sul problema della definizione dello spessore di queste volte.

Le conoscenze in tema di resistenza alle bombe esposte nelle relazioni del faldone 1V R 122 sono completate da alcune memorie raccolte in un altro faldone della medesima serie[3] dedicato alla «*poussée et construction des voutes*»[4]. Tra queste, si trova una relazione del 1839 dell'ingegnere Paul-Joseph Ardant[5], vero e proprio omologo di Papacino D'Antoni nel secolo successivo.

Il lavoro di Ardant (s.d.) sembra interessante non tanto per gli elementi di novità che introduce nel dibattito sulle volte alla prova, che vanno comunque valutati tenendo presente la finalità che la sua relazione si prefiggeva, cioè perorare la richiesta di un finanziamento al Ministro della Guerra, quanto perché consente di riconoscere il complesso delle questioni che su quel tema si erano addensate e che, nei primi decenni dell'Ottocento, avevano raggiunto un grado di maturazione tale da consentire all'architettura militare, interessata per statuto più alla rilevanza operativa delle proprie acquisizioni che non alla loro rigorosa sistemazione teorica, di maneggiare con piena padronanza conoscenze fisiche di avanguardia.

L'esame comparato dei due scritti, che proponiamo di seguito, pare utile a gettare luce sia sull'evoluzione dei saperi scientifici all'interno delle cosiddette "armi dotte" (Cuccoli, 2018), sia sui modi della loro applicazione e trasmissione nel campo dell'architettura.

L'Architettura Militare di Alessandro Vittorio Papacino D'Antoni

A quanto ci risulta, l'Architettura Militare di Papacino D'Antoni, pubblicata in sei volumi tra il 1759 e il 1782, è l'unico trattato nel quale le volte a prova di bomba ricevono, precisamente nel Libro V, una attenzione teorica di peso paragonabile all'importanza che al tema era assegnato nella costruzione delle fortificazioni.

Superando i criteri meramente empirici che a lungo avevano governato il dimensionamento degli edifici alla prova, sostanzialmente replicando i modelli dell'immortale Vauban, poi rielaborati anche da Bélidor, Papacino D'Antoni è il primo a trarre spunto dalla "rivoluzione balistica" innescata dalla pubblicazione dei "New Principles of Gunnery" di Benjamin Robins (Robins, 1742; Johnson, 1986) per impostare in modo finalmente rigoroso il problema mediante una ineccepibile estensio-

ne del modello di De La Hire dalle azioni ordinarie, simmetriche, a quelle impulsive, asimmetriche, determinate dall'urto delle bombe, estensione il cui valore di metodo relega in secondo piano alcune imprecisioni applicative che pure nella "Architettura Militare" si possono rilevare.

Sostanzialmente, Papacino D'Antoni sviluppa la sua trattazione affrontando dapprima il problema della valutazione della forza che le volte ricevono dall'urto delle bombe in funzione della distanza e dell'angolo di tiro del cannone, della dimensione del proiettile e della sua velocità di uscita dal cannone; e, successivamente, quello dell'analisi della risposta strutturale delle volte effettuata valutandone sia l'impenetrabilità del materiale sia la stabilità del sistema statico (Papacino D'Antoni, 1759-1782). Non entriamo qui nel dettaglio della trattazione di Papacino D'Antoni (Piccoli e Tocci, 2019) e ci limitiamo a evidenziare i problemi aperti e le questioni irrisolte per inquadrare la memoria di Ardant, che è esaminata nel seguito.

L'aspetto più interessante di tale trattazione risiede nel fatto che i due problemi della "Architettura Militare", la quantificazione delle azioni e l'analisi strutturale, sono affrontati con una stringente correlazione tra sperimentazione fisica e modellazione matematica seguendo una ineccepibile, esplicitamente enunciata, traccia metodologica. La sperimentazione fisica risulta essenziale non solo per le questioni impossibili da trattare per via teorica, ma anche per quelle la cui analisi richiede dati di ingresso che solo l'esperienza può fornire. La modellazione matematica consente poi di generalizzare i risultati sperimentali, necessariamente riferiti a un numero limitato di casi, estendendoli così a situazioni non direttamente testate. Qui da un lato emerge la completa padronanza da parte di Papacino D'Antoni delle leggi della balistica enunciate nel pionieristico lavoro di Benjamin Robins e, dall'altro, si rileva la perdurante inerzia dell'ambiente scientifico[6] che indugia a lungo sul modello di collasso per scorrimento di De La Hire e Bélidor, nel quale il "cervello" dell'arco scorre verso il basso sui due giunti inclinati di 45 gradi divaricando verso l'esterno i piedritti, trascurando di considerare il più realistico modello flessionale di Couplet, nel quale il cinematismo di collasso comporta l'abbassamento del giunto in chiave e il sollevamento dei giunti alle reni come conseguenza della rotazione relativa delle porzioni di arco comprese tra i giunti stessi, la cui validità era stata ormai acclarata dal più maturo lavoro di Coulomb.

A onta della sua impeccabile impostazione metodologica, insomma, la trattazione di Papacino D'Antoni lascia aperte alcune questioni che, come vedremo, sono affrontate nel "Mémoire" di Ardant. La prima questione attiene la corretta valutazione della forza associata all'urto di un proiettile che colpisce la volta con una velocità e una inclinazione date, a proposito della quale, identificando impropriamente la forza impulsiva con la quantità di moto, Papacino D'Antoni sottostima la reale entità delle azioni in gioco. La seconda questione è quella del meccanismo di collasso della volta: l'estensione proposta da Papacino D'Antoni del modello di De La Hire è concettualmente ineccepibile, sebbene sia operativamente affetta da un errore nella valutazione delle

componenti della forza divaricatrice, che nasce dallo scorrimento verso l'interno della volta del concio colpito dal proiettile, ma la mancata considerazione del meccanismo flessionale preclude una analisi completa del comportamento a collasso delle volte.

Un'ultima considerazione, infine, a proposito della ricezione del testo di Papacino D'Antoni nell'ambiente del Genio francese: nell'estratto della "Architettura Militare" conservato a Vincennes la ricchezza teorica e sperimentale del lavoro dell'ingegnere piemontese non emerge. La brevità dell'estratto e il suo esclusivo interesse per le regole suscettibili di una applicazione pratica portano in secondo piano l'apparato concettuale dal quale quelle regole scaturiscono. Le tabelle dimensionali di Papacino D'Antoni, quella, profondamente innovativa rispetto alla pratica corrente, relativa allo spessore da assegnare alle volte alla prova in funzione della luce[7], come pure l'altra, che compara le diverse dimensioni dei piedritti di una stessa volta, ordinaria o alla prova, sono sì riportate nella traduzione; tuttavia, senza il riferimento allo straordinario lavoro sperimentale documentato nella "Architettura Militare" e senza il supporto delle assunzioni teoriche, le regole dimensionali contenute in quelle tabelle non sono distinguibili dalle tante già note in letteratura, che, da Vauban in poi, non avevano altra giustificazione, naturalmente incontrovertibile, se non l'efficacia di cui avevano dato prova sul campo di battaglia.

Il Mémoire di Paul-Joseph Ardant

A differenza del testo di Papacino D'Antoni, concepito per essere stampato, e quindi sottoposto al giudizio dell'opinione pubblica, il "Mémoire" del capitano Ardant era destinato a rimanere all'interno dell'amministrazione militare. Anche se il suo autore deve averlo redatto attingendo ad appunti e memorie didattiche[8], il suo scopo era di sostenere una richiesta di fondi presso il Ministero della Guerra, che aveva stanziato, con nota del 7 settembre 1839, dei finanziamenti per proseguire le esperienze in corso nella piazza militare di Metz[9]. Il suo intento, quindi, è eminentemente persuasivo: la finalità è quella di sostenere da un lato la rilevanza della materia per cui si chiedono i fondi, dall'altro la competenza dell'autore a occuparsene. In definitiva, indipendentemente dal suo contenuto, il "Mémoire" è una interessante testimonianza delle forme di dialogo che si istituivano tra l'amministrazione e gli "scienziati" di stato, nel segno della guerra e in nome della conservazione di un primato tecnologico minacciato dalla concorrenza delle altre nazioni europee (Barros *et al*., 2022, cap. IV).

Il "Mémoire", datato 12 dicembre 1839, è diviso in due parti[10]. La prima è dedicata a riassumere lo stato della questione delle volte alla prova. Ardant lamenta l'assenza di adeguati riscontri sperimentali, limitati ai casi, citati da Bélidor, realizzati sulla base delle prescrizioni di Vauban[11], e l'inconsistenza di alcune delle regole dimensionali in uso: quella di Bélidor che, assimilando la volta a una trave inflessa, istituiva una proporzione tra diametro della volta e quadrato dello spessore, quella di Perronet valida per i ponti, o ancora quelle desumibili da alcune costruzioni esi-

stenti nelle quali lo spessore della volta è sostanzialmente indipendente dalla luce. In questo discorso iniziale, l'ingegnere francese omette di citare il lavoro di Papacino D'Antoni, che non è citato nemmeno nel resto del "Mémoire", anche laddove questo di fatto ne ripercorre abbastanza precisamente l'impianto. Omissione voluta, per ragioni per così dire ideologico-nazionaliste, e in qualche misura simile ai tanti inspiegabili silenzi che percorrono la storia della statica degli archi, o reale ignoranza della monumentale "Architettura Militare"?

La seconda parte del "Mémoire" costituisce il cuore del lavoro di Ardant: proveremo a riassumerne i punti principali, senza seguire il dettaglio delle argomentazioni, peraltro non sempre di facile interpretazione. Tre le principali questioni affrontate, esaminate in tre paragrafi distinti: gli effetti dell'urto delle bombe sull'equilibrio statico della volta, la penetrazione dei proiettili nella volta e lo spessore del ricoprimento di terra necessario ad attenuarne l'impatto[12].

La prima di tali questioni è quella che contiene gli elementi più interessanti ai fini della nostra discussione[13]. Su di essa Ardant espone numerose considerazioni che, mentre ricalcano la traccia metodologica fissata da Papacino D'Antoni sia nella sequenza logica delle argomentazioni sia, soprattutto, nel riconoscimento di una intima correlazione di sperimentazione fisica ed elaborazione teorica, sembrano anche contenere alcune precisazioni in merito alle questioni irrisolte o lasciate aperte nella "Architettura Militare".

Gli effetti dell'urto della bomba sono, per Ardant, essenzialmente di due tipi: la comparsa di lesioni e distacchi di materiale, nelle volte dotate di grande coesione interna, oppure la perdita dell'equilibrio in quelle caratterizzate da debole coesione, perdita che si manifesta sotto forma di meccanismi di scorrimento o di rotazione, descritti graficamente da Ardant, si veda la Figura 1, conseguenti al movimento verso l'interno della metà volta colpita direttamente dalla bomba che spinge verso l'esterno la metà opposta[14].

È con riferimento al primo tipo di effetto che Ardant affronta la questione della valutazione della forza trasmessa alla volta dall'urto delle bombe. Per spiegare la comparsa delle lesioni, egli propone infatti di mettere in conto la flessione indotta nella volta dall'urto e dovuta all'elasticità del materiale, suggerendo di assimilare «la volta, non a una barra, come aveva fatto Bélidor, ma a una superficie elastica, dotata di spessore». Il comportamento statico della volta può allora essere modellato estendendo i risultati ottenuti da Navier per una superficie piana, ridefinendo opportunamente alcuni coefficienti. Forse la proposta di determinare sperimentalmente i coefficienti presenti nella formulazione di Navier per poterla applicare a una volta cilindrica può apparire ambiziosa, o ingenua, ma non lo è sicuramente l'idea di usare la stessa sperimentazione per valutare in che modo trasformare l'urto della bomba in una forza staticamente equivalente sulla base di alcuni risultati riportati nella "Mécanique industrielle" di Poncelet (Poncelet, 1839)[15] ai quali peraltro si erano, corretta-

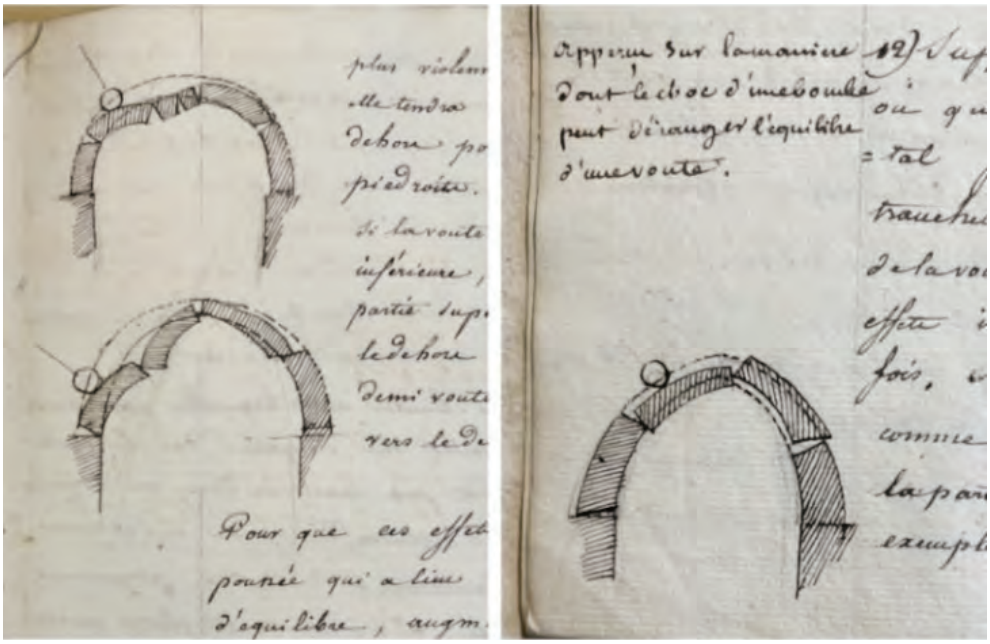


Fig. 1 - P.-J. Ardant: meccanismi di collasso di volte colpite da proiettili; la parte di volta colpita tende a muoversi verso l'interno sollevando la metà opposta della volta e spingendola in fuori, scorrendo sulle parti contigue, in basso a destra, ruotando rispetto a esse, in alto a sinistra, oppure con una strana combinazione di rotazione e scorrimento, in basso a sinistra (Ardant, s.d.).

mente, riferiti, nelle loro attività sperimentali, anche i colleghi di Ardant nella Scuola di Applicazione (Piobert *et al*., 1838).

Una delle questioni irrisolte della "Architettura Militare" trova dunque nel "Mémoire" di Ardant una risposta fisicamente convincente.

Ma veniamo ai meccanismi di collasso, la seconda più importante questione lasciata aperta da Papacino D'Antoni[16]. Ardant distingue due casi, in Figura 1, a seconda che la bomba colpisca la volta nella sua parte sommitale o in prossimità dell'imposta[17], proponendo dei meccanismi che non sembra si possano sviluppare mediante soli spostamenti rigidi delle porzioni in moto. Può darsi che tale inconsistenza cinematica sia dovuta alla scarsa accuratezza consentita dal ridotto spazio a disposizione per il disegno: essa non impedisce di cogliere le ipotesi di movimento che Ardant sta facendo, ma rende problematica la scrittura delle equazioni e difficoltosa la loro interpretazione. Dei diversi meccanismi, infatti, Ardant enuncia le condizioni che li rendono impossibili[18] e le traduce in equazioni di equilibrio, usando poi queste, almeno così sembra, per ricavare una formula che porge lo spessore strettamente necessario del piedritto. Sia la forma dei meccanismi sia le rispettive

condizioni di impossibilità si riferiscono chiaramente ai meccanismi ipotizzati da Coulomb, che non viene mai citato, con la doppia possibilità del movimento verso l'interno o verso l'esterno della volta e la doppia modalità di collasso per scorrimento e rotazione. Né vengono citate le esperienze di Danyzy e Boistard che, sulla scelta dei meccanismi di collasso avrebbero potuto fornire utilissime indicazioni. Ardant, tuttavia, cita Audoy (Audoy, 1820) che, a inizio Ottocento, aveva "riscoperto" Coulomb[5] sviluppando, in un gran numero di casi, formule di progetto per i piedritti che derivavano appunto dalla risoluzione delle equazioni di Coulomb. Audoy, inoltre, si era riferito esplicitamente alle esperienze sia di Danyzy sia di Boistard come dimostrazione sperimentale delle ipotesi di Coulomb. È dunque probabile che Ardant si ispiri direttamente ad Audoy, come suggeriscono anche altre circostanze: Audoy parla delle bombe che, colpendo la parte inferiore di una volta, possono indurre il sollevamento di quella superiore con un meccanismo in cui la chiave sale anziché scendere, come negli schemi di Ardant, e, ancora, introduce un coefficiente di sicurezza per tener conto del fatto che gli spessori di piedritto ottenuti con le formule da lui sviluppate sono troppo esigui rispetto a quelli derivanti dal più semplice, ma evidentemente rassicurante, modello di De La Hire, di fatto equivalente al coefficiente σ che nelle formule di Ardant moltiplica o divide la spinta.

Purtroppo le equazioni scritte da Ardant[19], che riprendono evidentemente quelle di Coulomb[20], attraverso la formulazione di Audoy, non sembrano del tutto corrette. Innanzitutto, considerare orizzontale la spinta in chiave non sembra consistente per una condizione di carico palesemente asimmetrica, come quella determinata dall'urto della bomba. Ma, anche ammessa la liceità di questa ipotesi, che comunque non è giustificata, la assenza di un chiaro riferimento a meccanismi ben definiti, dal momento che gli schemi di collasso del "Mémoire" sono molto approssimativi, rende di non semplice interpretazione le equazioni nelle quali sembrano potersi evidenziare alcune incongruenze. A parte la mancata definizione di alcuni simboli, non si dice cosa sia il simbolo "e" nella terza equazione[20], non è chiaro quale sia il polo rispetto al quale è calcolato il momento del risultante delle trazioni agenti sul giunto di chiave nella prima equazione[20], così come non si capiscono alcune differenze di segno in alcuni termini della seconda e quarta equazione[20]. La sperimentazione su modelli in scala, «*en petit*», in Figura 2, che Ardant caldeggia nel suo "Mémoire" avrebbe dovu-

Fig. 2 - P.-J. Ardant: schema di modello sperimentale per prove da effettuare su modellini di volta in piccola scala (Ardant, s.d.).

to consentire, esattamente come nei modellini di Danyzy e Boistard, di precisare la forma dei meccanismi e per questi scrivere, in forma definitiva, le condizioni di equilibrio. In ogni caso, prescindendo dalla correttezza delle sue equazioni, che non è escluso siano state da lui intese essenzialmente come indicazione della possibilità di una formulazione matematica del problema, sembra infine interessante sottolineare come Ardant si proponga di usare un modello cinematico più realistico e più ricco di quello di Papacino D'Antoni per una più attendibile stima della resistenza delle volte all'urto delle bombe e, per questa via, ottenere formule di progetto meglio calibrate.

Conclusioni

Non sarebbe generoso, né scientificamente corretto, valutare il "Mémoire" del capitano Ardant con lo stesso metro che adoperiamo per interpretare la "Architettura Militare" di Papacino D'Antoni o per leggere, poniamo, la "Memoria" di Audoy: un ponderoso trattato il primo, che non rinuncia mai alla coerenza interna delle argomentazioni fisiche e alla loro concatenazione logica, un lavoro scientifico il secondo che, anche laddove poco aggiunge a quanto già noto, lo espone in modo rigoroso ed essenziale. Il "Mémoire" di Ardant si propone finalità evidentemente diverse: dimostrare al Ministro della Guerra la rilevanza del tema per il quale si propongono le prove sperimentali da finanziare ed evidenziare le carenze che ancora sussistono sulla sua conoscenza.

Da questo punto di vista, non varrebbe quasi la pena soffermarsi su alcune carenze del "Mémoire" come la laconicità delle formule matematiche, che rimandano, non senza ambiguità, alla letteratura scientifica coeva, o il tratto grafico sbrigativo con cui sono disegnati i meccanismi di collasso delle volte, i quali, nonostante tutto, denunciano la conoscenza degli sviluppi più recenti della statica degli archi. Sembra invece più interessante leggerlo come espressione di un contesto scientifico e di un periodo storico che, di lì a pochi decenni, avrebbe visto la definitiva maturazione della meccanica strutturale e che, sul problema specifico della statica delle volte soggette all'urto delle bombe, aveva apparecchiato già tutti gli ingredienti per una sua trattazione finalmente esaustiva, combinando gli sviluppi più avanzati della teoria delle volte, tema centrale dell'ingegneria settecentesca, con le possibilità offerte dalla conoscenza della balistica.

È poi significativa, beninteso col senno del poi e non rispetto al contesto storico, la complicazione, solo apparentemente paradossale, derivante dal cambio di paradigma introdotto dalla svolta elasticista di inizio Ottocento; i fondamentali contributi di Cauchy e Navier, che sembravano poter arricchire, e di fatto arricchivano, la comprensione dei problemi strutturali rispetto alle ricerche settecentesche, in realtà rischiavano di ostacolarla per quanto concerneva le strutture murarie. Queste, specialmente quando adoperate in spessori massicci come quelli richiesti dalle volte a prova di bomba, sono assai meglio descritte dal modello rigido di De La Hire: la

loro limitata resistenza a trazione, infatti, introduce delle peculiarità che il modello perfettamente elastico non solo non coglie ma, per certi versi, travisa.

Questi problemi diverranno chiari già alla fine dell'Ottocento: si pensi alla procedura iterativa proposta da Castigliano per i "sistemi imperfettamente elastici" (Castigliano, 1879), e consistente nell'aggiornare ad ogni iterazione la geometria della struttura eliminando le zone soggette a trazione, o alla celebre affermazione di Séjourné sul fatto che l'ipotesi elastica andasse accettata «provvisoriamente, sotto beneficio d'inventario sperimentale», non perché fosse vera, ma perché volte così calcolate resistevano (Nascé e Sabia, 1997).

Nel 1839, tuttavia, l'idea che i nuovi concetti di tensione e di deformazione consentissero di comprendere meglio l'antico problema della stabilità delle volte era ancora troppo allettante, e Ardant ne porge un esempio chiarissimo.

È davvero indicativa, quasi un lapsus freudiano, la stessa terminologia adoperata da Ardant che, all'inizio del "Mémoire", dovendo definire l'oggetto della questione scrive dapprima «stabilità delle volte a prova di bomba» per poi cancellare la parola «stabilità» e sostituirla con «resistenza»: al problema essenzialmente geometrico che era stato compiutamente definito e risolto già prima della metà del Settecento con i lavori di De La Hire e Couplet subentra così un problema meccanico, nel quale il riferimento alle caratteristiche di deformabilità e resistenza sembra fornire l'anello mancante per la risoluzione della questione.

Le stesse sperimentazioni proposte, nelle quali si pensa a modellini in scala coesivi, sembrano porsi in partenza come assai più problematiche rispetto a quelle di Danyzy e Boistard che con i loro archi con conci assemblati a secco costituivano una fedele realizzazione del modello rigido di De La Hire.

Fonti archivistiche

Vincennes, Service historique de la défense (SHD), GR 1V R 122.
Vincennes, Service historique de la défense (SHD), GR 1V R 94.

Bibliografia

Ardant P.J. s.d. *Mémoire à l'appui de l'état estimatif des dépenses à faire pour des expériences sur le voutes à l'épreuve de la bombe, dressée conformément à la lettre ministérielle du 7 septembre 1839*. SHD, GR 1V R 94.

Audoy M. 1820. Mémoire sur la poussée des voûtes en berceau. In: *Mémorial de l'Officier du Génie*, 4, 1-96. Paris: Imprimerie Royale.

Barros M., Roucaud M., Accarie-Pierson O. 2022. *Les forteresses de l'Empereur*. Milano: Silvana Editoriale.

Bianchi P. 2014. Papacino D'Antoni, Alessandro Vittorio. In: *Dizionario biografico degli italiani*, 81, *ad vocem*. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana.

Castigliano C.A. 1879. *Théorie de l'équilibre des systemes élastiques et ses applications*. Torino: Negro.

Coulomb C.A. 1773. Essai sur une application des régles des maximis et minimis à quelque problémes de statique relative à l'architecture. In: *Mémoires de Matématique et de Physique présentés à l'Académie Royale des Sciences par divers Savants et lu dans ses Assemblées*, 7, 343-382. Paris: Imprimerie Royale.

Cuccoli L. 2018. Les traductions des textes techniques destinés aux officiers des armes savantes (France-Italie / Italie-France, 1750-1840). La Révolution française - Cahiers de l'Institut d'histoire de la Révolution française, En ligne, 13.

Didion I. 1859. Notice biographique sur M. Ardant, Général de brigade, Membre du Comité des fortifications, Membre associé-libre de l'Académie impériale de Metz. In: *Mémoires de l'Académie de Metz*, 105-119. Metz: Rousseau-Pallez.

Heyman J. 1972. *Coulomb's Memoir on statics. An essay in the history of civil engineering*. Cambridge: Cambridge University Press.

Huerta S. 2008. The analysis of masonry architecture: a historical approach. Architectural Science Review, 51(4), 297-328.

Johnson W. 1986. Benjamin Robins' New Principles of Gunnery. International Journal of Impact Engineering, 4, 205-219.

Nascè V., Sabia D. 1997. Teoria e pratica nella costruzione dei ponti in muratura tra XVIII e XIX secolo. In: Comoli Mandracci V., Guardamagna E., Viglino Davico M. (a cura di), *Carlo Bernardo Mosca: 1792-1867. Un ingegnere architetto tra Illuminismo e Restaurazione*. 29-38. Milano: Guerini.

Papacino d'Antoni A.V. 1759-1782. *Dell'Architettura Militare per le Regie Scuole Teoriche d'Artiglieria e Fortificazione*, 6 v. [il v. 2, 1779, è di I.A. Bozzolino]. Torino: Stamperia Reale.

Piccoli E., Tocci C. 2019. A prova di bomba. Ingegneri, architetti e teorie sulle volte in un cantiere militare di metà Settecento. ArchHistoR, VI(12), 212-251.

Piobert G., Morin A., Didion I. 1838. Note sur les effets et les lois du choc, de la pénétration et du mouvement des projectiles dans les divers milieux résistans. In: *Congrès scientifique de France, Cinquième session, tenue à Metz en Septembre 1837*, 526-539. Metz: Lamort.

Poncelet, J. V. 1839. *Mécanique industrielle*. Bruxelles: Meline, Cans & C.

Robins B. 1742. *New Principles of Gunnery: Containing the Determination of the Force of Gun-powder, and an Investigation of the Difference in the Resisting Power of the Air to Swift and Slow Motions. With Several Other Tracts on the Improvement of Practical Gunnery*. London: Nourse.

Note

[1] SHD, GR 1V R 122. *Etudes et types de construction et de Bâtiments. Casernes et autres bâtiments voutées à l'épreuve de la bombe*, relazioni e progetti 1747-1878.

[2] SHD, GR 1V R 122, *Extrait de l'architecture militaire d'Antony, 5e partie. Des Bâtimens à l'épreuve de la bombe*; manoscritto non datato, la grafia rimanda a una data di inizio secolo XIX.

[3] L'intero articolo 21 dell'archivio del Genio è dedicato alle "opere dell'arte", divise per categorie.

[4] SHD, GR 1V R 94. *Poussée et constructions des voûtes*, 1, 1743-1902.

[5] Paul-Joseph Ardant (1800-1858), Capitano del Genio, Professore del Corso di Artiglieria e Costruzioni presso la Scuola di Applicazione dell'Artiglieria e Genio di Metz, è autore nel 1840 delle "Études Théoriques et expérimentales sur l'établissement des Charpentes a grande portée", pubblicato a Metz da Lamort.

[6] « *[…] by about 1740 the mechanics of the arch was well understood […] however […] it would seem that the work was gradually forgotten from about 1750 onwards. Coulomb did not refer to Couplet, and in France the theory was once again rediscovered by Lamé and Clapeyron in 1823, […]; there followed further periods of forgetting and rediscovering*» (Heyman, 1972, p. 175). Ancora Navier, annotando il trattato di Bélidor, non menziona Coulomb e afferma che, rispetto alla formulazione di De La Hire, non si registrano progressi che nel Trattato di Gauthey del 1809. In realtà, prima di Lamé e Clapeyron, è Audoy a riscoprire la teoria di Coulomb (Huerta, 2008).

[7] Nelle prescrizioni di Vauban, lo spessore era costante.

[8] È ragionevole ipotizzare che Ardant trattasse le strutture alla prova nei suoi corsi di costruzione alla Scuola di Applicazione.

[9] Tra cui quelle sui crateri di impatto delle bombe nelle opere murarie (Piobert *et al.,* 1838).

[10] «*Première partie. De l'état actuel de la question de ~~la stabilité et de~~ la resistance des voutes à l'épreuve de la bombe*» (Ardant, s.d, p. 3; la cancellatura è nell'originale). «*Deuxième partie. Considérations sommaires sur les points principaux de la question des voutes à l'épreuve, et sur la marche à suivre dans les expériences*» (Ibidem, p. 7).

[11] «*Le seul fait d'expérience bien constaté, c'est que les magazines à poudres construit à Landau, à Tournay, à Ath et d'autres places d'après les indications de l'Immortel Vauban, ont resisté au bombardment...*» (Ardant, s.d., cit., p. 3).

[12] «*Ils se présent[ent] donc trois choses à examiner: 1° les effects du choc de la bombe proprement dit; 2° les effects de pénétration e d'explosion; 3° l'épaisseur à donner aux récouvrements des voutes à l'épreuve...*» (Ardant, s.d., p. 7).

[13] Il problema della penetrazione delle bombe negli apparecchi murari e quello dell'entità del ricoprimento di terra sono questioni di natura eminentemente sperimentale per le quali Ardant propone prove sperimentali su volte in scala reale da sommarsi a quelle sulle volte in scala ridotta con le quali vuole indagare la questione dell'equilibrio (Ardant, s.d., pp. 15-18). Dette prove si aggiungerebbero a quelle già in corso a Metz a opera di Piobert, Morin e Didion nel 1834-1835.

[14] «*Dans une voute dont la cohesion serait faible, … la bombe pourrait rompre l'équilibre statique existant entre les deux moitiées de la voute. Celle de deux demi-voutes sur la quelle tomberoient à la fois, un ou plusiers projectiles, pourroit avoir la partie supérieure jetée au-dedans des piedroits, soit par glissement soit par rotation, ou bien la demi-voute opposée, qui ne serait pas atteinte par le projectile, pourroit avoir sa partie supérieure repoussée au dehors par glissement ou renversée autour de l'arête extrados de l'un de ses joints*» (Ardant, s.d., cit., p. 8).

[15] Una chiara distinzione tra forza e quantità di moto di moto aveva impedito a Papacino D'Antoni di valutare correttamente la forza associata all'urto delle bombe. Tale distinzione è chiaramente spiegata da Poncelet che non solo enuncia (n. 130) la legge dell'impulso in forma moderna, attraverso una semplice applicazione del teorema delle forze vive, ma propone (n. 167) anche alcune considerazioni per il calcolo della durata del tempo di penetrazione dei proiettili (Poncelet, 1839).

[16] Per precisare le modalità di rottura, sostiene Ardant, non sono di grande aiuto le descrizioni di danni sofferti dalle volte in occasione di assedi passati, mai sufficientemente dettagliate. Le esperienze appositamente effettuate a Woolwich nel 1835, sebbene siano l'unico caso che Ardant riesce a citare, sono invece significative per la comparsa di lesioni prevalentemente longitudinali che sembrano coerenti con i cinematismi descritti da Ardant.

[17] «*Si la bombe frappe le sommet de la voute, comme l'indique la figure dessinée en marge, la partie supérieure de la demi-voute de gauche par exemple, poussera la partie supérieure de droite plus violemment qu'elle ne sera poussée par celle-ci; elle tendra à la soulever et à la faire glisser vers le dehors pour tomber celle-ci dans l'intérieur des piedroits. Si la voute est atteinte par le projectile à sa partie inférieure, celle-ci l'emportera sur le poids de la partie supérieure, et la fera tourner du dedans vers le dehors, en la soulevant, la partie supérieure de la demi-voute opposée, n'etant plus soutenue, tombera vers le dedans*» (Ardant, s.d., pp. 10-11).

[18] «*Pour que ces effets ne se produisent pas, il faut: 1° que la poussée qui a lieu au joint de la clef dans l'état habituel d'équilibre, augmentée de la pression due au choc du projectile soit plus petite que le minimun de la force qui appliquée à l'arête intrados de ce joint, pourrait forcer un voussoir quelconque à glisser ou à tourner vers le dehors; 2° que la poussée habituel[le] toute seule puisse empêcher un voussoir quelconque de tourner ou de glisser vers le dedans même, lorsque la tendance de ce voussoir à descendre est augmentée de tout l'effort developpé par le projectile dans sa chute et, par conséquent, qu'elle soit plus grande que le maximum de la force capable de faire équilibre au poid du voussoir et à la pression du projectile*» (Ardant, s.d., p. 11).

[19] Le equazioni di equilibrio della volta scritte da Ardant sono:

$$\Pi = \max \frac{\sigma}{y}\left[Pg + pv + qh - \frac{Rs^3}{3}\left(H + h - 2y\right)\right]$$

$$\Pi > \max\sigma \frac{\left(P + p\right)\left(1 - f\tan\alpha\right) + q\left(\tan\alpha - f\right)}{\left(\tan\alpha + f\right)}$$

$$\sigma\Pi < \min\left[\frac{Pg}{y} - q + \frac{y}{6y}\left(2\mathrm{e}^2 + 3\mathrm{ey}\right)\right]$$

$$\sigma\Pi < \min\begin{cases} 2\gamma s \\ \dfrac{\left(P + p\right)\left(1 + f\tan\alpha\right) - q\left(\tan\alpha - f\right)}{\left(\tan\alpha - f\right)} \end{cases}$$

nelle quali: p e q sono le componenti, verticale e orizzontale, della forza prodotta dall'urto della bomba, h e v le distanze, orizzontale e verticale, del punto di applicazione della forza dallo spigolo di intradosso o estradosso attorno al quale il concio di rottura tende a ruotare in un verso qualunque (n.b. sembra che qui Ardant inverta i simboli), P il peso di questo concio, g la distanza orizzontale del suo baricentro dallo spigolo di rotazione, s la superficie costante dei giunti della volta, α l'angolo della direzione di un giunto qualunque rispetto alla verticale, Π la spinta che si esplica nel giunto di chiave supposto verticale, σ un coefficiente di stabilità, y la distanza verticale del punto di applicazione di questa spinta dallo spigolo di rotazione, R il modulo di resistenza alla rottura per trazione della muratura, γ la coesione tangenziale sull'unità di superficie, f il coefficiente di attrito, H l'altezza dei piedritti, $H+h$ la distanza verticale del punto di applicazione della spinta al di sopra della base del piedritto.

[20] Il simbolo della spinta in chiave, Π, è lo stesso.

Alessandro Amabile

On Greek sphere-making

Sulla sferopea greca

Abstract
With the word *sphairopoiia* the Greeks indicated a branch of mechanics devoted to the design and construction of artifacts representing in a static or dynamic way an astronomical theory. I will review the role of this art in the context of Greek mathematics, from the first celestial globes to the sophisticated computer known as "Antikythera Mechanism". My general claim is that *sphairopoiia* played a pivotal role in the conceptual structure of Greek mathematical astronomy, namely as an operational interface between theory and observations. The key idea of this sphere-mediated mechanical astronomy was to transform astronomical problems involving the observable motions of celestial bodies into mechanical ones involving the synchronization of rotating gears. In this way, well-designed machines could become analog computers of solutions to well-defined astronomical problems.

Sommario
Con il termine *sphairopoiia* i Greci indicavano un ramo della meccanica dedicato alla progettazione e alla costruzione di artefatti che rappresentavano in modo statico o dinamico una teoria astronomica. In questa comunicazione esaminerò il ruolo svolto questa arte nel contesto della matematica greca, dai primi globi celesti al sofisticato computer noto come "Macchina di Antikythera". La mia tesi generale è che la *sphairopoiia* ha svolto un ruolo centrale nella struttura concettuale dell'astronomia matematica greca come interfaccia operativa tra teoria e osservazioni. L'idea chiave di questa astronomia meccanica mediata dalla *sphairopoiia* era trasformare problemi astronomici che coinvolgono i moti osservabili dei corpi celesti in problemi meccanici che coinvolgono la sincronizzazione di ingranaggi rotanti. In questo modo, macchine ben progettate diventavano computer analogici per la risoluzione di problemi astronomici ben definiti.

Introduction
With the word *sphairopoiia* (literally "sphere-making", "construction of spheres") the Greeks indicated a well-defined branch of mechanics devoted to the design

and construction of mechanical models of astronomical theories (Aujac, 1970). The simplest specimens of this mathematical art were celestial globes and armillary spheres, which exhibited a selection of fixed stars and/or some relevant circles on the celestial sphere. A way more sophisticated example is the so-called "Antikythera Mechanism" (II cent. BC), regarded today as the first computer in history, which represented a wide range of astronomical phenomena by multiple pointers moving simultaneously on different dials (Jones, 2017). In the Antikythera Mechanism the motion was given by hand, but later sources mention similar devices put in motion by water.

Despite the AM is the only surviving example of Greek sphere-making, this art accompanied in different guises the whole evolution of Greek mathematical astronomy, from the first steps of the Pythagorean school up to the golden age of Alexandria's Museum. As well known, the most revered sphere-maker of antiquity was Archimedes (III cent. BC), who devoted a full treatise to this art, and the Antikythera Mechanism is generally regarded as part of his scientific legacy. However, for chronological and contextual reasons the most likely candidate for the design of the Antikythera Mechanism is Hipparchus (II cent. BC), the last and greatest astronomer of the Hellenistic age. After II cent. BC there are mentions of *sphairopoiia* as a received practice, but we have no evidence that devices like the Antikythera Mechanism were ever constructed again in antiquity. Similar artifacts reappeared in Europe after more than one thousand years (the first being De Dondi's "Astrarium" at the middle of the XIV century), but *sphairopoiia* never reached again the level of sophistication witnessed by the Antikythera Mechanism (King and Milburn, 1978). Orreries, which became quite popular in modern Europe, usually represented the solar system in a heliocentric frame of reference and, therefore, had no direct connection with astronomical observations (Brewster, 1830). Thus, despite their technological complexity, their value is more aesthetic than scientific.

The aim of this short communication is to argue that a proper consideration of *sphairopoiia* may shed a clearer light on the whole evolution of Greek mathematical astronomy. As Schiaparelli (1874) and Aujac (1993) have emphasized, in the hands of Greek mathematicians this art became a powerful tool for the construction, visualization and validation of astronomical models, and the Antikythera Mechanism shows that in its ripest form it also became an instrument of astronomical computation. Working as an intermediate operational layer between theory and phenomena, my claim is that just the art of sphere-making guaranteed, together with drawing, a solid grounding to the theoretical activity of Greek astronomers.

Geminus on sphairopoiia

One of the authors who uses most often the word *sphairopoiia* in his surviving writings is the philosopher Geminus of Rhodes (I cent. BC).

In Geminus' classification of mathematical sciences, as reported by Proclus (V cent. CE), astronomy is described as follows: «astronomy […] treats the cosmic motions, the sizes and shape of the heavenly bodies, their illuminations and their distances from the Earth, and all such questions. [...] Its parts are: gnomonics, which is engaged with the measurement of the hours through the placement of gnomons; meteoroscopy, which discovers the different altitudes and the distances of the stars and teaches many complex matters from astronomical theory; and dioptrics, which examines the positions of the Sun, Moon, and the other stars by means of such instruments» (Evans and Berggren, 2006, p. 249). Coherently with the problem-oriented and instrument-based approach of Hellenistic mathematics (Russo, 2021; Amabile 2023a), Geminus identifies the three sub-branches of astronomy (1) with a specific class of problems and (2) with the instruments employed in their inquiry: gnomonics with sundials, meteoroscopy with the *meteoroskopeion* (a kind of astrolabe) and dioptrics with the *dioptra*. *Sphairopoiia* is mentioned immediately before, at the end of the paragraph about mechanics: «Also under mechanics come the general science of things in equilibrium and the determination of what are called centers of gravity, as well as sphere-making [*sphairopoiia*] in imitation of celestial motions, such as Archimedes practiced, and, generally, all that is concerned with matter in motion» (*ibidem*). So, according to Proclus-Geminus, in Hellenistic times mechanics ended up dealing generally with "matter in motion", and *sphairopoiia* with celestial motions specifically. Thus, despite Proclus-Geminus formally identifies *sphairopoiia* as a sub-branch of mechanics, it is quite coherent to regard it as an essential part of Hellenistic astronomy proper, namely the one dealing with the actual motions of heavenly bodies. In fact, it is very remarkable that Proclus-Geminus first defines astronomy as the science dealing with "cosmic motions", but then in the description of its different sub-branches the problem of "motion" is never mentioned.

My claim that such class of problems was the specific object of sphere-making, which treated them through the medium of mechanics. This interpretation is coherent with the ambiguous use that Geminus does of the word *sphairopoiia* in the "Introduction to the Phenomena" (Evans and Berggren 2006; pp. 49–58). Here, in addition to the literal sense of "sphere-construction", indicating the mechanical activity or the artifact itself, in different instances Geminus uses *sphairopoiia* in a theoretical sense, *i.e.,* to indicate something that is used to explain the phenomena observed, or to deduce those which cannot be observed, and which in general can be «in accord» or «in contrast» (*ibidem*) with the actual observations. In other words, in Geminus' use *sphairopoiia* has become synonymous with *astronomical model*, quite independently from the possible existence of a mechanical counterpart.

I believe the very same possibility of sphere-making was envisaged by the prominent role that circular motions played for the Greeks as a theoretical cornerstone of their geometry, astronomy, and mechanics. Such theoretical homogeneity allowed

them to transform astronomical problems (involving the observed motions of stars, Sun, Moon and planets) into mechanical ones (involving the rotatory motions of the components of a well-designed device). I believe the key idea of this sort of Greek "mechanical astronomy" consisted in synchronizing the observed heavenly motions with one another, and then reproducing them by analogy on a mechanical device. In other words, the rotatory motions of a *sphaira* were designed to be among them in the same ratio as the observed heavenly motions.

A clear example of this approach is given by the front dial of the AM. Its design involves the theoretical problem of connecting to a single rotatory input the simultaneous motions of Sun, Moon and planets as they are observable from the Earth. In short, the front dial of the Antikythera Mechanism answered the following question: «when the Sun is *there* at such a *date, where should I look* to see the body *x*?» To answer such a question is equivalent to synchronize all the heavenly motions with the motion of the Sun, so that the seven pointers on the front dial become an exact mechanical analog of the heavenly bodies observable in the sky. Also the design of the back dial was based essentially on the same principle, since the two spiral dials, representing a lunisolar calendar and an eclipse-pattern, were based on period relations of Babylonian origin that served exactly the same purpose, *i.e.,* to synchronize the apparent motions of Sun and Moon.

Coherently with the general epistemological framework of Hellenistic mathematics (Amabile 2023a), it is likely that the art of sphere-making shaped like drawing the very conceptual structure of the most mature developments of Greek astronomy. It is sure that Archimedes, exemplar figure of the Hellenistic intertwinement between *episteme* and *techne* and author of a lost treatise "On sphere-making" (*Περί σφαιροποιία*), played a prominent role in perfectioning such a mechanical approach to astronomical problems. However, the seeds of this approach were planted way before.

Eudoxus of Cnidus, the first sphere-maker

As well known, the roots of Greek mathematical astronomy date back to the Pythagoreans. One of the most celebrated Pythagorean mathematicians was Archytas of Tarentum (IV cent BC), a contemporary and friend of Plato, also remembered as one of the founders of the Greek mechanical tradition. According to Diogenes: «[Archytas] was the first to bring mechanics to a system by applying mathematical principles; he also first employed mechanical motion in a geometrical construction, namely, when he tried, by means of a section of a half-cylinder, to find two mean proportionals in order to duplicate the cube» (Diogenes, 2018). In other terms, Archytas was the first to adopt a mechanical approach to geometry (called in modern times "geometria organica") in which geometrical *locii* are conceived as traced by the motion of the parts of a machine; or, more abstractly, by the motions of points, lines, and surfaces. Later examples of this approach are Archimedes' "On the spiral"

(where the "spiral" is defined by two simultaneous motions, one rectilinear and the other circular) and Apollonius' "Conics" (where the "cone" is defined by the rotation of a triangle around one of its sides). In the lost Apollonius' "Plane Locii" geometrical figures were generally classified in fixed, progressing, and revolving, according as they were regarded independently from their mode of generation or as generated by a rectilinear or circular motion (Loria, 1893; p. 192). It is impossible to trace the development of this idea from primary sources, but it is very likely that such a kinematical conception of geometric objects became a standard in Greek geometry, and, as such, implied in their very definitions. Euclid, for example, defines the "sphere" as the figure obtained rotating a semicircle around its diameter.

A younger contemporary and pupil of both Archytas and Plato was Eudoxus of Cnidus, probably the greatest mathematician of the Hellenic period. Despite only fragments of his works survived, we know that he was an illustrious predecessor of Archimedes in the masterly use of the method of exhaustion and that the theory of proportions exposed in Book V of Euclid's "Elements" is mainly due to him. Building upon the mechanical approach of his master Archytas, he was the first to use a combination of simultaneous rotations to account in a relatively simple way for the irregularities observed in heavenly motions. His model, exposed in a lost work entitled "On Speeds" (*Περί ταχών*), consists for each planet in a system of homocentric spheres rotating around different axes and with different speeds, so that a tracing point placed on the equator of the external sphere and carried by all these simultaneous motions periodically draws a spherical lemniscate called *hyppopede*. Thus, identifying the tracing point with the observable sidereal position of a planet, the model gave at least a qualitative account of planetary stations and retrogradations.

It is evident that the theoretical features of Eudoxus' theory by themselves fit the possibility to embed the model of concentric spheres in a real mechanical device. We don't know whether Eudoxus (or someone else) built at the time such a model (probably not, considered the technical difficulties involved), but it is beyond doubt that in Plato's Academy *sphairopoiia* was common practice. Its use as a teaching aid in astronomy is explicitly mentioned in the "Timaeus" (40D), and the mechanism of nested hemispheres described in the myth of Er, put by Plato at the close of the "Republic", has evident analogies with Eudoxus' planetary model.

Eudoxus also composed a *parapegma* and other works of astronomical content. One of these was the "Phenomena", partially preserved thanks to the famous poem of Aratus and to Hipparchus' later commentary to it. It seems that the "Phenomena" was some sort of astronomical survey containing, among other things, a detailed uranography, *i.e.*, a description of the relative positions of stars and constellations made with reference to some standard circles cut off from the celestial sphere. Since we know from Hipparchus that this treatise had a content almost identical to another work entitled the "Enoptron", the reference to a sort of mirror in the title of this latter

suggests that it could have contained a description of a celestial mirror, *i.e*., a celestial globe "mirroring" the celestial sphere. In any case, we know from Cicero (De Republica, 22) that Eudoxus was the first to build a globe with engraved the celestial parallels and the constellations, and it is only reasonable to think that he made extensive use of actual globes in his work.

So, despite none of his works survives, we know from reliable sources that Eudoxus (1) studied in detail the sphere of the fixed stars, probably making use of celestial globes, and (2) that for each celestial body set up the problem of finding a system of concentric rotating spheres generating a spherical curve that was required to satisfy in its mechanical generation the properties exhibited to observation by heavenly motions. As far as we know, Eudoxus was the first to frame the general problems of mathematical astronomy in these terms, and for this reason alone he may well be regarded as the first well-attested Greek sphere-maker.

Eudoxus' approach became the basis for much of the further developments of Greek mathematical astronomy. Along the lines already indicated by the Pythagoreans, spherical astronomy became synonymous with kinematical-mechanical spherical geometry. In the works of Autolycus (IV cent. BC), Euclid (IV-III cent. BC) and Theodosius (II cent. BC) the reference to the actual celestial bodies disappears in favor of the theoretical study of an abstract turning sphere carrying some tracing points on its surface (Evans and Berggren, 2006; pp. 4–8). Thus celestial globes, the simplest version of *sphairopoiia*, allowed, on one hand, to visualize the celestial sphere, *i.e.,* the abstract model used to account for the phenomena, and, on the other, became the very same instrument used to frame and solve problems included in this branch of astronomy. In fact, as Sidoli and Saito (2009) have shown, the theoretical framework of Theodosius' "Sphaerics", an introductory text-book in spherical geometry, reflected the fact that diagrams were conceived to be drawn directly on actual (celestial) globes. The essential point is that, starting from Eudoxus, the distinction between the "abstract" mathematical theory and the "concrete" mechanical model progressively blurs. The celestial globe *is* the theory, in the sense that it fulfills two interrelated aims: it is, on one hand, the unitary model of a certain domain of phenomena, and, when set in motion, a mathematical instrument for computing their occurrence.

Greek Mechanics and circular motions

Whereas the origin of the "principle of circular motion" in the context of Greek astronomy has been matter of endless metaphysical debates, if one assumes the perspective of sphere-making things gets much clearer. After all, since the invention of the wheel, in the context of mechanics circular motions have always occupied a very prominent role.

The oldest extant Greek work on mechanics is the collection of "Mechanical Problems", a list of 35 how and why questions about motion, weight-lifting, friction and

other practical problems involving levers, screws, pulleys and other simple machines (van Leeuwen, 2016). The work survived as part of the pseudo-aristotelian corpus, but the author is unknown. A possible candidate is Strato of Lampsacus (III cent. BC), the successor of Aristotle at the head of the Lyceum, while Winter has argued in favor of Archytas. In any case, no scholar has supported a date of composition later than the early III cent. BC.

Despite their elementary character, the "Mechanical Problems" are interesting for many reasons. First, it is the earliest known example of mathematical physics outside the domains of astronomy and harmony. Secondly, many important ideas are introduced that will be crucial also for the rising of modern mechanics (Rose and Drake, 1971), such as a first distinction between inertia and weight and the parallelogram rule for the composition of motions.

Most notably, in this work the author expresses the need for a theory of mechanics, in which the solutions to specific problems are to be deduced by some general principle, in the absence of which it is difficult to proceed. Such a general guiding principle is found in the properties of circular motions: «The circle contains the first principle of all such [mechanical] matters. This falls out quite logically: it is nothing absurd for a marvel to stem from something more marvelous still, and most remarkable is for there to be opposites inherent in each other, and the circle is made of opposites. It derives from the moving and the standing, whose nature is opposite each the other. [...] Though one (apparent) absurdity may suffice about the circle, a second is that it moves opposite motions. It moves backwards and forwards at the same time. [...] Therefore, as was said earlier, there is no surprise at its being the first principle of all marvels. Everything about the balance is resolved in the circle; everything about the lever is resolved in the balance, and practically everything about mechanical movement is resolved in the lever» (Winter, 2007; p. 2). Putting aside the philosophical arguments about the co-existence of opposites (commonplace in Greek natural philosophy), from the mathematical point of view the fundamental property of circular motion is the following: «Further, many of the marvels about the motion of circles derive from the fact that, on any one line drawn from the center, no two points are swept at the same pace as another but always the point further from the motionless end is quicker» (*ibidem*). It is clearly pointed out, in particular, that the points of any rotating radius have speeds ranging from zero to a maximum, and later it is specified more precisely what this means: «The basis of this is to ask why in the circle is the point standing farther from the center moved faster than the one nearer, when the one nearer is moved by the same force. The "faster" has a double meaning. For if in less time it has crossed equal space we say it is faster; and likewise if in equal time it has crossed more space. The greater in equal time draws a bigger circle, and the outer is bigger than the inner» (*ivi,* p. 3). So, the essential point of the explanation is that all the points of the radius of a rotating circle move simultane-

ously, and since (the extremity of) the greater line in an equal time draws a «bigger circle» it is said «faster». Thus, coherently with Archytas' kinematical approach, the author is effecting a comparison between geometrical magnitudes generated by the motions of points and lines, whose ratio gives the relative speed of the two moving bodies. Remarkably, the author is not measuring the velocity of points in terms of ratios between traveled distances, but in terms of ratios between swept areas. In other terms, *areal* velocity is here considered, and not linear velocity. This aspect, that may be surprising for modern readers used to point-mechanics, is probably a consequence of the fact that the author has in mind real objects like levers, balances, and gears, so there is no question that the points on the diagram could be conceived as disconnected one another.

In explaining why of two concentric circles rotating together the bigger is faster, the author gives some elementary rules indicating how rectilinear and circular motions may be analyzed in their components. The first is the already mentioned parallelogram rule for the composition of simultaneous rectilinear displacements; the other is the still standard decomposition of circular motions into two simultaneous displacements, one along the tangent and the other towards the center. These are then treated independently and called motion "according-to-nature" (*κατα φυσιν*) and motion "contrary-to-nature" (*παρα φυσιν*). The comparison of two distinct circular motions is made in terms of a proportion (in Greek *analogia*) between the corresponding components.

The main point in relation to sphere-making is that already in the early "Mechanical Problems" the theoretical analysis of motions is performed using geometrical constructions representing the simultaneous displacements of moving bodies, with the ratio between them expressing their relative speed. Notice that this is also a natural approach for astronomical problems, where the only thing one can do is to compare the simultaneous motions of different heavenly bodies, picking one among them and using it as a "master clock" to synchronize the motions of all the others.

During the III cent. BC many of the ideas exposed in the "Mechanical Problems" were fully developed and mechanics greatly enlarged its scope both practically and theoretically (Di Pasquale, 2019). In particular, it was turned into a rigorous mathematical discipline, methodologically homogeneous to the other branches of Hellenistic science. Despite only a small portion of his mechanical works survive - namely, the one dealing with problems of statics - it is sure that Archimedes took an active part in this process, and it is hardly imaginable that he didn't treat also dynamical problems involving bodies in motion. Since the decipherment of the famous "Codex C" we know that Archimedes explicitly used statics to induce results that he later deduced by standard geometrical methods. The mechanical-astronomical theory probably exposed in his lost treatise *Τερί σφαιροποιία* could well have been an extension/application of his "mechanical method" to astronomi-

cal problems. Most notably, as we already remarked, the composition of simultaneous motions was used by Archimedes to define the spiral and solve the celebrated problem of squaring the circle.

It is also important to remember that in the Hellenistic period machine-design came to be based on sound theoretical principles and standardized methods. This aspect is made clear, for example, by Philo's "Belopoeica", an extant portion of the bigger "Mechanical Syntaxis". In this work Philo discusses many aspects of catapults-design, dwelling at long on how only a proper interplay between theory (i.e. mathematics) and experimentation can lead to success (Schiefsky, 2015). Throughout the treatise Philo insists on the importance of *symmetria* (literally same measure, commensurability) as a general principle of machine-design. By this Philo means the search for a common measure, a unit element, to which the sizes of all the components of the machine must be referred. In fact, if the machine is designed in such a way that all the parts are commensurate with a common element, its scalability is in principle guaranteed. In the case of catapults, such element is found in the diameter of the hole through which the elastic ropes run through.

Undoubtedly a similar notion of *symmetria* played a crucial role also in *sphairopoiia*. Symmetry between what? On one hand, between the dimensions of the different parts of the device (e.g. between the gears' tooth-number and radii); and, on the other, between the theoretical time relations used to model celestial motions. In the Antikythera Mechanism a clever use of prime-factors between period-ratios, for example, is the key to the optimal use of a small number of gears, some of them being shared by multiple gear-trains (Freeth et al., 2021). In this perspective, it is sure that the heliocentric hypothesis, indicating the solar year as a natural common factor among all the planetary periods, provided essential design indications to sphere-makers. Indeed, the whole structure of the AM, centered on the solar wheel, is by itself a strong indication of the heliocentric character of its design. Remarkably, this is also suggested by Cicero's description of Archimedes' *sphaira*, where all the motions were obtained "by a single *conversio*". It is no case, after all, that no working planetarium has ever been built in the modern era before the Copernican revolution.

Conclusions

Let us summarize the view of sphere-making that emerges from the previous sections and conclude with some open questions.

From the first celestial globes to the complex gearings of the AM, the design and construction of scale-sized models of astronomical theories played a central role throughout the history of Greek mathematical astronomy. The initiator of this thread was probably Eudoxus, who, following his master Archytas, put to profit a kinematical-mechanical approach to geometrical magnitudes. Thus, he was able to translate the general problem of astronomy, *i.e.,* that of describing the relative motions of he-

avenly bodies as they are observable from the Earth, into a mechanical one, *i.e.,* that of devising for each celestial body a proper superposition of simultaneous rotations of a sphere that could reproduce by analogy its apparent motion. Spherical astronomy evolved along Eudoxus' lines, and it would be surprising if the same didn't happen also for the more complex problems involving the relative motions of Sun, Moon, and planets. In particular, it is reasonable to think that through the medium of sphere-making astronomy could benefit from the progresses of mechanics, the two disciplines being in conversation with each other. This kind of interplay between astronomy and mechanics would be perfectly coherent with the general epistemological framework of Hellenistic mathematics, in which the link between "abstract" theory and "concrete" technological applications became very tight. For example, in view of the analogy between eccentric-epicycle constructions and the "pin-slot device" found in the Moon gear train of the AM, Evans and Carman (2000) argued that abstract epicycle-and-deferent models could have a mechanical origin just in the art of sphere-making. More recently, Carman (2017) showed how simply the Greeks could have arrived at the "pin-slot device" directly from Babylonian astronomical records and independently from any knowledge about eccentrics-epicycle models, which in this line of development would be the theoretical abstraction and generalization of a mechanical computation.

More generally, as we saw, already in the earliest phases of Greek mechanics the geometrical analysis of motions was carried out by comparing the corresponding times of simultaneous displacements, an approach which applies identically to astronomical motions. Unfortunately, we cannot trace by primary sources the evolution of such a dialectic relationship between astronomy and mechanics, but it is noteworthy that (1) Archimedes, the most revered mathematician and engineer of the Hellenistic age, devoted a full treatise to *sphairopoiia*, thus testifying the general relevance of this practice, and (2) that Geminus used *sphairopoiia* as a byword for "astronomical model" independently from its mechanical realization, a metaphorical use that suggests a sort of "theoretical unification" of astronomy and mechanics.

We are thus led to the conjecture that in Hellenistic times the distinction between sphere-making and theoretical astronomy somewhat blurred, with the design and construction of astronomical machines playing a role similar to that of computer simulations in modern astronomy. In light of Eudoxus' mapping between astronomical and mechanical problems, one could reason directly on the mechanical models, which over time became computational tools specifically adapted to astronomical problems. In other words, given a well-defined problem (*e.g.,* to calculate a sequence of lunar eclipses), instead of drawing its solution on a diagram with a cleverly set up geometrical construction, one could simply set in motion a mechanical device incorporating the astronomical theory at hand (*e.g.,* the back side of the AM, incorporating the Saros cycle).

The amazing remnants of the Antikythera Mechanism are a clear indication of the high level of sophistication achieved by Hellenistic mechanical astronomy. Nevertheless, sphere-making has received little attention in the existing literature and a lot of questions about the history of this art remain unanswered, such as: what kind of theory was exposed in Archimedes' lost treatise? How did sphere-making interact with the Greek assimilation of Babylonian astronomy, in which Hipparchus played a prominent role? What planetary theory made the front dial of the Antikythera Mechanism possible? (Amabile, 2023a). But also: what was the role of sphere-making in the transmission of Hellenistic astronomical knowledge? How was the epistemic status of sphere-making re-interpreted by later astronomers? Ptolemy (II cent. CE), for example, devoted his "Planetary Hypotheses" to sphere-making (Hamm, 2016), but his introductory remarks plainly show a misunderstanding of this practice (Amabile, 2020). Is there some relationship between the astronomical models of the "Almagest" and the art of sphere-making? I firmly believe that these problems deserve great attention, since *sphairopoiia* could be the key to decipher the astonishing and still-mysterious evolution of Greek mathematical astronomy.

References

Amabile A. 2020. *Le fonti ellenistiche dell'Almagesto di Tolomeo*. Quaderni di Storia della Fisica, 1.

Amabile A. 2023a. *A New Look at the Antikythera Mechanism.* Phd Thesis, University of Naples Federico II.

Amabile A. 2023b. On a theory of the Antikythera Mechanism. Il Nuovo Cimento, 46C, 77.

Aujac G. 1970. La Sphéropée, ou la Mécanique au Service de la découverte du Monde. Revue d'Histoire des Sciences et Leurs Applications, 23(2), 93-107.

Aujac G. 1993. *La Sphère, Instrument au Service de la Découverte Du Monde. D'Autolycos de Pitanè à Jean de Sacrobosco*. Orléans: Paradigme.

Brewster D. 1830. Planetary Machines. In: *Encyclopedia of Edinburgh*, 623-651.

Carman, C. C. 2017. From Babylonian records to pin and slot: A possible path. Archive Internationales d'Histoire des Sciences, 67, 179, 362-382.

Diogenes. 2018. *Vitae Philosophorum* VIII, 83 (translation by R.D. Hicks). s.l.: CreateSpace Independent Publishing Platform.

Di Pasquale G. 2019. *Le Macchine nel Mondo Antico*. Roma: Carocci.

Evans, J. 1984. On the function and the probable origin of Ptolemy's equant. American Journal of Physics, 52.12, 1080-1089.

Evans J., Berggren J.L. 2006. *Gemino's Introduction to the Phenomena.* Princeton: Princeton University Press.

Evans J., Carman, C.C. 2000. Mechanical Astronomy: A Route to the Ancient Discovery of Epicycles and Eccentrics. In: *From Alexandria Through Baghdad. Sources and Studies in the Ancient Greek and Medieval Islamic Mathematical Sciences in Honor of J. L. Berggren* (N. Sidoli and G. Van Brummelen Eds). Berlin: Springer.

Freeth T., Higgon D., Dacanalis A., MacDonald L. *et al*. 2021. A Model of the Cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism. Scientific Reports, 11.5821.

Hamm, E. A. 2016. Modeling the Heavens: Sphairopoiia and Ptolemy's Planetary Hypotheses. Perspectives on Sciences, 24, 4, 416–424.
Jones A. 2017. *A Portable Cosmos*. Oxford: Oxford University Press.
King, H., Milburn J. 1978. *Geared to the Stars: the Evolution of Planetariums, Orreries, and Astronomical Clocks.* Toronto: University of Toronto Press.
Loria G. 1893. *Le Scienze Esatte nell'Antica Grecia.* R. Accademia di Scienze, Lettere ed Arti di Modena.
Rose, P. L., Drake S. 1971. The Pseudo-Aristotelian Questions of Mechanics in Renaissance Culture. Studies in the Renaissance, 18, 65–104.
Russo L. 1994. The Astronomy of Hipparchus and His Time: a Study Based on Pre-Ptolemaic Sources. Vistas in Astronomy, 38, 207-248.
Russo L. 2021. *La Rivoluzione Dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna.* III ed., Milano: Feltrinelli.
Schiaparelli G. 1874. *Le Sfere Omocentriche di Eudosso, di Callippo e di Aristotele*. Milano: Ulrico Hoepli.
Schiefsky M.J. 2015. Techne and Method in Ancient Artillery Construction: The Belopoeica of Philo of Byzantium. In: *The Frontiers of Ancient Science. Essays in Honor of Heinrich von Staden* (B. Holmes and K.D. Fischer Eds.). 613-651. Berlin: De Gruyter.
Sidoli N., Saito K. 2009. The Role of Geometrical Construction in Theodosius's Spherics. Archive for History of Exact Sciences, 63(6), 581-609.
Van Leeuwen J. 2016. *The Aristotelian Mechanics. Texts and Diagrams.* Springer International Publishing.
Winter T.N. 2007. *The Mechanical Problems in the Work of Aristotle*. University of Nebraska-Lincoln, Faculty Publications.

Salvatore Esposito

Factories, bridges and steam engines: G.S. Poli, C. Lippi and the technological renovation in the Kingdom of Naples between the end of the 18th and the beginning of the 19th century

Fabbriche, ponti e macchine a vapore: G.S. Poli, C. Lippi e il rinnovamento tecnologico nel Regno di Napoli tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo

Abstract

The scientific and technological renovation that led the Kingdom of Naples to be one of the most advanced in Europe in the nineteenth century, with the launching of the first steamboat in the Mediterranean, the first railway in Italy, etc., is essentially due to the work by Giuseppe Saverio Poli. This resulted particularly effective in the scientific dissemination in the different social strata of the Kingdom in the last decades of the eighteenth century, allowing – among other things – scientific progress to be made visible even in its technological achievements. An example that will be illustrated here is the introduction into Italy of the prodigious steam engine, used to drive a hydraulic pump for the irrigation of the fields at the Royal Estate of Carditello, specially created by James Watt in 1788 and known as "Poli's Engine". Another example is the establishment of a modern "English-style" hunting shot factory, built (albeit only partially) in a partnership between Poli and Carminantonio Lippi. The latter scholar also personally contributed at least to the ideation of futuristic technological works at the beginning of the nineteenth century, such as an iron suspension bridge over the Garigliano river and an artificial waterway that would be able to connect the Adriatic Sea with the Tyrrhenian Sea, through the drainage of the waters of the Lake Fucino. Although these last works were not realized by Lippi, but only after his death by others, the examples that we will discuss here make it clear how the Kingdom of the Two Sicilies established itself as the most scientifically evolved, and technologically advanced, state among the Italian states until Unity.

Sommario

Il rinnovamento scientifico e tecnologico che portò il Regno di Napoli a essere uno tra i più avanzati in Europa nell'Ottocento, con il varo del primo battello a vapore del Mediterraneo, la prima ferrovia in Italia, e così via, si deve essenzialmente all'opera di Giuseppe Saverio Poli. Questa fu particolarmente efficace nella diffusione

scientifica nei diversi strati sociali del Regno negli ultimi decenni del XVIII secolo, consentendo tra l'altro di rendere visibile il progresso scientifico anche nelle sue realizzazioni tecnologiche. Un esempio che qui verrà illustrato è l'introduzione in Italia della prodigiosa macchina a vapore, utilizzata per azionare una pompa idraulica per l'irrigazione dei campi della Reggia di Carditello, appositamente realizzata da James Watt nel 1788 e nota come "*Poli's Engine*". O anche lo stabilimento di una moderna fabbrica di pallini da caccia "all'uso inglese", realizzata solo parzialmente, in società tra Poli e Carminantonio Lippi. Quest'ultimo personaggio contribuì personalmente anche almeno alla ideazione di opere tecnologiche avveniristiche all'inizio dell'ottocento, come il ponte pensile in ferro sul fiume Garigliano e un canale artificiale navigabile che avrebbe dovuto collegare il mare Adriatico con il Tirreno, mediante il drenaggio delle acque del Lago Fucino. Sebbene queste ultime opere non furono realizzate da Lippi, ma solo successivamente alla sua morte da altri, gli esempi che qui illustreremo ben fanno comprendere come il Regno delle Due Sicilie si affermò come lo stato più evoluto scientificamente, e avanzato tecnologicamente, tra gli stati italiani fino all'Unità.

Introduction

The arrival of Charles of Bourbon in 1734 marked the beginning of that renovation of the Kingdom of Naples, which was then carried forward by his son Ferdinand IV during his long reign between the eighteenth and nineteenth centuries (Croce, 1992). Precisely during this reign, the foundations were laid for the largest among the Italian states to become one of the most scientifically and technologically advanced in Europe. Suffice it to say, by way of banal examples, that the third capital of Europe, after Paris and London, will then see the launch of the first steamboat in the Mediterranean and the first railway in Italy, among the many innovations carried out in the Kingdom of Two Sicilies during the nineteenth century.

As assessed elsewhere (Esposito, 2017; 2020a; 2020b), one of the most influential figures during the reign of Ferdinand IV, thanks to whom the basic roots of scientific thought as well as technological innovations penetrated effectively and enduringly in the Kingdom of Naples, was Giuseppe Saverio Poli (1746-1825). An eclectic scientist, with interests that extended from medicine, physics, natural sciences to purely historical and humanistic fields, his training developed mainly outside the borders of his homeland. Poli then gradually achieved an increasingly important role in the Bourbon kingdom, thanks to the skills acquired and to the loyalty to the Bourbon house (Esposito, 2020a).

In 1774 he was given the rank of Second Lieutenant and began to teach Geography and Military History at the Royal Academy of the Corps of Cadets, later *Reale Accademia "Nunziatella"*. Promoted to Lieutenant, Poli was sent abroad to acquire instruments for the academy's scientific cabinet, and he took this opportu-

nity to visit the most important academies and institutes not only in Italy, but also in Germany, France, England and Holland. Back to Naples in 1780, Poli was appointed to the Chair of Experimental Physics at the *Nunziatella*. The textbook collecting his lectures (Poli, 1781), counting from 1781 to 1824 a total of 23 new editions and reprints, became the most widely used in Italy between the end of the eighteenth century and the first quarter of the nineteenth century, thanks to its clarity of exposition. Due to his encyclopedic culture, in 1784 King Ferdinand IV selected Poli to tutor to the Crown Prince Francis I, and from that point an indissoluble link with the Royal family was forged, with many important court assignments. Poli voluntary followed the Royal family into exile both in 1799, during the brief period of the Neapolitan Republic, and in 1806, during the decade of the French domination in the Kingdom of Naples. Among the many prestigious assignments received, at the first restoration he was nominated Commander of the *Nunziatella* Academy (1803); after the second exile, he became President of the *Reale Istituto d'Incoraggiamento alle Scienze Naturali* (1816) and, finally, *Ufiziale alla immediazione di Sua Altezza Reale* Francis I (1824), following closely his beloved prince. It was precisely these prestigious positions that allowed Poli to introduce in a lasting manner those ferments that effectively allowed the scientific and technological renovation of the Kingdom of Naples, of which we will see some examples below.

The work of Carminantonio Lippi (1760-1823) was, instead, of a completely different character, notwithstanding his futuristic intuitions were certainly among the most advanced in the Europe of his time: unfortunately, they did not see his direct participation in their realization, due to his particularly impetuous ways of acting (D'Angelo, 2016). The young Lippi benefited from fundamental training abroad too. He was in fact selected as one of the six naturalists who were sent abroad in 1789 by the Bourbon government, primarily «to acquire the knowledge needed to become proficient in mine work and all the manufacturing of which chemistry is the support, in order to then transfer it to the Fatherland and be useful in instructing youth in the sciences»[1]. As a matter of fact, that journey resulted into the acquisition of knowledge and skills also in many other technological and scientific fields, such as chemistry and engineering. The expedition lasted until 1796, touching many important centers in Austria, Germany, France, England, etc., and subsequently had notable repercussions on the Neapolitan political-scientific context.

Lippi's desire to delve into many disciplines allowed him to acquire a notable cultural and technical background which, upon his return to Naples, he was ready to put at the service of his homeland. Lippi drafted numerous projects relating to the creation of industrial plants, scientific and public education institutes, which however were not accepted. In 1802 he also gave the government his mineralogical collection acquired during his travels, 50 cases of minerals, at a remarkably low price: this formed the basis for the subsequent establishment of the Royal Mineralogi-

cal Museum. Nonetheless, Lippi had to clash with a traditionalist and conservative academic world that led him, contrary to what happened to his other companions, to a condition of isolation. After the events of 1799, the hostility towards him, together with the indifference of the king, led Lippi to a voluntary "exile" in France in 1804, both to seek greater fortune and to progress in his continuing training. When French domination was established, Lippi returned to Naples, but the situation did not change appreciably, both due to the conservative scientific environment that still dominated and due to his particularly intransigent attitude, not at all well-disposed towards critics. However, once the Academy of Sciences of the *Società Reale di Napoli* was founded in 1808, Lippi became a member of it and, over time, he was also entrusted with some scientific tasks. Due to his unfortunate scientific positions, for example about the origin of volcanoes (Lippi, 1815), and to more than bold ideas in engineering, upon which he later concentrated on, see below, the last part of his life was particularly unhappy. Virtually reduced to poverty, and even locked up in a mental hospital, Lippi paid a high price for his intransigent opposition to the academic and scientific world of the Kingdom of the Two Sicilies.

In the following we will briefly outline through key examples how Poli and Lippi substantially contributed, though in completely different ways, to the scientific and technological renovation of one of the most important state in Europe between the end of the eighteenth century and the beginning of the nineteenth century.

A technological jewel: Poli's engine for the King of Naples

The introduction into Italy of the most important technological prodigy of the 18th century, the steam engine, is usually dated to 1818, when the first steamship in the Mediterranean was built in the Kingdom of the Two Sicilies. However, this episode had a notable precedent of about 30 years (Esposito, 2020b), when the problem arose of irrigating during summertime the fields of the Royal Estate of Carditello, a place particularly loved by Ferdinand IV, who preferred it to the more sumptuous Royal Palace of Caserta. Upon request of the sovereign, in 1786 Poli wrote to Matthew Boulton, James Watt's partner, to order a hydraulic pump to irrigate the fields of the royal estate. In fact, during his trip to England, Poli had "discovered" the existence of the wonderful *tromba a vapore* or *tromba a fuoco*, steam pump, that is, a hydraulic pump driven by a steam engine. The description and operation of it, along with its possible applications, were promptly reported in a subsequent edition of his textbook: «It is termed steam pump since its working power is due neither to men nor animals, but rather to the steam coming from boiling water. Continually rising from a big boiler full of water placed above a small furnace, this steam penetrates into a pump, where alternatively produces vacuum and plenum. […]. Its applications and advantages are innumerable, since very great is its efficacy to raise any quantity of water to any height, as well as to provide mills and ship- canals with water, to dry

lakes and marshes of any magnitude, to produce uninterrupted and regular motions in any direction. The pump to raise water can be divided from what the English terms Steam Engine, consisting just in the cylinder – where we noticed the steam from the boiling water enters – from which the power of the engine develops. Then, by means of just such an engine and without the help of any water but that in the boiler, paper mills, grinding mills and any other device can work, sometimes with an infinite advantage, especially in countries poor of water» (Poli, 1794). Due to various vicissitudes (Esposito, 2020b), the affair relating to the purchase of the *tromba a vapore* for the Carditello estate lasted a few years. Poli contributed to its success not only as an intermediary, but also actively for the design of the most appropriate engine to build for the actual case. First of all, he carefully experimented to determine the quantity of water needed to irrigate the fields of Carditello, in order to provide Boulton and Watt with a detailed explanation of the power of the steam engine to be used. Furthermore, at Boulton's request, Poli also provided the technical details about the place where the pump was to be erected. They included plans of the Volturno river with the Carditello estate, and Poli made a number of suggestions on the place for the steam engine, on how to convey the water into the pump, where to build the relevant canal, etc. Evidently, he was particularly interested in the matter, not only to promptly fulfill the sovereign's wishes, but also for a purely scientific involvement.

"Poli's engine", as it was explicitly called by Watt who specially designed it, employed a double-acting cylinder, where the steam acted alternately on both faces of the piston, and included the parallel motion mechanism invented by Watt to allow the transmission of the approximately rectilinear up-down motion of the piston to an arm moving on a circular arc: «[The engine] that I had built [...] has three feet in diameter, and is able to lift 500 cubic feet of water up to the height of 25 feet in the stretch of each minute; and consequently 30 thousand cubic feet in one hour time. Consider each one as an immense copy that raises it in the interval of 24 hours!» (Poli, 1794). This technological prodigy remained in operation for only a little more than ten years, from 1788 to 1799, since it was destroyed during the turmoil of the Neapolitan Revolution, when the Bourbon court fled into exile in Palermo. Here, evidently, the rebels who were asking for improvements in their living conditions did not understand the importance of scientific and technological progress, probably due to the short-sightedness of the Bourbons, in this case, in extending the benefits of such progress to all social classes. As a consequence of this, it is peculiar that even the historical memory of this first attempt at technological modernization in the Kingdom of Naples has been lost, moving the introduction of the first application of the steam engine in Italy forward by thirty years. However, it is equally notable that the launch of the "Ferdinand I", the first steamboat sailing from Naples on 27 September 1818 towards Genoa and Marseille (Ressmann, 2007), was nevertheless a fruit of that work of penetration of the scientific and technological revolution implemented by Poli.

An advanced (though incomplete) shot factory in Posillipo

Though the most important one, the steam engine built for the Royal Estate of Carditello as early as 1787 was not the only innovation introduced in the Kingdom of Naples from the allied England. Another example of that fruitful exchange between the two countries, favored by the Bourbon policy of openness to technological progress, is the following one, again having Poli as its key element, though acting as a controversial businessman. Ten years later, in 1797, Poli was indeed involved in an entrepreneurial business concerning the production of shot balls for hunting.

When he was in London, Poli became acquainted with Charles Hutton (Johnson, 1989), Professor of Mathematics at the Royal Military Academy of Woolwich, who described him some results he obtained concerning ballistics. By experimenting with the ballistic pendulum of Robins, Hutton studied the resisting power of the air on projectiles, finding an effective improvement on gunnery when "cylindrical" shot, that is, an equilateral cylinder with two half-spheres attached to its bases, were employed (Robins, 1805). Back to Naples, *Nunziatella*'s professor of Experimental Physics reported Hutton's results to his colleague Vincenzo Polizzy, professor of Mathematics at the same Royal Academy. This circumstance, testifying the interest in the topic at the end of the 18th century, however, was not directly at the basis of the entrepreneurial business mentioned, which was instead stimulated by Carminantonio Lippi.

Sometime after the return of the six "mineralogists" from their journey to Germany, Austria, France and England, Poli conceived the idea of building a modern factory of hunting shot, in order to meet the wishes of King Ferdinand: «[His Majesty] instructed the said Mr. Poli to find out from the same [mineralogists] whether they had observed such a manufacture there, and whether they were in the position of establishing a similar one in Naples. H.M. made it known to the said mineralogists (again through the agency of the said Mr. Poli) [...] that he wanted to deign to encourage this undertaking. This generosity of H.M. made Mr. Poli conceive the plan to undertake such a manufacturing on his behalf» (Lippi, 1805b). The problem with the standard making of lead shot was due to the sudden cooling of the molten lead that, as soon as it poured through an iron sieve, was collected in the form of pellets in a tub of water immediately under the sieve. The shot was usually crushed and of an irregular shape, often pierced. In 1782, William Watts in Bristol patented the idea of letting the molten lead to travel a great height in the air before falling into the water below, so that the pellets cooled significantly in the air, becoming round and solid. This was achieved by building high "shot towers" from which molten lead was dropped, with the result that the round, compact and solid English shot could reach a greater distance than that reached by ordinary ones, when shot from a given gun with the same quantity of gunpowder (Minchinton, 1933).

The large financial expense for the construction of the high shot tower and the foundry, however, discouraged Poli from starting the venture, but Lippi came up with a clever idea to minimize expenses and make the factory very competitive at a

European level. The foundry could be installed on the top of a hill in Posillipo, and the molten lead could be dropped into a vertical excavation in the tuff of the hill, and then end up in the sea water below. Lippi also invented and built a machine, based on a large toothed wheel, that was used to raise up the hill the material needed for the foundry, which could arrive, more economically, by sea. The same machine also operated a large cylinder containing graphite powder, which was used to "polish" the pellets, making them rounder and smoother: «An English shot factory, much more economical, advantageous, and perfect than that of Mr. Watt[s] in London, has been established with very happy success by Lippi at Posillipo. The beautiful machine invented by Lippi, to raise the materials above the foundry, and to give shine to the shot, still serves to obtain spun iron, in which it has proved extremely advantageous. Such a new kind of machine is not seen in the rest of Europe. With public document Lippi associated himself with the Illustrious, Magnificent and Most Respectable Mr. D. Giuseppe Poli, who undertook: 1. to provide all the money needed for the establishment of the said factory; 2. to make all the necessary funds for the purchase of lead, always proportionate to the sale of shot; 3. to give Lippi half of all profits. On the other hand, Lippi obliged himself: 1. to use his knowledge for said establishment; 2. to pay Mr. Poli half of the expenses incurred from the half of the profits due to him, and, in the event that the factory does not succeed, pay it with his own money» (Lippi, 1805a). In March 1797 the King granted the exclusive privilege of 20 years for the manufacture of hunting shot, with immunity from customs duty for 10 years on the necessary lead; in the following May the leasing contract for the hill of Posillipo was stipulated for 40 years, while in June the contract between Lippi and Poli was signed, as well as a first contract with a dealer, D. Ottavio Abenante, for the annual sale of 2000 *cantaja* of shots: one *cantaro* corresponds to approximately 89 kg.

The factory was, indeed, another technological jewel of the Kingdom of Naples; as witnessed in the Bourbon newspapers of the early nineteenth century, «*a buon diritto [essa] fu un tempo riputata quanto quella di Southwark, salita in fama sopra tutte le altre dell'Inghilterra*»[2].

Unfortunately, the building factory was not fully completed[3] and, in any case, it partially worked only for a limited period. Shortly after the formal establishment of the factory, Lippi embarked for a second journey to Germany, and, for some unknown reason, Poli did not keep faith in the commitment he took at his return from the voluntary exile in Sicily following the Neapolitan Revolution of 1799, so that the construction was not actually completed. Furthermore, Poli put in effect several expedients to the detriment of Lippi, and a lawsuit was opened, asked by Lippi: the question remained open for about twenty years, with the interests of the powerful Poli finally prevailing. The subsequent factory for «perfect hunting shot» was then established in Naples only in 1833, by the machinist of the Royal Astronomical Observatory of Capodimonte, Augusto Aehnelt[4].

Futuristic suspension bridge and artificial waterway

The strong interest of Lippi in different areas of science and especially technology was nourished by his long journeys abroad (D'Angelo, 2016); for example, already during his first journey in France, he studied and deepened his knowledge about civil engineering. During the French rule of the Kingdom of Naples (1806-1815), he was then able to put forward a very innovative proposal regarding the construction of a bridge over the Garigliano river, presented for the first time in June 1809 at the Board of Engineers of the *Corpo di Ponti e Strade* in Naples: «As early as 1809, I proposed a new type of bridge for the Garigliano, which I called hanging from its nature, because without pillars, and supported by iron chains, fixed with large iron poles on the two facades of the building, placed in the form of planes inclined to the two banks of the river, which chains support an oak plank for the passage, equipped on both sides with parapets, or iron grates, like those of the balconies» (Lippi, 1820a). In the early nineteenth century, the proposal for a hanging chain bridge was quite daring, due to the fragility of the metal and the combined structures. The futuristic idea came to Lippi thanks to the experience acquired in his travels, when he realized the advantages connected to the replacement of the cables of the walkways with iron chains, together with the fact, of which Lippi was aware, that the bottom of the Garigliano river made the installation of the pilings, on which to build the pillars, very problematic. After a thorough evaluation by the Board, the project was rejected: «Chains and ropes placed horizontally can never form a straight line, but rather a curve, which from its generation is called ropery or catenary [...]. For this reason [Lippi] did not see the immense friction that the chains suffer at the corners of the ramps, since he did not even suspect it»[5]. Thanks to the successes that the suspension bridges subsequently had in France and England, the first one was the Dryburgh Abbey Bridge realized in 1817, and encouraged by the positive reviews he had obtained in Europe (Lippi, 1817a), Lippi proposed his project again in 1820 (Lippi, 1820), also adding some structural elements, such as the intermediate pilings useful for supporting the chains. Once again, however, the Board of Engineers did not approve the project, which was always prejudiced by a series of inaccurate scientific arguments concerning the anomalous conception he had of the catenary: «Can't the catenary disappear, or rather can't we have a horizontal bridge at its base despite the fact that the chains were arched? With wooden plinths placed under the planking, i.e. the surface of the bridge, and supported by the chains, the bridge is levelled, and thus you have a straight line, which extends above the concavity of the arch and the catenary disappears in the bridge»[6]. Lippi's anticipatory idea was taken up again in 1826 by Luigi Giura, who on behalf of King Francis I of Bourbon actually built, between 1828 and 1832, the first iron catenary suspension bridge in Italy, i.e., the *Ponte Real Ferdinando* (Parisi, 2016).

Due to Lippi's particularly impetuous and certainly not humble character, many other innovative intuitions of his in various fields, repeatedly proposed to both the

Bourbon and French governments of the Kingdom of Naples, were not taken into due consideration, although some of them were later plagiarized by others. These included proposals for the establishment of mines for the metallurgical industry and the establishment of a mountaineering-metallurgical academy (Lippi, 1798; 1818); construction of various factories (Lippi, 1806); reorganization of the Mint (Lippi, 1807); as well as various inventions, i.e. cannon and engines with various accessories for different functions, inspired by the steam engine, both for civil and military purposes (Lippi, 1819).

Probably, the most futuristic project was inspired by the courses he attended at the École des ponts et chaussées in Paris, where he was particularly interested in dam construction techniques, artificial canal supply systems and some machines used in the creation of hydraulic systems (D'Angelo, 2016). Lippi was especially attentive to the techniques used by the French engineers in the formation of artificial canals to irrigate the fields, or to facilitate navigation within Paris, even joining the shores of two seas. After his return to Naples, as early as 1815 he then proposed the creation of a canal to join the Tyrrhenian Sea to the Adriatic Sea (Lippi, 1817b), by creating a drainage system for the waters of Lake Fucino, which was at a higher altitude than both seas: «There is no doubt that the Fucino is at a higher altitude than the two seas, and the demonstration is in the natural drainage of the waters, which from the vicinity of that lake flow towards the [Tyrrhenian sea], following the Liri or Garigliano, and flow towards the Adriatic sea, following the Aterno, and Pescara» (Lippi, 1820b). With the Bourbon restoration in 1815, the problem that had already emerged in all the Italic states during the Napoleonic regime also began to arise in the Kingdom of Naples, namely that of conceiving hydraulic solutions to provide the kingdoms with total navigability, both for strategic-military and commercial issues. Furthermore, due to the lack of emissaries, and to sudden changes in the water level, Lake Fucino often caused floods or unhealthy shallows, so much so that it has been the subject of numerous attempts at regulation since ancient times. With his project, presented repeatedly, for instance, in 1820, to the Constitutional Parliament of the Two Sicilies, he intended to solve both problems by cutting the Italian Peninsula in half with a canal that united the two seas, and which was navigable via a system of hydraulic locks: «Imagine, gentlemen, being at the highest point through which a planned canal will have to pass. The difficulty consequently consists in boarding a boat above this point from two lower horizons, and descending to these from the same point. […] The locks form the most beautiful, marvelous and useful invention in hydraulic architecture that Italy can boast of […]. If the water in the upper basin lowers, falling into the lower one, the boats also lower, descending a height equal to the depth of the basin from which they descend. On the contrary, if the boats are in the lower basin into which the waters fall, as they rise the boats also rise, until they reach the upper basin, with which they level up, and therefore the boats rise to a height equal to that of the lower basin, in which they find themselves» (Lippi, 1820b). Needless to say, the project, not feasible at the

time and certainly very expensive, was never accepted, instead raising voices of derision against Lippi, who once again seemed to have given vent to his crazy ideas. The draining of Lake Fucino was carried out only later, essentially by Alessandro Torlonia, with the concession of King Ferdinand II, who, starting from 1854, just expanded and reused pre-existing hydraulic engineering works (de la Varenne, 1862).

Conclusions

Poli's contribution to the actual scientific dissemination in different social strata in the Kingdom of Naples, in the last decades of the eighteenth century, was unparalleled and particularly effective. It allowed, among other things, to make scientific progress visible even in its technological achievements, starting from the introduction in Italy of the prodigious steam engine. Taking advantage of his prestigious role at the Bourbon court, still eager to "enlighten" its kingdom, he managed to encourage the realization of various technological wonders, which thoroughly revolutionized the Kingdom of Naples and continued over time. Some historical cases, which we have discussed above, show how this occurred even in the presence of important works completed or even just proposed that were subsequently even erased from historical memory due to various vicissitudes. An example of this is the construction of a hydraulic pump driven by a steam engine, "Poli's Engine", specially built in 1788 by Watt, following Poli's instructions, for the irrigation of the fields of the Royal Estate of Carditello. Another example is the construction in 1797 of an "English-style" bullet factory in Posillipo, in a partnership between Poli and Lippi; or even the project of an iron suspension bridge over the Garigliano river proposed by Lippi since 1809, or that of the realization of an artificial waterway connecting the Adriatic Sea with the Tyrrhenian Sea in 1815, never realized by him. The beneficial effects of these achievements and, above all, the widespread scientific and technological promotion carried out especially by Poli in various fields persisted well beyond their contingent action. They made the Kingdom of the Two Sicilies the most scientifically evolved, and technologically advanced, among the Italian states until Unity.

References

Croce B. 1992. *Storia del Regno di Napoli*. Milano: Adelphi.

D'Angelo F. 2016. Between the Kingdom of Naples and France: scientific travel, training courses and exile in the late eighteenth century and the first half of the nineteenth century. HAL archives ouvertes.

De la Varenne L. 1862. Dello scaricatoio di Claudio: interramento del lago di Fucino. Rivista Contemporanea, 31, 95-121.

Esposito S. 2017. Enlightenment in the Kingdom of Naples: The Legacy of Giuseppe Saverio Poli through Archive Documents. In: *Proceedings of the 36th Annual Congress of the Italian Society of the Historians of Physics and Astronomy* (S. Esposito Ed.), 33-52. Pavia: Pavia University Press.

Esposito S. 2020a. Giuseppe Saverio Poli e lo sviluppo della scienza tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento. Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL - Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica, Matematica e Scienze Naturali, 1, 125-139.
Esposito S. 2020b. From England to Italy: the intriguing story of Poli's engine for the King of Naples. Physics in Perspective, 23, 104-138.
Johnson W. 1989. Charles Hutton, 1737-1823: The prototypical Woolwich professor of mathematics. Journal of Mechanical Working Technology, 18, 195-230.
Lippi C. 1798. *Memoria relativamente alla coltura delle miniere delle Sicilie*. Vienna: Stamperia D'Alberti.
Lippi C. 1805a. *La fabbrica de' pallini all'inglese stabilita in Posillipo da Carminantonio Lippi associato col Signor d. Giuseppe Poli*. Napoli: s.e.
Lippi C. 1805b. *Umilissima supplica*. Montpellier: Tournel.
Lippi C. 1806. *Promotion des sciences utiles et de l'industrie*. Paris: Gratiot.
Lippi C. 1807. Progetto relativo agli Orefici, ai Bisciottieri, ed ai Fabbricanti di galloni. Napoli: s.e. Lippi C. 1815. *Esposizione de' fatti, che da novembre 1810 a febbrajo 1815 han avuto luogo nell'Accademia di Scienze di Napoli*. Napoli: s.e. Lippi C. 1817a. *Ponte pensile sul Garigliano*. Napoli: s.e.
Lippi C. 1817b. *Lago Fucino emissario di Claudio*. Napoli: s.e.
Lippi C. 1818. *Ultime parole pel Bene della Patria*. Napoli: Fratelli Fernandes.
Lippi C. 1819. *Artiglieria a vapore condensato e meccaniche secondarie animate da questo gas*. Napoli: Sangiacomo.
Lippi C. 1820a. *Trionfo in Napoli, in Parigi, ed in Londra del ponte pensile proposto pel Garigliano*. Napoli: s.e.
Lippi C. 1820b. *Dottrina de' canali di navigazione ne' terreni elevati*. Napoli: Luigi Nobile.
Minchinton W. 1933. The shot tower. The Shot Peener, 7, 22-24.
Parisi R. 1833. As an «Overturned Rainbow». The suspension bridges in the Italian architectural culture of th 19th Century. In: *Atti del XIII Congresso TICCIH organizzato dall'Istituto Momigliano per la Storia d'Impresa*, Terni and Rome, 14-18 September 2006.
Poli G.S. 1781. *Elementi di fisica sperimentale*. Napoli: Fratelli Raimondi.
Poli G.S. 1794. *Elementi di fisica sperimentale*. Venezia: Tipografia Pepoliana.
Ressmann C. 2014. La prima nave a vapore del Mediterraneo. Lega Navale, CXVII, 35-40.
Robins B. 1805. *New Principles of Gunnery*. London: Wingrave.

Notes

[1] Naples, Archivio di Stato di Napoli, *Ministero delle Finanze*, f. 764

[2] See Annali Civili del Regno delle Due Sicilie, year 1833, vol. 2, p. 73

[3] After some time, the Minister of War and the Navy visited the factory, then asking the Ministry of the Interior to provide a loan of 4000 ducats to complete the construction; the loan would have been returned thanks to the proceeds of the sale of the iron yarns to the Arsenal and Artillery. The request was also supported by several institutional commissions, with no final success (Lippi, 1815).

[4] See Annali Civili del Regno delle Due Sicilie, cit.

[5] Naples, Archivio di Stato di Napoli, Ponti e Strade, s. II, f. 307/1, L'Ispettore del Corpo Reale di Ponti e Strade Ignazio Stile al Generale Campredon, Napoli 16 febbraio 1810

[6] Naples, Archivio di Stato di Napoli, *Ponti e Strade*, s. II, f. 9, incartamento 5-8.

Antonio Coppola

Trasporti urbani tra storia e prospettive per la transizione ecologica e sostenibile

History and prospects of urban transport for the ecological and sustainable transition

Sommario

Nonostante gli sforzi delle amministrazioni pubbliche per riequilibrare il riparto modale a favore del trasporto pubblico e, più recentemente, della mobilità ciclo-pedonale, oggi il panorama della mobilità urbana è dominato dalle autovetture. L'impatto sulla qualità della vita nelle aree urbane è diventato insostenibile, e se è vero che la transizione verso i motori elettrici contribuirà a ridurre le emissioni di inquinanti nell'aria, i problemi legati alla congestione da traffico, alla carenza di parcheggi, all'intrusione visiva dei veicoli non potranno essere risolti fintanto che non diminuirà la dotazione veicolare. In questo contributo si propone una lettura della transizione ecologica nei trasporti urbani analizzando le fasi successive di nascita, crescita, maturità e declino dei modi di trasporto sviluppatisi nelle città in epoca contemporanea; fasi che ricorrono nella storia attraverso cicli di ampiezza temporale variabile a seconda dei casi, e che si rinnovano ogniqualvolta subentra un'innovazione che modifica lo status quo: un'invenzione tecnologica che si afferma sul mercato, una nuova norma, o nuovi stili di vita, comportamenti e sensibilità collettive. I trend di mercato e le statistiche socio-economiche dimostrano che le condizioni per la fine del ciclo di vita dell'autovettura sono ancora di là da venire: da decenni, l'auto vive una fase di consolidata maturità caratterizzata da continui miglioramenti tecnologici che ne aumentano le prestazioni di servizio e di sicurezza. Si esaminano, quindi, i fattori che hanno contribuito all'adozione diffusa delle automobili e al loro impatto sulla mobilità urbana, e si valutano le condizioni affinché in futuro ci possa essere una modifica del trend. L'innesco potrà avvenire, da una parte, per effetto di un cambiamento degli stili di vita, in particolare la rinuncia al possesso dei mezzi e una maggiore propensione alla condivisione, e, dall'altra, dallo sviluppo di nuove tecnologie, i veicoli a guida autonoma. In tale contesto, le città dovranno mostrarsi pronte ad adottare misure tali da garantire una transizione economicamente sostenibile, graduale e inclusiva verso un nuovo modello di mobilità urbana.

Abstract
Despite the efforts of public administrations to rebalance the modal split in favor of public transport and, more recently, cycle-pedestrian (so called "active") mobility, today the urban mobility landscape is dominated by cars. The carbon footprint and the impact on the urban fabric has become unsustainable, and if, on the one hand, the transition towards electric vehicles will contribute to reducing air pollutants emissions to improve air quality, transport externalities such as traffic congestion, lack of parking spaces, vehicles visual intrusion will not be sorted out until car ownership decreases. In this paper, a review of ecological transition in urban transport is proposed by analyzing the successive phases of birth, growth, maturity, and decline of transportation modes developed in cities in the contemporary era. These phases recur in history whenever an innovation occurs that modifies the status quo: a technological invention, a new norm, or new lifestyles, collective behaviors and attitudes. Market trends and socio-economic statistics prove that the conditions for the end of the automobile life cycle are still to come. For decades, cars have experienced phases of consolidated maturity characterized by continuous technological advances that have increased level of service and safety performance. The factors that have contributed to the widespread adoption of cars and their impact on urban mobility are here assessed as well as the conditions for a change in the future. The trigger could occur, on the one hand, as a result of people's lifestyles and attitudes modifications and, on the other, by the development of new technologies (e.g. self-driving vehicles). In this context, cities ought to be ready to adopt measures that could guarantee an economically sustainable, gradual and inclusive transition towards a new model of urban mobility.

I trasporti nella storia dell'urbanizzazione contemporanea
I trasporti hanno sempre avuto un ruolo centrale nella storia delle città: dapprima come elemento determinante per la loro fondazione, in quanto le città nascono lungo le principali vie e rotte di comunicazione, successivamente come fattore determinate per la qualità della vita dei cittadini e per lo sviluppo di imprese e scambi commerciali, dal momento che una migliore rete di collegamenti terrestri, marittimi e aerei, così come un buon sistema di trasporto urbano tipicamente rendono una città più vivibile e più competitiva nel contesto globale. Tuttavia, nella storia dell'urbanizzazione contemporanea, per lungo tempo, i trasporti urbani" non hanno avuto un ruolo così determinante: gli spostamenti di persone e merci all'interno delle città avvenivano principalmente a piedi, con mezzi a trazione animale o per vie d'acqua; i carri o i tram trainati da cavalli, i cosiddetti *omnibus*, erano una delle principali opzioni di trasporto pubblico, ma erano soggetti a vincoli di velocità e capacità. E così è stato per quasi tutta la prima metà del XIX secolo: l'idea di un veicolo a motore era ancora una visione futuristica, anche se stava guadagnando slancio in tutto il mondo,

sull'onda delle invenzioni e dei progetti prototipali che avrebbero poi contribuito a realizzare le prime auto moderne.

Verso la metà del XIX secolo, in diverse regioni europee, iniziarono i primi esperimenti sui motori a scoppio, nel tentativo di produrre energia meccanica da quella termica che veniva trasformata nel moto rotatorio dell'albero motore attraverso il movimento alternato dei pistoni all'interno dei cilindri. Figure chiave in questo processo furono Siegfried Marcus, Nikolaus August Otto, Gottlieb Daimler e Carl Friedrich Benz. Siegfried Marcus, un inventore austriaco nato in Italia, è spesso accreditato per aver costruito uno dei primi veicoli a motore funzionante intorno al 1870. Tuttavia, il primo motore funzionante fu quello di Barsanti e Matteucci, costruito nel 1853, che era in grado di "*impiegare come forza motrice la combinazione detonante del gas* […] *e trasformare* il moto istantaneo prodotto dalla detonazione in moto regolare, successivo, uniforme" ottenendo potenze molto maggiori dei motori a vapore e utilizzando una energia relativamente leggera (Biffignandi, 2013). Questa innovazione rese possibile, di lì a poco, lo sviluppo di mezzi di trasporto quali automobili, autobus e autocarri, che potevano muoversi autonomamente su tragitti lunghi, e che dopo circa 5000 anni di storia costituirono l'innesco di una vera rivoluzione nell'economia e nella società (Cascetta *et al*., 2021).

La storia dell'auto inizia nel 1886, con il primo prototipo capace di spostarsi su strada sfruttando la potenza di un motore a quattro tempi a combustione interna alimentato a benzina, brevettato dall'ingegnere meccanico Benz. Dopo qualche anno, nel 1892, Rudolf Diesel brevettò il motore Diesel, simile al motore a scoppio ma senza candele. Questi progressi furono fondamentali per il futuro dell'automobile.

Nel 1908, Henry Ford fece realizzare il primo impianto di produzione automobilistica basato sulla catena di montaggio che abbassò i tempi di produzione di un veicolo da 12 ore a 1 ora, inaugurando così la nascita di un nuovo sistema di produzione nel settore industriale dell'automobilismo. La Ford "modello T" fu il primo modello costruito in serie, che diede l'avvio alla motorizzazione di massa negli Stati Uniti (Gilbert e Pearl, 2007).

È importante notare che, in questo contesto, l'Italia stava ancora emergendo come una nazione unificata, la sua partecipazione alle innovazioni tecnologiche era in fase di crescita e il percorso verso l'adozione dell'automobile era ancora in fase embrionale: nel 1899, i veicoli circolanti in Italia erano poco più di un centinaio. Tuttavia, nel giro di pochi anni, questo numero aumentò in modo significativo, testimoniando una crescente popolarità dell'automobile tra gli italiani: nel 1915, quando l'Italia entrò nella Prima Guerra Mondiale, il numero di veicoli circolanti aveva raggiunto quasi 25.000 unità [1]. Nel 1899, fu fondata la FIAT, Fabbrica Italiana di Automobili Torino, che sarebbe diventata uno dei nomi più iconici dell'industria automobilistica italiana e che avrebbe contribuito in modo significativo alla crescita del settore. Era evidente che l'Italia stava cercando di recuperare un ritardo nello sviluppo automo-

bilistico rispetto all'Europa, un ritardo che si sarebbe colmato solo molti decenni dopo. Fino agli anni '20, la produzione di automobili in Italia fu una produzione di tipo "artigianale" limitata e a prezzi fuori dalla portata della maggior parte della popolazione. Successivamente, nel corso degli anni '930, diversi costruttori italiani iniziarono a fare i propri passi, tra questi l'Alfa Romeo che ha lasciato un'impronta indelebile nell'industria automobilistica italiana come una delle principali produttrici di automobili sportive e per la produzione di modelli apprezzati per la combinazione di bellezza e prestazioni.

Dopo la fine della guerra, l'industria automobilistica italiana vide la crescita di altre importanti case automobilistiche; iniziò un periodo di crescita esplosiva che consentì al Paese di guadagnarsi una reputazione nel settore e di distinguersi nel mondo internazionale dell'automobile.

Una traiettoria tecnologica molto simile a quella dell'automobile è stata seguita per il trasporto motorizzato a due ruote. Applicando il motore a scoppio alla bicicletta furono sviluppati motocicli delle tipologie più disparate che hanno contribuito ad ampliare la platea di accesso alla motorizzazione di massa, a prescindere dal reddito e dalla età.

La rivoluzione del motore a combustione interna comportò delle importanti evoluzioni anche nel trasporto pubblico. Risale al 1895 il primo traffico di linea di omnibus a motore inaugurato tra Siegen e Deutz in Germania. Per l'esercizio della linea venne impiegato un veicolo dal nome *Landauer*, in Figura 1, che aveva più somiglianze con una carrozza che con un autobus moderno ma che era mosso da un motore monocilindrico con volano fisso da 2,9 litri di cilindrata, collocato nella parte posteriore, e disponeva di otto posti a sedere [2].

Negli anni successivi si diffusero in tutto il mondo collegamenti di linea sempre migliori grazie al progresso della tecnologia dei veicoli. In Italia la prima linea venne attivata nel 1903, per collegare Garessio a Ventimiglia. I modelli si espansero nel XX secolo fino alla capillare diffusione della forma contemporanea riconoscibile negli autobus di maggiori dimensioni a partire dagli anni '950. L' AEC Routemaster, in Figura 2, sviluppato in tale decennio dalla *Associated Equipment Company,* fu un modello realizzato con un design all'avanguardia e rimane un'icona anche della Londra moderna.

Per quanto riguarda il trasporto su ferro, Londra fu la prima città a realizzare nel 1863 una metropolitana per ovviare al mancato interscambio diretto tra le varie stazioni ferroviarie della città. I convogli avevano motrici a vapore e potevano essere esercite solo su tratte a cielo aperto; fu solo a partire dal 1890 che l'elettrificazione consentì di portarle sottoterra (Green, 1987).

Nell'Europa Continentale, la prima linea di metropolitana dotata di trazione elettrica fornita da cavi aerei venne costruita nel 1896 a Budapest. L'elettrificazione fece sì che anche i tram, introdotti nel 1775 dall'inglese John Outram, da cui il nome, e per quasi tutta la seconda metà del XIX secolo trainati da cavalli oppure mossi da un

Fig. 1 - Il primo autobus a motore a scoppio modello Landauer del 1895 [2].

Fig. 2 - L'AEC Routemaster del 1959 [3].

motore a vapore, passarono alla trazione ad accumulatori e si diffusero velocemente in tutta Europa.

A un periodo fortemente espansivo di nuove reti tranviarie e metropolitane nelle grandi metropoli europee, che durò fino agli anni '50 del XX secolo, seguirono alcuni decenni di stasi, in cui addirittura molte linee furono dismesse. Solo più tardi, negli anni '80 del secolo scorso, furono avviati programmi per lo sviluppo di nuove linee di trasporto rapido di massa, sotto la spinta delle politiche di decarbonizzazione dei trasporti e di contrasto al cambiamento climatico.

Alcune criticità dell'uso dei veicoli motorizzati: congestione da traffico e inquinamento

Nel XX secolo, l'introduzione di veicoli motorizzati, in particolare dell'automobile, ha rivoluzionato il modo in cui le persone si spostavano all'interno delle città. Dal secondo dopoguerra in poi lo sviluppo delle città è stato fortemente influenzato dall'uso delle automobili, la cui diffusione ha creato un aumento esponenziale dell''inquinamento atmosferico e una drastica riduzione dell'uso del trasporto pubblico, in quanto il mezzo privato offre maggiore flessibilità e indipendenza. Infatti, la possibilità di vivere e lavorare in luoghi anche molto distanti tra loro ha permesso alle città di crescere e svilupparsi in grandi conurbazioni costituite dall'unione di più Comuni, fino a formare le attuali aree metropolitane. Tuttavia, l'incremento della dotazione automobilistica e delle distanze percorse per gli spostamenti quotidiani è ben presto divenuta insostenibile per la inadeguata capacità delle reti stradali urbane, in alcuni casi ancora di impianto ottocentesco, e per la mancanza di spazi di parcheggio adeguati. A tal riguardo va osservato, infatti, che nel corso di tutto il XX secolo la concezione delle strade urbane non si è evoluta al pari di quella dei veicoli. Solo ultimamente, con lo sviluppo di tecnologie dell'informazione e della comunicazione-ICT e sotto la spinta di una nuova concezione dello spazio pubblico urbano più orientato al pedone e meno ai veicoli, si vanno affermando nuovi principi di progettazione per le cosiddette *Smart Road* anche in ambito urbano, che consento-

no di aumentare la capacità e le condizioni di sicurezza senza dover necessariamente ricorrere a modifiche della sezione o ad ampliamenti della carreggiata.

Nonostante gli sforzi delle amministrazioni pubbliche per riequilibrare il riparto modale a favore del trasporto pubblico e, più recentemente, della mobilità ciclopedonale, oggi il panorama della mobilità in Italia è dominato dalle autovetture. I dati dell'Osservatorio Audimob sui comportamenti di mobilità degli italiani, l'indagine annuale dell'ISFORT sulla ripartizione modale dei passeggeri, confermano che continua a prevalere l'uso dell'automobile privata. Nel 2022, su 100 spostamenti medi giornalieri nei giorni feriali, il 64% è stato effettuato in auto, il 19% a piedi, il 4,7% in bicicletta e monopattino, il 4,7% in moto e solo il 7,6% con mezzi pubblici, inclusi taxi e mezzi in condivisione, bike and car sharing, quota ancora lontana dal valore di 10,8% del 2019, a causa del crollo registrato nel 2020 con la pandemia da COVID-19, come mostrato in Figura 3.

In Italia, il Cluster Tecnologico Nazionale Trasporti Italia [5] ha stimato che oltre il 30% delle emissioni di gas climalteranti riferite alla fase di utilizzo del veicolo, ovvero quelle "dal serbatoio alla ruota", anche note come *Tank-To-Wheel*-TTW, avviene in ambito urbano.

Secondo i dati di Inrix [6], società specializzata nell'analisi dei flussi di traffico, nel 2022 Palermo era la città italiana più congestionata, con 121 ore annuali perse nel traffico per automobilista, seguita da Roma, con 107 ore, e da Torino, con 86 ore. Al di là del disagio, anche psico-emotivo, associato alla congestionale stradale, ogni ora persa nel traffico si sostituisce ad altre attività, ricreative o lavorative, con effetti aggregati sulla produttività e sullo sviluppo economico. I costi della congestione, infatti, non permettono un pieno dispiegamento dei benefici delle agglomerazioni urbane. Non a caso, le aree urbane congestionate nel confronto internazionale generano una quota inferiore del prodotto interno lordo e crescono di meno rispetto a quelle non congestionate.

Gli effetti negativi dello squilibrio modale hanno portato a una crescente consapevolezza dell'importanza di ridurre le emissioni e sviluppare mezzi di trasporto più ecologici, ad esempio le auto elettriche. Tuttavia, i trend di mercato mostrano che le condizioni per la fine del ciclo di vita dell'autovettura con motori a combustione interna, ICE, sono ancora di là da venire. Le autovetture elettriche immatricolate in Italia nel 2021 erano circa 1,1 milioni a fronte di un parco diesel e benzina di oltre 38 milioni di autoveicoli. Ci vorrà tempo per attuare la transizione ecologica nel settore *automotive* e, soprattutto, per fare in modo che l'intera filiera produttiva possa riconvertirsi all'elettrico, ai bio-carburanti e all'idrogeno, e non si abbiamo indesiderati effetti sulla produzione industriale, sull'indotto e sull'occupazione. D'altra parte, da diversi anni, le motorizzazioni ICE sono caratterizzate da continui miglioramenti tecnologici che ne aumentano le prestazioni e ne riducono l'impatto sull'ambiente soprattutto di emissioni dirette, come mostrato in Figura 4.

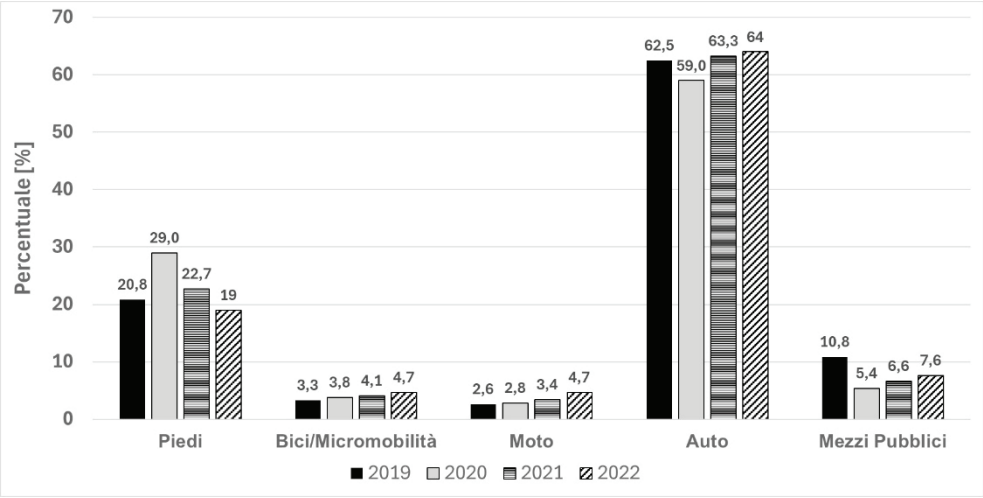


Fig. 3 - Ripartizione modale nelle città italiane tra il 2019 e il 2022 [4].

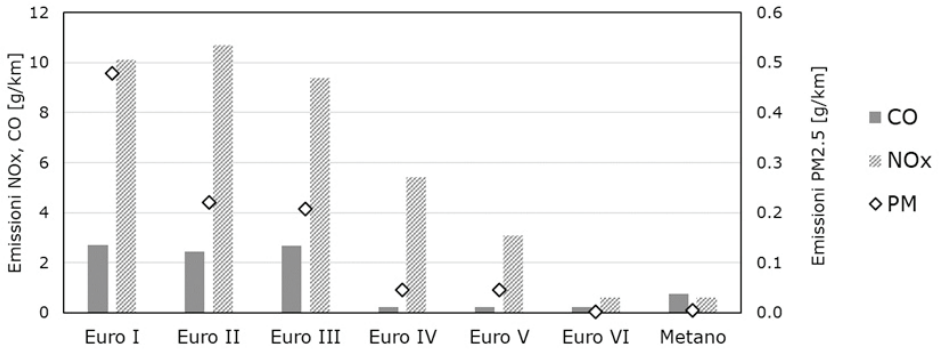


Fig. 4 - Emissioni unitarie, espresse in g/km, di motorizzazioni diesel e a metano (Coppola et al., 2023).

La mobilità sostenibile e l'approccio "Avoid, Shift, Improve"

La transizione verso i motori elettrici e i carburanti alternativi potrà contribuire a ridurre le emissioni di inquinanti nell'aria e l'impatto sul cambiamento climatico, ma i problemi legati alla congestione da traffico, alla carenza di parcheggi, all'intrusione visiva dei veicoli non potranno essere risolti fintanto che non diminuiranno la dotazione veicolare e il numero di spostamenti in auto. Pertanto, gli approcci e le politiche per la sostenibilità della mobilità urbana, a livello nazionale e internazionale, si stanno orientando verso un approccio multidimensionale che sintetizza le opzioni possibili lungo tre direttrici: *Avoid*, *Shift*, *Improve* e spesso indicato con l'acronimo ASI.

Nella prima componente, *Avoid,* rientrano le azioni volte al contenimento del livello della domanda e al suo efficientamento. Lungo tale direttrice si collocano ad esempio le politiche integrate trasporti-territorio, che mirano a ridurre la necessità di spostarsi in auto su lunghe distanze, attraverso azioni sulla localizzazione delle attività. Alcuni esempi sono le politiche a sostegno dell'accessibilità di prossimità[1] ai servizi e al commercio di vicinato, in modo da rendere tali servizi fruibili a piedi o in bicicletta per realizzare la "città di 15 minuti" (Moreno *et al.,* 2021). Tuttavia, non tutto ciò che è necessario o desiderabile può essere localizzato entro i 15 minuti a piedi e in bicicletta e la città non può essere solo un insieme di villaggi chiusi e autosufficienti; camminare e usare la bicicletta per coprire lunghe distanze possono solo in parte dare accesso alla diversità di opportunità e condizioni.

Nella seconda direttrice, *Shift*, rientrano le politiche che favoriscono il trasporto collettivo rispetto a quello individuale, la cosiddetta diversione modale, che rappresenta l'opzione più sostenibile poiché ha un impatto in termini sia di emissioni che di consumi per passeggero trasportato, notevolmente inferiore a quella dei mezzi privati e, quindi, consente un uso più efficiente dello spazio stradale rispetto alla mobilità motorizzata privata. Alcuni esempi sono le politiche di tariffazione *park* e *road pricing* e di restrizione del traffico veicolare, le ZTL, o anche le politiche di densificazione nelle aree intorno alle stazioni ferroviarie note come *Transit Oriented Development*-TOD. Quest'ultimo nasce come principio di progettazione urbana (Calthorpe, 1993) orientata all'accessibilità pedonale, alla densificazione intorno alle stazioni, al mix funzionale e all'arredo urbano, che è indicato con l'acronimo 4-D: *Distance, Density, Diversity, Design*; è uno strumento per incrementare l'utilizzo della rete su ferro e migliorare la qualità urbana dei luoghi intorno alle stazioni, che prevede interventi volti sia al miglioramento dell'accessibilità al trasporto pubblico nelle aree urbane consolidate e delle condizioni di sicurezza delle aree di stazione, sia alla rivitalizzazione delle aree circostanti alle stazioni, mediante la localizzazione di nuovi insediamenti compatti, polifunzionali, e orientati al trasporto pubblico. Le prime applicazioni di TOD si trovano negli Stati Uniti; in Europa, sono presenti numerose esperienze di TOD in particolare in Olanda, Regno Unito e Francia (Bertolini *et al*., 2012).

Infine, la terza direttrice, *Improve*, riguarda i risultati che si possono conseguire attraverso un upgrading tecnologico dei veicoli e delle infrastrutture e delle relative prestazioni ambientali attraverso i motori elettrici e le *smart roads*.

L'approccio ASI richiede un radicale ripensamento dell'uso dell'automobile, che non necessariamente preveda l'eliminazione delle auto dalle città ma che ne favorisca un uso più razionale, condiviso e pienamente integrato con le altre modalità di trasporto secondo un modello che contempli le soluzioni più innovative, ad esempio veicoli condivisi e nuove modalità di micro-mobilità, a sostegno dell'utilizzo di modi di trasporto collettivo tradizionali quali tram e metropolitane.

Lo strumento di *governance* che si candida a guidare questa transizione verso una mobilità più sostenibile è dato dai Piani Urbani della Mobilità sostenibile, i PUMS, promossi dalla Commissione Europea con il Pacchetto Mobilità Urbana 2013, e introdotti in Italia con il D.M. 397/2017 (MIT, 2017) che ha definito le Linee guida per la loro realizzazione. Queste Linee guida suggeriscono un approccio metodologico che verte sull'integrazione tra le diverse modalità di trasporto, siano esse a uso individuale e collettivo, pubbliche e private, e sulla definizione di una visione a lungo termine e di un chiaro piano di attuazione che tenga conto anche delle risorse necessarie; inoltre, consigliano la partecipazione attiva e il coinvolgimento dei cittadini e dei portatori di interesse nella scelta delle politiche e delle misure di intervento come elemento chiave per l'attuazione del Piano. In altri termini, per affrontare le sfide legate alla gestione del traffico, alla riduzione dell'inquinamento e alla promozione di mezzi di trasporto alternativi, le Linee Guida esortano ad attuare processi decisionali basati sulla partecipazione attiva dei cittadini e degli stakeholder per prendere decisioni più consapevoli, attente ai nuovi fabbisogni e capaci di contemperare interessi spesso contrastanti.

In realtà, il settore della pianificazione dei trasporti, pur nella sua complessità, è uno di quelli in cui tradizionalmente la partecipazione pubblica alle decisioni è stata marginale: i pianificatori dei trasporti hanno focalizzato la loro attenzione sul traffico urbano, proponendo soluzioni per l'ottimizzazione della sola dimensione fisico-economica del problema, ma il paradigma della sostenibilità non solo economica e ambientale, ma anche sociale, ha spostato l'attenzione dal traffico all'accessibilità e dai veicoli alle persone e ai loro bisogni, creando le condizioni per l'adozione di approcci non tradizionali che coinvolgano direttamente i cittadini nella risoluzione dei problemi che li affliggono (Banister, 2008). La partecipazione è intesa non solo come strumento per intercettare bisogni di mobilità talvolta non espressi o evitare conflitti in fase di attuazione delle politiche, ma anche come strumento di responsabilizzazione nei confronti di un cambiamento che vede coinvolti tutti gli attori dell'ecosistema urbano, per favorire comportamenti e stili di vita più sostenibili e responsabili attraverso il diretto coinvolgimento delle persone nei processi di progettazione e validazione delle scelte.

Auto a guida autonoma

Per quanto non sia chiaro l'orizzonte temporale per una piena e capillare commercializzazione, i veicoli a guida autonoma saranno tra le innovazioni tecnologiche che maggiormente trasformeranno lo scenario dei trasporti urbani. Essi saranno in grado di percepire l'ambiente circostante e di muoversi in sicurezza anche in condizioni di traffico promiscuo interagendo con altri veicoli o con i pedoni e quindi richiederanno un intervento umano minimo o addirittura nullo, a seconda del livello di automazione.

La classificazione più utilizzata nel settore automobilistico è quella della *International Society of Automotive Engineers* (SAE, 2021):

- livello 0: nessuna automazione, l'esecuzione di tutti i movimenti di guida è lasciata al conducente;
- livello 1: assistenza, il conducente ha il controllo dei movimenti del veicolo, ma il sistema può intervenire sulla direzione di sterzata e sulla velocità;
- livello 2: automazione parziale; sia direzione di sterzata che velocità sono controllate dal sistema, ma il conducente deve essere in grado di apportare eventuali correzioni in circostanze singolari;
- livello 3: automazione condizionale; il sistema ha il completo controllo del veicolo, ma il conducente deve essere pronto a intervenire su richiesta del sistema;
- livello 4: automazione avanzata; il sistema sostituisce completamente il conducente, ma solo in alcuni ambiti operativi specifici, ad esempio le autostrade;
- livello 5: automazione completa; il sistema fornisce le stesse prestazioni del livello 4, ma senza alcun limite di ambito operativo. È anche detto anche livello *mind off*, ossia il conducente diviene un semplice passeggero senza più l'onere della guida o del monitoraggio del sistema, potendosi così dedicare completamente ad altre attività;

Oggi sono ormai comunemente immatricolati veicoli equipaggiati con sistemi di assistenza alla guida, gli *Advanced Drivers Assistance System-ADAS.* di livello 2 e sono già in commercio veicoli con sistemi di automazione parziale della guida di livello 3. Prototipi di veicoli completamente autonomi di livello 5, in grado di percepire l'ambiente circostante basandosi solo sui dispositivi di rilevamento montati a bordo, vengono sperimentati su pista e su tracciati cittadini dedicati.

Le case automobilistiche immaginano che tali veicoli avranno un'elevata penetrazione di mercato già nel breve-medio periodo, mentre ricercatori, decisori politici e pianificatori di trasporti sono più propensi a credere che ci vorrà ancora qualche decennio prima di vedere questi veicoli pienamente operativi in un contesto urbano. I fattori che contribuiscono ad alimentare questa incertezza sono legati alle prestazioni in condizioni di traffico promiscuo, all'affidabilità nel rispondere a situazioni impreviste, alla disponibilità di infrastrutture e di reti ad alte prestazioni per lo scambio dei dati, al fabbisogno di manutenzione e alla rapida obsolescenza dei sistemi di automazione e connettività. Esistono, inoltre, fattori legati all'accettazione sociale, alla facilità di utilizzo e alla sicurezza percepita da parte degli utenti rispetto alla guida manuale e alla paura di cedere il controllo del veicolo a una intelligenza artificiale, oltre che alla disponibilità a pagare per prodotti e servizi innovativi che certamente offrono molti vantaggi, ma a un costo potenzialmente più alto rispetto a quelli tradizionali. Infine, vi sono i fattori legati alla regolazione che includono, ad esempio, la necessità di rivedere il codice della strada, la normativa in materia di protezione

dei dati personali, il codice delle assicurazioni e delle responsabilità civili e penali in caso di sinistro, ma anche i processi di omologazione dei veicoli e di certificazione delle infrastrutture.

Rispetto al potenziale impatto sulla sostenibilità della mobilità urbana, molto dipenderà dal tasso di penetrazione nel mercato dei nuovi veicoli *driverless,* ma soprattutto dall'uso che se ne farà. Lo spettro dei possibili impatti è ampio e comprende valutazioni fortemente negative nel caso in cui i veicoli autonomi andranno semplicemente a sostituire le attuali autovetture private; di contro, impatti positivi potrebbero derivare dai veicoli autonomi introdotti per potenziare e rendere più attrattivo il trasporto pubblico, in particolare per gli spostamenti di primo o ultimo miglio che alimentano le reti portanti del trasporto rapido di massa. A ciò potrà contribuire lo sviluppo di piattaforme digitali, note come *Mobility-as-a-Service*, per una offerta di servizi multimodali integrati attraverso applicazioni mobili e smartphone in grado di offrire all'utente soluzioni di viaggio ottimizzate con una unica tariffa integrata per l'intero viaggio e acquistabile più agevolmente in un'unica transizione.

Conclusioni

Molto è cambiato da quando furono introdotti i primi veicoli motorizzati: in un futuro più o meno prossimo si assisterà alla diffusione dei veicoli autonomi, che se utilizzati per ampliare l'offerta e l'innovazione del trasporto collettivo, contribuiranno a traguardare la transizione verso un modello di mobilità sostenibile, superando l'attuale dipendenza dall'auto e favorendo un utilizzo equilibrato e integrato dei trasporti urbani. I veicoli a guida autonoma rappresentano, infatti, una grande opportunità per offrire servizi di mobilità flessibili nel tempo e nello spazio, ovvero disponibili a richiesta e con un'elevata capillarità, in grado di rendere più attrattivo il trasporto collettivo anche per chi oggi utilizza l'auto per i propri spostamenti.

Le città dovranno adottare misure per prepararsi al cambiamento investendo nelle innovazioni tecnologiche che si renderanno disponibili sul mercato per integrarle nei sistemi di trasporto esistenti e ripensando i sistemi di mobilità, ivi compresi i servizi, le tariffe e la regolamentazione del trasporto pubblico, la manutenzione delle infrastrutture e la logistica urbana, affinché sia garantita una transizione economicamente sostenibile, graduale e inclusiva verso un nuovo modello di mobilità urbana.

Bibliografia

Banister D. 2008, The paradigm of sustainable mobility. *Transport Policy*, 15(2), 73-80.

Bertolini L., Curtis C., Renne J. 2012. Station area projects in Europe and beyond: Towards transit oriented development?. Built Environment, 38(1), 31-50.

Biffignandi D. 2013. Nascita e sviluppo dell'industria automobilistica. in Treccani X – www.treccani.it.

Calthorpe P. 1993. *The Next American Metropolis: Ecology, Community and American Dreams*. New York: Princeton Architectural Press.

Cascetta E., Henke I., Di Bartolomeo I. 2021, Le sei rivoluzioni dei trasporti e le loro evoluzioni. Una breve storia dalle origini ai giorni nostri. Ingegneria Ferroviaria 5, 389-405.
Coppola P., Bocciolone M., Colombo E., De Fabiis F., *et al*. 2023. Multi-Criteria Life-Cycle Assessment of bus fleet renewal. Case Studies on Transport Policy, 13.
Gilbert R., Pearl A. 2007. *Transport Revolutions: Moving People and Freight Without Oil.* London (UK): Routledge.
Green O. 1987. *The London Underground: an illustrated history*. Shepperton (UK): Ian Allan Publishing.
MIT. 2017. Individuazione delle linee guida per i piani urbani di mobilità sostenibile, ai sensi dell'articolo 3, comma 7, del decreto legislativo 16 dicembre 2016, n. 257. Decreto 4 Agosto 2017. Gazzetta Ufficiale GU Serie Generale n.233 del 05-10-2017.
Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., *et al*. 2021. Introducing the 15-Minutes City: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Citie". Smart Cities. 4, 93-111.
SAE. 2021. *J3016C: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.* Warrendale (US): Society of Automotive Engineers.

Sitografia

[1] https://www.treccani.it/enciclopedia/nascita-e-sviluppo-dell-industria-automobilistica_(Il-Contributo-italiano-alla-storia-del-Pensiero:-Tecnica)/
[2] https://www.mercedes-benz-bus.com/it_IT/brand/news/2020/125-years-ago-first-bus-with-combustion-engine-from-Benz-and-cie.html
[3] https://www.pinterest.es/pin/58898707604843883/
[4] https://www.isfort.it/ricerca/audimob/
[5] https://www.clustertrasporti.it/tag/paths-to-2030/
[6] INRIX Global Traffic Scorecard https://inrix.com/scorecard/

Nota

1. Il concetto accessibilità di prossimità promuove la mobilità attiva, come il camminare e l'andare in bicicletta, e lo sviluppo di tessuti urbani densi in cui servizi, luoghi di lavoro e svago siano più facilmente raggiungibili a piedi e in bicicletta, in modo da rendere i bisogni di mobilità meno dipendenti da mezzi di trasporto motorizzati.

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Arturo Gallozzi, Michela Cigola, Marcello Zordan, Chiara Caira

Il distretto industriale della Media Valle del Liri

The industrial district of the Liri media valley

Sommario
Il distretto industriale della Media Valle del Liri, situato nel basso Lazio, è stato teatro di un processo evolutivo avvenuto tra il XVIII e il XIX secolo. I territori, dotati di peculiarità geomorfologiche che sin dal XVIII secolo resero tale area particolarmente appetibile e adatta allo svolgimento di attività di natura industriale, vissero un graduale ed eterogeneo sviluppo, che si concretizzò in una prosecuzione locale della massiva rivoluzione industriale europea. Infatti, con l'introduzione dei mulini idraulici e lo sfruttamento dell'acqua come energia, si deve al fiume il processo di trasformazione, seppure lento, di questi luoghi da società agricola a preindustriale che porterà, nel XIX secolo, alla realizzazione dei numerosi opifici, quali cartiere, lanifici e setifici, che condizioneranno la conformazione urbanistica di numerosi centri urbani. Questo contributo intende ripercorrere alcuni aspetti della complessa vicenda legata allo sviluppo industriale nella Valle del Liri, attraverso l'analisi di rappresentazioni cartografiche ed edifici paradigmatici, con riferimento anche alle numerose figure professionali coinvolte nel progetto di progressiva industrializzazione dell'area. Fornendo, al contempo, spunti di riflessione per un recupero e una valorizzazione dei numerosi manufatti ancora esistenti nel territorio. Al fine di costituire una rete funzionale, rispettando i principi di tutela del patrimonio archeologico industriale.

Abstract
The industrial district of the Media Liri Valley, located in the lower Lazio, was the scene of an evolutionary process that took place between the 18th and 19th centuries. The territories, endowed with geomorphological peculiarities that since the eighteenth century made this area particularly attractive and suitable for carrying out activities of an industrial nature, experienced a gradual and heterogeneous development, which culminated in a local continuation of the massive European industrial revolution. In fact, with the introduction of hydraulic mills and the exploitation of water as energy, it is due to the river the process of transformation, albeit slow, of these places

from agricultural to pre-industrial society that will lead, in the nineteenth century, to the construction of the numerous factories, such as paper mills, wool mills and silk mills, which will condition the urban conformation of many urban centers. This contribution aims to retrace some aspects of the complex event linked to industrial development in the Liri Valley, through the analysis of cartographic representations and paradigmatic buildings, with reference also to the numerous professional figures involved in the project of progressive industrialisation of the area. At the same time providing food for thought for the recovery and valorisation of the numerous artefacts still existing in the area. In order to establish a functional network, respecting the principles of protection of the industrial archaeological heritage.

Introduzione

Questa memoria si propone di tracciare, seppur limitatamente, una panoramica del processo di industrializzazione che ha toccato la Media Valle del Liri a cavallo tra la fine del 1700 e gli inizi del 1800, con la volontà di accreditare la valenza storica, architettonica e urbana degli opifici presenti sul territorio.

La contestualizzazione della tematica passa necessariamente anche attraverso la valutazione del panorama storico e delle dinamiche intervenute sul territorio: un insieme di congiunture che portarono alla concretizzazione di un'intuizione che trovò terreno fertile e appoggio presso il regno borbonico e un nutrito gruppo di industriali italiani e francesi, i quali seppero riconoscere le potenzialità di un'area geografica in cui investirono, promuovendone l'industrializzazione (Currà, 2010).

Le prove di quanto accaduto sono fornite da cartografie e progetti dell'epoca, qui di seguito presentate, che consentono di ricostruire l'iter progettuale che gettò le basi per l'industrializzazione dei territori di Sora e Isola del Liri.

Contesto storico e geografico

La Media Valle del Liri è situata nel basso Lazio, in provincia di Frosinone, e si estende su un'area prevalentemente collinare, caratterizzata dalla presenza di numerosi corsi d'acqua. Storicamente questa terra ha rappresentato un luogo di confine tra lo Stato Pontificio e il Regno di Napoli, ove l'Abbazia di Montecassino ha rivestito nei secoli il ruolo di fulcro economico e religioso. Alcuni dei fiumi presenti sul territorio, in particolare il Liri e il suo affluente Fibreno, erano caratterizzati da acque fredde e purissime. Tali peculiarità si rivelarono determinanti per l'evoluzione industriale dell'area (Cigola, 2002).

Dalla fine del sedicesimo sino agli inizi del diciottesimo secolo, il Ducato di Sora, in Figura 1, di cui faceva parte anche l'attuale territorio del comune di Isola del Liri, fu sotto il controllo dei Duchi Boncompagni grazie ai quali i settori cartario e laniero mossero i primi passi verso l'industrializzazione. Alla fine del settecento i Boncompagni cedettero i loro territori al Regio Demanio di Napoli (Balbo, 1983). Nel corso

Fig. 1 - Affresco raffigurante il ducato di Sora, particolare; in evidenza il corso del fiume Liri, che cinge l'Isola di Sora, con le ramificazioni dell'affluente Fibreno in località Carnello. Galleria delle carte geografiche nei palazzi Vaticani[1].

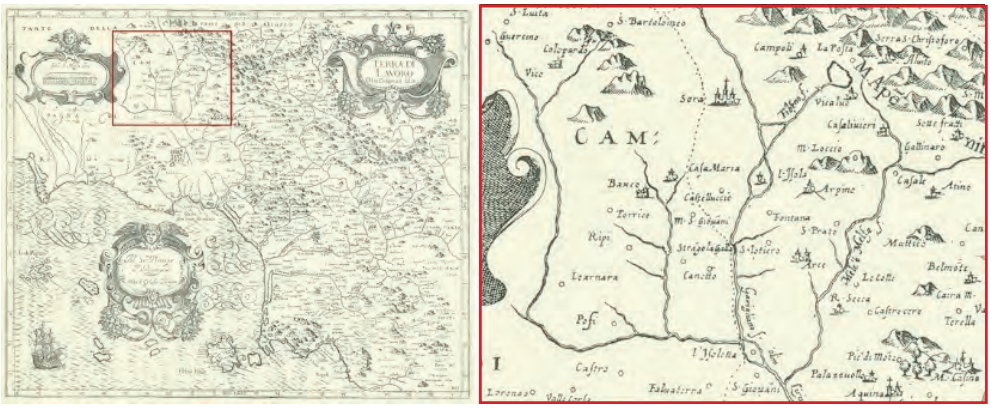


Fig. 2 - Fabio Magini: raffigurazione della Terra di Lavoro Olim Campania Felix, 1620, a sinistra, e dettaglio dell'area della Media Valle del Liri con il relativo bacino idrografico ricco di corsi d'acqua, a destra. È possibile distinguere l'isola del fiume Liri, oggi parte del territorio del comune di Isola Liri.

del diciannovesimo secolo, a seguito del riassetto amministrativo realizzato nel Regno di Napoli con Gioacchino Murat, Isola del Liri fu annessa alla provincia di Terra di Lavoro, come mostrato in Figura 2.

La parentesi francese nel Regno di Napoli ebbe una durata limitata a pochi anni (1806-1815); tuttavia, proseguendo con lungimiranza le politiche di sviluppo territo-

riale promosse dai Borboni e implementando strumenti economici quali sostegno alle imprese e sfruttamento del protezionismo, i francesi riuscirono in quel breve periodo a conferire notevole slancio al distretto industriale della Media Valle del Liri. Inoltre, fu proprio durante il periodo del governo francese che ebbe luogo un flusso di imprenditori, tra i quali Lefevbre, Beranger, Courrier, Lambert e Boimond, che importarono tecnologie d'oltralpe nel settore cartario, determinando il perfezionamento della produzione di carta, in termini qualitativi e quantitativi (Dell'Orefice, 1984).

La crescita industriale della Media Valle del Liri proseguì proficuamente sotto il ripristinato dominio borbonico, arenandosi tuttavia verso la fine dell'Ottocento, per cause legate al mancato ammodernamento tecnologico e alla carenza di infrastrutture viarie (Cimmino, 1988).

Il progetto del Canonico Giacinto Pistilli

Tra il 1790 e il 1792 è possibile collocare il momento storico che si rivelò determinante per le sorti industriali della Media Valle del Liri. Il canonico Giacinto Pistilli[2] presentò infatti al re Ferdinando II un progetto di riassetto del territorio e di nuova costruzione di fabbriche destinate alla produzione di armi, ferro, carta e tessili, ponendo le basi per un vero e proprio piano industriale per l'area, in Figura 3.

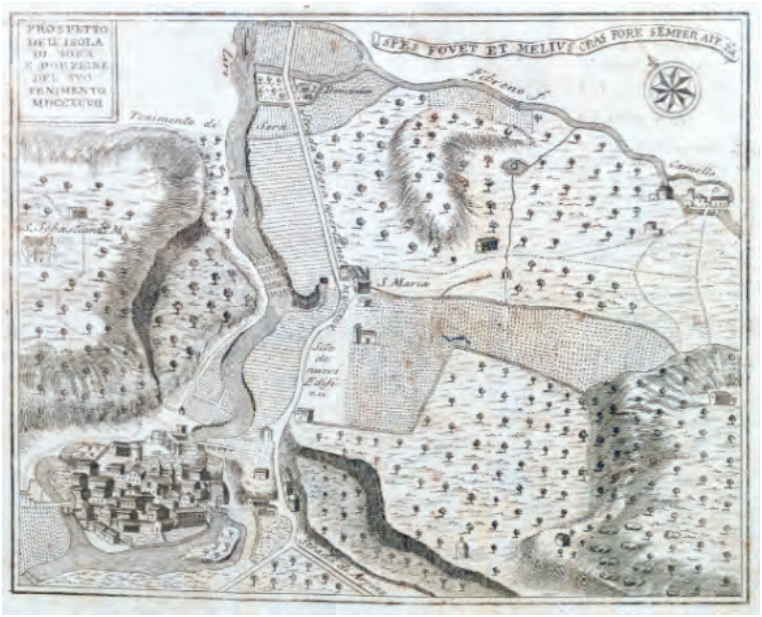


Fig. 3 - Porzione del "tenimento" di Sora, delimitata dai fiumi Liri e Fibreno, tra l'abitato di Isola e Carnello. Al centro, a sinistra del Liri, il "Sito de' nuovi edifici" (Pistilli, 1798).

«Il Canonico D. Giacinto Pistilli, […], ha proposto alla Maestà del Sovrano, […], di far ripristinare, a seconda delle leggi del regno, il libero commercio delle tanto celebrate acque di quelle contrade. Cred'egli con fondamento, che due salutari effetti potrebbero da questa libertà delle acque dello Stato di Sora alla Nazione intera provenire.

[…] II. Il mettere a profitto quelle acque medesime, con ivi costruire le fabbriche di un gran numero di manifatture straniere […].

La prima fabrica adunque, che costruire si dovrebbe, sarebbe appunto quella del così detto ferro filato. […] Nei progetti presentati dal Pistilli, dopo la fabbrica del fil di ferro, siegue immediatamente l'altra, […], dei cannoni.

[…] Ai narrati progetti, da mettersi, come si è veduto, con piccoli mezzi in esecuzione, si deve aggiunger quello, ch'è appunto il terzo, dal Canonico Pistilli presentato, e che nella costruzione delle Cartiere si aggira.

[…] L'ultima fabbrica infine di manifatture, che propone il Pistilli è la moltiplicazione delle macchine ad acqua per trarte, filare e torcere la seta» (Ferrante, 1792).

In risposta alla petizione del Canonico Pistilli, redatta dall'Avv. Gaetano Ferrante e presentata al Supremo Consiglio delle Finanze, il Tribunale di Campagna[3] designò Giuseppe Giordano[4] e Vincenzo Ferraresi[5] come periti incaricati della valutazione della fattibilità del progetto, e della stima delle eventuali opere realizzabili. Il processo di analisi non si limitò alla sola scoperta e verifica delle peculiarità dell'area, bensì si tramutò in una vera e propria indagine conoscitiva che vide i due tecnici delegati spingersi fino al limitare dello Stato Pontificio. L'opera di ricerca produsse alcune cartografie dettagliate dell'area di Sora e di Isola del Liri, per mano del Giordano nel 1973. Inoltre, quest'ultimo, assieme a Ferraresi, ricevette da parte dell'imprenditore dello Stato Pontificio Giovanni Antonio Sampieri, l'incarico per la progettazione di una fabbrica di fil di ferro a Isola Liri (Pistilli, 1817).

Le mappe e i progetti redatti da Giuseppe Giordano

Per comprendere al meglio le cartografie redatte da Giordano, è utile evidenziare come egli abbia rappresentato sia le costruzioni esistenti, sia quelle oggetto di potenziale realizzazione che facevano parte dell'ampio progetto di industrializzazione dell'area. Infatti in previsione non vi era solo una fabbrica per la produzione di ferro filato, bensì anche una fabbrica per trarre la seta, una cartiera e una segheria idraulica.

Sulla pianta topografica de l'Isola di Sora del 1793, in Figura 4, è possibile osservare la conformazione dei territori compresi tra Sora e il confine con la Campagna di Roma. Sono rappresentati i piccoli centri abitati in corrispondenza di Carnello, Sora, Isola di Sora, attualmente Isola Liri, Castelluccio, attualmente Castelliri, e la fitta rete idrografica costituita da fiumi, ruscelli e cascate. La mappa reca inoltre edifici esistenti considerati degni di rilievo da parte di Giordano, campiti in rosa e individuabili nella legenda a margine: mulino, trappeto e lanificio, ramiera dismessa, granaio del duca,

valchiera, cartiera, mulino e le numerose diramazioni del Fibreno in località Carnello, riportati nel particolare in Figura 5. La fitta rete di corsi d'acqua viene rappresentata dall'autore con scrupolosità: cascata verticale del Fiume Liri alta 94 palmi e larga 45 palmi, cascata a piano inclinato di 700 palmi di lunghezza e larga 60 palmi, cascatelle del fiume Liri. La mappa reca inoltre l'insieme di edifici e canalizzazioni oggetto di progettazione, sono campiti in colore giallo e anch'essi indicati nella legenda: fonderia, fabbrica di fil di ferro e canalizzazioni, nuova cartiera, fabbrica del filatoio e fornelli per trarre la seta, sega ad acqua, forni di fusione e ferriera, cui si aggiungono i percorsi di due sistemi di canalizzazioni, di cui uno con derivazione dalla località di Carnello.

Dal confronto con le cartografie attuali del territorio, è possibile iden-

Fig. 4 - Giuseppe Giordano: pianta topografica de l'Isola di Sora, 1793 (Biblioteca Nazionale di Napoli, Serie Carte Geografiche: C.G.29B78).

Fig. 5 - Giuseppe Giordano: pianta topografica de l'Isola di Sora, 1793, particolari. La località Carnello e le numerose diramazioni del Fibreno, a sinistra, e Isola del Liri con l'indicazione degli opifici in progetto, a nord e a sud-est dell'abitato, a destra.

Tab. 1 - Localizzazione attuale degli edifici indicati nella pianta topografica de l'Isola di Sora nelle Figure 4 e 5.

Edificio	Identificazione dell'ubicazione attuale		Coordinate
Edifici esistenti			
D - Mulino, trappeto, lanificio	Comune di Isola Liri	Via Chigi Nobile	41° 40' 49" N 13° 34' 20" E
E - Ramiera dismessa	Comune di Isola Liri	Via Valcatoio	41° 40' 51" N 13° 34' 22" E
M - Granajo del Duca	Comune di Isola Liri	Via G. Donizetti - Via S. Giuseppe	41° 40' 44" N 13° 34' 29" E
X - Valchiera	Comune di Sora	Fraz. Carnello Viale Bonomi	-
Z - Cartiera	Comune di Sora	Carnello	-
Y - Mulino	Comune di Sora		-
Edifici progettati			
I - Fonderia de' cannoni	Comune di Isola Liri	Via Valcatoio - Via Selva	41° 40' 54" N 13° 34' 08" E
II - Fabbrica del fil di ferro	Comune di Isola Liri	Via Valcatoio - Via Selva	41° 40' 52" N 13° 34' 15" E
III - Nuova Cartiera	Comune di Isola Liri	Via Sant'Angelo - Via Macchie	41° 40' 37" N 13° 34' 49" E
IV - Fabrica del filatojo e fornelli per trarne la seta	Comune di Isola Liri	Via Valcatoio - Via Selva	41° 40' 52" N 13° 34' 17" E
V - Sega ad acqua	Comune di Isola Liri	Via Arpino	-
VI - Forni di fusione e ferriera	Comune di Isola Liri	Via Valcatoio - Via Selva	41° 40' 54" N 13° 34' 10" E

tificare la posizione degli edifici esistenti all'epoca della redazione della mappa, e l'ubicazione teorica dei siti oggetto di progettazione, come descritto in Tabella 1.

Giordano redasse una seconda mappa, in Figura 6, focalizzata su l'Isola di Sora, attuale centro del comune di Isola Liri, che consente di comprendere, almeno in pianta, la geometria dei fabbricati produttivi. Nell'area in alto a sinistra, compresa tra le attuali via Valcatoio e via Selva, Giordano collocò tre stabilimenti: forni di fusione e ferriera, fabbrica di fil di ferro, fabbrica per trarre la seta, in Figura 7. Il plesso produttivo è collegato al fiume Liri mediante un canale dedicato sia all'area produttiva, sia all'irrigazione ed è dotato di un ampio spiazzo sul fronte sud-ovest. Nell'area in basso a destra, compresa tra le attuali via Sant'Angelo e via Arpino, Giordano scelse di ubicare la fabbrica della cartiera e quella della sega ad acqua, sempre in Figura 7. Anche in questo caso, la progettazione degli edifici produttivi interagisce necessariamente

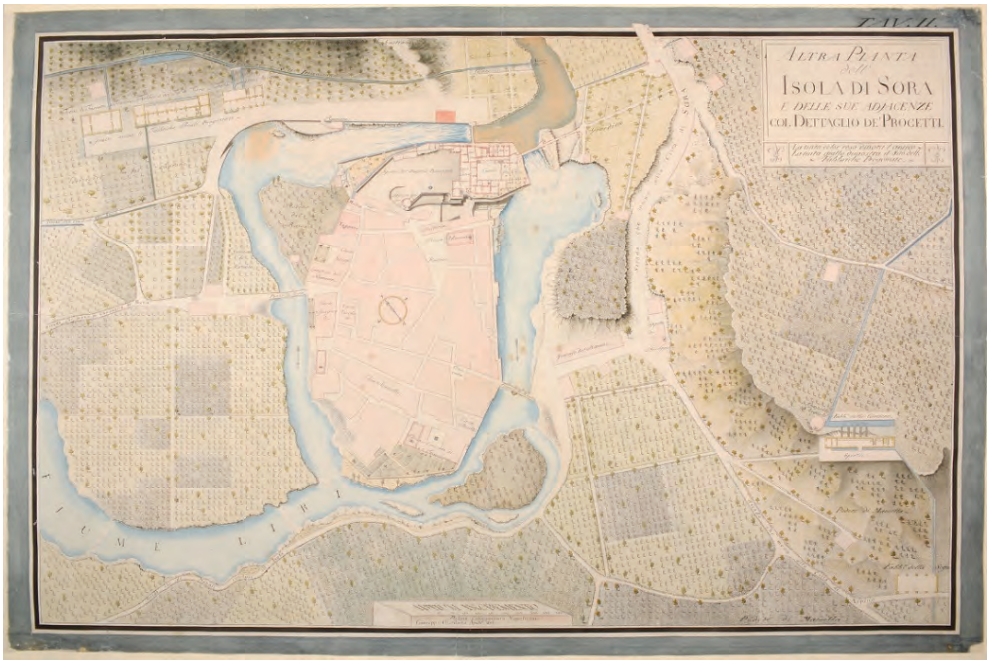


Fig. 6 - Giuseppe Giordano: Altra pianta dell'isola di Sora e delle sue adjacenze col dettaglio de' progetti, 1793 (Biblioteca Nazionale di Napoli, Serie Carte Geografiche: C.G. 21A48).

con un'accurata pianificazione delle canalizzazioni necessarie al funzionamento delle attività; il canale che serve i due impianti produttivi deriva dal fiume Fibreno, a partire dalla località Carnello e in corrispondenza della cartiera viene diramato in cinque sotto-canali, per poi proseguire verso la fabbrica della sega ad acqua.

Analisi tipologica degli edifici progettati da Giuseppe Giordano

Gli stabilimenti, pur variando nella destinazione, sono tutti caratterizzati da una pianta di forma rettangolare, in alcuni casi stretta e lunga. Alcuni di essi si sviluppano su più piani, come è possibile desumere dalla presenza di vani scala disegnati dall'autore.

La disposizione dell'ossatura portante è conseguente all'ubicazione di macchinari e processi produttivi, come mostrato nelle Figure 7 e 8. Nella cartiera si trova infatti un vano che copre circa la metà dell'area di impronta dell'edificio, destinato ad accogliere la grande macchina continua per la lavorazione della carta. Nel caso della fabbrica di fil di ferro, lo sviluppo dell'edificio su più piani è legato alla volontà di sfruttarne al massimo le potenzialità, disponendo i tenaglioni per la trafilatura su due livelli. Secondo queste logiche, spesso si destinavano i vani centrali degli edifici alle varie fasi

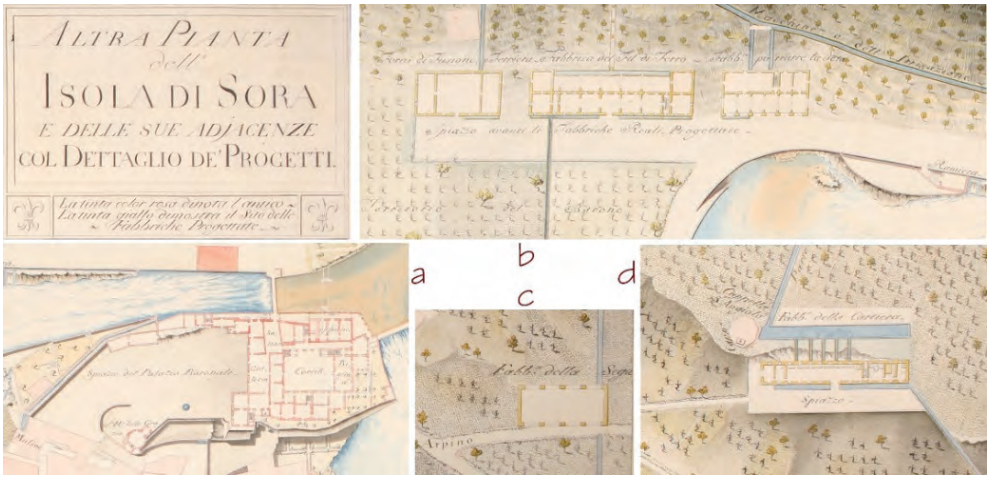


Fig. 7 - Giuseppe Giordano: Altra pianta dell'isola di Sora e delle sue adjacenze col dettaglio de' progetti, 1793, particolari: a. Palazzo Ducale, b: dettaglio planimetrico dei tre edifici ubicati nelle vicinanze della cascata del Valcatoio, destinati rispettivamente alla fusione e produzione di ferro, alla produzione di fil di ferro e alla produzione di seta, c: fabbrica della sega ad acqua; d: fabbrica della cartiera.

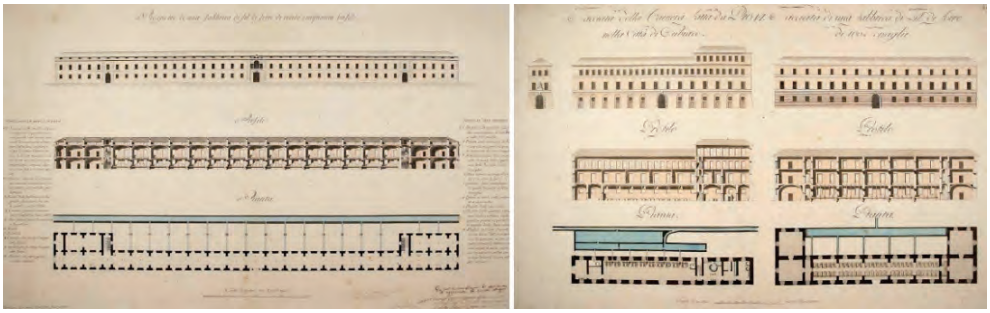


Fig. 8 - Giuseppe Giordano: progetti per alcuni edifici simili a quelli previsti nell'area della media valle del Liri: Facciata, profilo e pianta della cartiera fatta da Pio VI nella città di Subiaco e d'una fabbrica di fil di ferro di 100 tenaglie, in alto, e Pianta, profilo e prospetto di una fabbrica di fil di ferro di cinquanta trafile, in basso (D'Errico, 2010, pp. 6-11).

produttive, mentre i vani laterali venivano adibiti ad aree di stoccaggio o magazzino.

L'architettura degli edifici progettati da Giordano per il distretto industriale di Isola Liri è dunque funzionale al processo produttivo e coerente con la filosofia progettuale che caratterizza altri edifici industriali realizzati nel regno di Napoli nella seconda metà dell'Ottocento, secondo un'evoluzione naturale sotto l'aspetto tecnico-costruttivo di cui un esempio è in Figura 9. Le strutture portanti delle fabbriche

Fig. 9 - Evoluzione tipologica, strutturale e costruttiva degli edifici: passaggio da coperture in capriate lignee e in ferro con setti murari e archi a sistemi voltati e infine alla diffusione delle strutture in cemento armato, secondo le tipologie ricorrenti. L'esempio di alcuni corpi di fabbrica, tra il XIX e XX secolo nelle Cartiere Meridionali a Isola del Liri (Emery, 1935; Scavia, 1903).

borboniche vengono realizzate in muratura, ove i maschi murari perimetrali sono intervallati da grandi bucature che consentono l'ingresso della luce naturale. I sistemi di copertura sono prevalentemente realizzati con capriate lignee o metalliche; in alcuni casi si trovano anche sistemi di volte a botte o a crociera. Sui prospetti degli edifici, perlopiù scarni e privi di ornamenti, se non fasce marcapiano e cornici attorno agli imbotti delle finestre, spiccano i portali di ingresso, spesso decorati con fregi e affiancati da colonne, che venivano disposti al centro del prospetto e sovente costituivano l'unica via di accesso alla fabbrica.

La tipologia costruttiva degli edifici è quindi ricorrente, secondo uno schema consolidato nell'apparato strutturale e funzionale, variando eventualmente nelle dimensioni in relazione alla capacità produttiva e all'orografia dei luoghi.

Le testimonianze iconografiche consentono di rimarcare ulteriormente alcuni

tratti distintivi di questa ampia categoria di edifici: regolarità delle geometrie, scandite dalle esigenze produttive e dall'allocazione di macchinari e forza lavoro; prospetti regolari, concepiti per fornire illuminazione e arieggiare gli ambienti; tetti a falda sorretti da sistemi di capriate o arcate in muratura.

La ricognizione del ricco "patrimonio produttivo", ormai dismesso, la sua caratterizzazione costruttiva, anche in relazione alle varie epoche di edificazione e alle trasformazioni funzionali intercorse, offre l'occasione di approfondire gli aspetti propri della tutela degli opifici. Elementi basilari, nella prioritaria fase di conoscenza, per individuare un efficace procedura progettuale, in relazione alle pratiche di intervento nelle operazioni di recupero e valorizzazione dei manufatti.

Conclusioni

I numerosi opifici sorti nell'area del basso Lazio a ridosso del Liri tra la fine del XIX e la prima metà del XX secolo sono caratterizzati da una sovrapposizione di architetture determinate dalla lunga evoluzione dei processi produttivi e perciò differenziati per tipologia e caratteristiche strutturali e tecnologiche, rappresentative dei differenti periodi di realizzazione (Natoli, 1999).

Attualmente, molti di questi complessi sono totalmente abbandonati descrivendo esempi concreti di archeologia industriale su cui è necessario intervenire con azioni di analisi e conoscenza finalizzate all'intervento di recupero. Il sistema che rappresentano richiede, nel contesto dei diversi bacini idrografici, l'individuazione di strumenti per la definizione di contenuti tecnico-architettonici per la gestione del processo di recupero.

Il presente contributo ha voluto delineare, attraverso la descrizione di alcune trasformazioni dei luoghi, la possibilità di individuare un'efficace rete di collegamenti tra le diverse realtà produttive, che miri non solo al recupero del singolo manufatto, ma metta a sistema l'intero ambito territoriale.

Bibliografia

Balbo P. P., Castellet y Ballarà S., Paris T. (a cura di). 1983. *La Valle del Liri. Gli Insediamenti storici della Media Valle del Liri e del Sacco.* Roma: Officina.

Cigola M. 2002. *Le cartiere storiche del basso Lazio: censimento e catalogazione degli apparati grafici e cartografici.* Cassino: Ciolfi Editore.

Cimmino C. 1988. Sfruttamento delle acque a scopo industriale, legislazione e conflitti di competenze tra potere amministrativo e giudiziario nell'800. In: *Trasformazioni industriali nella Media Valle del Liri in età moderna e contemporanea*, 89-116. Isola del Liri: Pisani.

Corcione M. 2002. *Modelli processuali nell'Antico regime, la giustizia penale nel tribunale di Campagna di Nevano*. Frattamaggiore: Istituto di Studi Atellani.

Currà E. (a cura di). 2010. *Vie d'acqua e lavoro dell'uomo nella provincia di Frosinone. L'industria della carta*. Roma: Palombi Editore.

Dell'Orefice A. 1984. *L'industria della carta in Italia (1861-1914). Innovazioni tecnologiche e sviluppo industriale*. Napoli: Giannini.

D'Errico G. 2010. Isola di Sora: il piano industriale per la rinascita della città attraverso i disegni di Giuseppe Giordano. Territori, XVII(22), 4-12.

Di Biasio A. 1993. *Carlo Afan De Rivera e il Corpo dei ponti e strade: ingegneri e territorio nel Regno di Napoli 1800-1860.* Napoli: Amm.ne Prov.le Latina.

Emery O. 1935. *Isola del Liri, monografia redatta e ordinata dall'ing. O. Emery.* Isola del Liri.

Ferrante G. 1792. *Dimostrazione de' progetti presentati alla Maestà del Sovrano dal canonico D. Giacinto Pistilli in favore della popolazione dello stato di Sora sua patria e dell'intera nazione del regno*. Napoli.

Manzo E. 2001. Vincenzo Ferrarese, regio architetto del Regno di Napoli. In: *Ferdinando Fuga 1699-1999, atti del Convegno Internazionale di Studi* (a cura di A. Gambardella). Napoli: ESI.

Natoli M. (a cura di). 1999. *L'Archeologia industriale nel Lazio. Storia e Recupero*. Roma: Palombi editori.

Pistilli F. 1798. *Descrizione storico-filologica delle antiche, e moderne Città, e Castelli, esistenti accosto de' fiumi Liri, e Fibreno: arricchita di vetusti monumenti in gran parte inediti, con un saggio delle Vite degl'illustri personaggi ivi nati*. Napoli: Amato Cons.

Pistilli G. 1817. *Memoria del canonico d. Giacinto Pistilli dell'isola di Sora sulle triste vicende del suo paese*. Napoli: Domenico Sangiacomo stampatore del Real Collegio Militare.

Scavia M. 1903. *L' industria della carta in Italia.* Torino.

Note

[1] Gli affreschi vaticani, commissionati da papa Gregorio XIII, furono realizzati nell'ultimo quarto del XVI secolo, sotto la direzione del cosmografo Ignazio Danti. In questa rappresentazione il nord risulta verso il basso, secondo una tradizione cinquecentesca.

[2] Giacinto Pistilli fu canonico di Castelluccio, l'odierna Castelliri. Sulla scia dei lavori per la costruzione della grande strada Consolare Napoli-Avezzano, nel 1794 presentò un piano per la ristrutturazione economico-industriale della Media Valle del Liri. Il Piano Pistilli prevedeva la realizzazione a Isola Liri di una fabbrica di cannoni e di uno stabilimento metallurgico, nonché la realizzazione di una strada da Sora a Ceprano, nello Stato Pontificio, a completamento della consolare (Pistilli, 1817). Giacinto era fratello del canonico Ferdinando (1756-1834), autore del volume "Descrizione storico-filologica" (Pistilli, 1798).

[3] Istituzione giuridica voluta da Carlo di Borbone. Il Tribunale era ubicato nel Casale di Nevano, l'odierna Grumo Nevano. Fu centro della suprema magistratura penale del Regno di Napoli dal 1756 al 1806 (Corcione, 2002).

[4] Giuseppe Giordano, (1764-1855), fu topografo, progettista di infrastrutture viarie e militari, architetture palaziali e manifatturiere, definito univocamente come Regio Ingegnere e Architetto, durante il regno di Ferdinando IV di Borbone (Di Biasio, 1993).

[5] Vincenzo Ferraresi, o Ferrarese (1741-1799), fu titolare di una scuola di architettura a Napoli, annessa alla reale Accademia del Disegno di San Carlo. Fu designato Regio Architetto e si occupò di progettazioni urbanistiche principalmente nella Calabria Ultra (Manzo, 2001, pp. 153-160).

Riccardo Gallo

Ingegneria ed Economia

Engineering and Economics

Sommario
Vengono richiamate le reciproche influenze tra Ingegneria ed Economia negli ultimi secoli. Dopo la prima rivoluzione industriale nel Settecento, Ingegneria industriale ed Economia aziendale tra Ottocento e Novecento interagirono sul tema delle grandi imprese, private o a partecipazione statale, guidate talvolta da ingegneri. Nacquero *Business School* e nuovi corsi universitari. Nella seconda metà del Novecento, Teoria dei sistemi affiancò Economia matematica e nacque Ingegneria gestionale. A fine Novecento, Ingegneria delle tecnologie favorì la nascita dei distretti industriali ed Economia industriale li teorizzò. Nel 2022 l'Osservatorio delle Imprese della Sapienza ha comparato i fondamenti dell'Ingegneria e dell'Economia.

Abstract
The mutual influences between Engineering and Economics in recent centuries are recalled. After the first industrial revolution in the eighteenth century, Industrial Engineering and Business Economics between the nineteenth and twentieth centuries interacted on the theme of large enterprises, private or state-owned, sometimes led by engineers. Business Schools and new teachings were born. In the second half of the twentieth century, Theory of Systems alongside Mathematical Economics. Management Engineering was born. At the end of the twentieth century, Technology Engineering favored the creation of industrial districts and Industrial Economics studied them. In 2022 the Author compared fundamentals of Engineering and Economics.

Introduzione
Entrambe le discipline Ingegneria ed Economia si affermarono com'è noto con l'Illuminismo nel Settecento. Ingegneria, così come altre scienze tecniche, si basò sulla sperimentazione e sull'avvento degli strumenti di misura di precisione. Economia, così come altre scienze filosofiche e sociali, perseguì misure di processi contenenti

l'elemento umano, peraltro senza giungere a risultati definitivi (Zanella, 2011), e nel 1776 aspirò con Adam Smith a diventare scientifica (Smith, 1961). Alla seconda metà del Settecento (1760-1780) viene ricondotta la prima rivoluzione industriale (Ashton, 1970), il cui merito fu attribuito in prevalenza all'Ingegneria meccanica, perché introdusse nelle lavorazioni metallurgiche la macchina a vapore e in quelle tessili la spoletta volante nel telaio, con un impatto enorme in termini di innovazione, produttività del lavoro e crescita economica della società. A partire da quegli anni, le interazioni tra Ingegneria ed Economia si sono moltiplicate. Antoine Augustin Cournot (1838), professore universitario di Meccanica, rilesse l'opera di Smith accostandola alla Meccanica razionale (Nicola, 2011). Seguirono i lavori di Alfred Marshall e Vilfredo Pareto, che vengono trattati qui nel seguito. Le interazioni tra Ingegneria ed Economia sono state sempre caratterizzate da mutua osmosi, influenzate da grandi eventi storici, articolate in tre ambiti distinti:

1. economia della produzione di beni e servizi realizzata con mezzi progettati e costruiti da Ingegneria;
2. guida strategica e gestione economica delle aziende affidata a ingegneri;
3. approccio quantitativo con il metodo matematico storicamente adottato da Ingegneria e applicato a Economia e, di rimbalzo, con l'applicazione di Economia matematica a Ingegneria.

Sul piano didattico, Economia ha influenzato in modi diversi Ingegneria civile e industriale, e Ingegneria gestionale[1]. Similmente, Ingegneria ha interagito in modi diversi con Economia aziendale, Economia politica, Economia applicata, Organizzazione aziendale, Econometria. Perciò il titolo di questo lavoro avrebbe dovuto essere più correttamente Ingegnerie ed Economie, al plurale. Mariotti (2021) ha ricondotto il dibattito in letteratura a tre paradigmi: Economia "per" Ingegneria, Economia "e" Ingegneria, Economia "come" Ingegneria.

Questo lavoro ha due scopi: a) trarre dalla storia esempi degli anzidetti tre ambiti di interazione e della rispettiva ricaduta sulla didattica; b) indagare la possibilità di un quarto ambito: comparare, alla pari, fondamenti di Ingegneria e fondamenti di Economia, con l'unitarietà di visione e di criteri resa possibile dall'analisi dei sistemi complessi e dinamici (Wiener, 2015).

Ingegneria civile, Estimo ed Economia dei trasporti nell'industria delle costruzioni dell'Ottocento

Un primo esempio in ordine cronologico di economia di beni realizzati da ingegneria vide protagonisti da un lato Ingegneria civile, che riguarda i luoghi in cui l'uomo vive e si muove, dall'altro Estimo, disciplina che ne studia costi e valori. Per la verità, Estimo preesisteva da molti secoli, perché era uno strumento asservito alla riscossione delle imposte, specie sui terreni, come insegna Storia economica, ma ebbe

una svolta importante a inizio Ottocento. In quegli anni, sotto l'influenza dell'*École Polytechnique française* nacquero in Italia alcune Scuole di Applicazione per Ingegneri civili. Il primo passo in tal senso fu compiuto da Gioacchino Murat subito dopo la sua nomina a Re di Napoli nel 1808, quando istituì il Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade e lo compose con laureati per la prima volta non appartenenti ad accademie militari. Tre anni dopo, nel 1811, valorizzando l'esperienza accumulata in Francia nei decenni precedenti (Picon, 1992), Murat creò a Napoli la Scuola di Applicazione per Ingegneri di Ponti e Strade. Nel 1817 papa Pio VII istituì a Roma la Scuola di Ingegneria per far acquisire ai giovani dello Stato Pontificio le conoscenze di materie importanti come Geometria descrittiva, Costruzioni, Idraulica, Strumentazione geodetica e idrometrica.

Con la riforma Casati del 1859, nacquero in Italia Scuole di Applicazione di Ingegneria. La preesistente scuola di Roma crebbe dopo l'Unità d'Italia con il ricongiungimento della capitale al resto del Paese e con il boom delle costruzioni. Nel 1935 fu inaugurata la Città universitaria di Roma e la Scuola entrò a farne parte divenendo Facoltà di Ingegneria. Nel 1877 Giovanni Curioni, professore nella Scuola di Applicazione per Ingegneri di Torino, volle inserire nel suo corso di Meccanica applicata alle costruzioni le moderne teorie dell'elasticità elaborate da studiosi francesi e ne modificò il titolo in Scienza delle costruzioni. La disciplina rappresentava una sintesi tra gli studi teorici di meccanica del continuo e di meccanica delle strutture (Capecchi e Ruta, 2011).

Questa evoluzione dell'Ingegneria civile fu ispirata da esigenze di Economia delle costruzioni e dei trasporti (Ostuni, 1987) e cercò di soddisfarle. A metà Ottocento i princìpi di Estimo furono ridefiniti (Borio, 1862). Per quanto riguarda l'interazione tra Ingegneria di ponti e strade ed Economia dei trasporti, essa risaliva ai trasporti marittimi e in Italia si estese a quelli ferroviari a inizio Novecento (Di Nola, 1919), anche se l'affermazione di questi ultimi era arrivata negli Stati Uniti più di mezzo secolo prima con il trasporto ferroviario delle armi durante la Guerra civile (Di Nicola, 2015, pp. 21-22). Quanto alle strade, l'interazione arrivò ovviamente solo dopo l'industrializzazione dell'auto.

Ingegneria industriale ed Economia aziendale nella grande impresa industriale

Un secondo esempio di economia di beni realizzati da ingegneria è costituito dalla nascita di grandi imprese industriali, la cui guida fu spesso affidata a ingegneri, di cui agli ambiti 1 e 2 schematizzati nell'Introduzione.

Industria americana, tra fine Ottocento e primo Novecento

Grazie all'impiego dell'energia idraulica e alla meccanizzazione delle lavorazioni, a fine Ottocento, negli Stati Uniti si affermò un vasto processo di industrializzazione. Marshall, laureato in matematica e poi economista, indicò l'importanza della

produzione su vasta scala di *commodities*, cioè di prodotti standardizzati, tutti uguali, in seguito denominata produzione di massa, e i vantaggi dell'economia di integrazione verticale e dell'economia di scala nelle grandi fabbriche non solo dell'industria meccanica, ma anche e soprattutto di quella petrolchimica (Marshall e Paley, 1879). Marshall teorizzò anche che solo nelle grandi fabbriche fosse possibile la divisione del lavoro[2].Quanto all'economia di integrazione e, di contro, alle future catene globali del valore, Marshall intuì, già 120 anni prima che esse fossero teorizzate (Gereffi, 1999), che i singoli reparti avrebbero potuto evolversi in fabbriche separate di semilavorati, e sarebbero potute nascere *Subsidiary Industries*. Intuì insomma che ogni anello della catena di montaggio poteva essere disgiunto e assegnato all'impresa che per qualità, disponibilità locale di materie prime, energia, lavoro, costi, potesse svolgerlo in termini i più competitivi.

Un altro pensiero che mette in discussione l'economia di integrazione verticale è quello che ha per fulcri la teoria dei costi di transazione di Oliver Eaton Williamson e la teoria dei diritti di proprietà di Sanford J. Grossman e Oliver D. Hart. Entrambe queste teorie poggiano sul pensiero elaborato da Ronald Coase in "The Nature of the Firm" (1991).

I metodi di massimizzazione dell'efficienza nelle fabbriche americane di automobili furono teorizzati da Frederick Taylor, il quale da operaio si laureò in Ingegneria meccanica nel 1883: non avrebbe potuto scegliere un corso di studi migliore e più coerente. Il processo di ottimizzazione delle lavorazioni fu chiamato taylorismo.

Quanto all'economia di scala cosiddetta tecnica, l'ingegneria dell'industria di processo, quale quella di raffinazione petrolifera, la chimica, l'alimentare, la metallurgica, la farmaceutica e quelle del cemento e del vetro, dimostrò che i relativi impianti avevano quasi tutti la struttura geometrica tipica del cilindro cavo, con, ad esempio, serbatoi, forni, scambiatori di calore, essiccatoi, colonne di distillazione, reattori, fermentatori e torri di raffreddamento, e, grazie a questa peculiarità, presentavano una forte economia di scala e una maggiore redditività se costruiti più grandi. Ciò diveniva una spinta al gigantismo e alla concentrazione dell'offerta sul mercato (Peters e Timmerhaus, 1991; Brennan, 2020). Ciò si spiegava con il fatto che l'investimento tecnico-materiale relativo all'acquisto dei componenti d'impianto è proporzionale al peso dei componenti stessi, a parità di materiale, e, essendo questi cavi, alla loro superficie e, a parità di altezza, alla circonferenza e quindi al raggio del cilindro, mentre la capacità produttiva è proporzionale al flusso di materiali all'interno dei componenti espresso in volume nell'unità di tempo e, a parità di altezza, all'area della sezione e al quadrato del raggio (AACE, 2011; Gallo, 1972; Gallo, 2006). Cosicché al crescere della capacità produttiva l'investimento cresce in misura meno che proporzionale, almeno fino ai limiti delle conoscenze pratiche[3], oltre le quali aumenta il costo in situazione patrimoniale. Nella gestione economica i costi fissi, dovuti a lavoro e ammortamenti, sono proporzionali all'investimento

e crescono anch'essi meno che proporzionalmente alla capacità produttiva, mentre i costi variabili (a parità di ogni altra condizione incluso il grado di utilizzo) sono proporzionali alla capacità produttiva.

L'industrializzazione americana dell'Ottocento fu basata sul duplice obiettivo di razionalizzare i processi produttivi, a partire dalle industrie meccanica, chimica, tessile e di minimizzare i relativi costi, dunque dal lato dell'offerta, non da quello della domanda di mercato. In questo senso, quel modello di industrializzazione può essere considerato un esempio tipico di interazione tra Ingegneria industriale ed Economia aziendale del settore scientifico-disciplinare Secs-P/07 con uno sbocco su Economia industriale del Secs-P/06. Trent'anni dopo il lavoro di Marshall, nel 1908 venne creata la *Harvard Graduate School of Business Administration*, prima MBA. Anche in Italia in quegli anni si cercò di organizzare un matrimonio universitario tra Ingegneria ed Economia, ma il tentativo fallì per contrasti politici e culturali e nel 1902 nacque la Bocconi, università indipendente di sola Economia (Mariotti, 2021).

Industria privata italiana, Fiat, prima metà del Novecento

Agli albori del successo della produzione di massa, dell'industria automobilistica americana e del taylorismo, nel 1899 fu costituita la Fiat. Divenne la maggior casa di auto europea e la terza al mondo. Nei primi anni, la produzione fu impostata su una gamma di modelli fin troppo ampia rispetto al numero di vetture fabbricate, pari ad appena 103 pezzi nel 1903, anno in cui nacque la Ford negli Stati Uniti. Ma poi, in analogia all'impostazione di quest'ultima, che fabbricava in casa tutta la componentistica, dopo 20 anni, nel 1923, Fiat inaugurò la fabbrica grande e integrata del Lingotto (Volpato, 2006).

Artefice di larga parte del successo di Fiat fu Vittorio Valletta, avente una formazione nella contabilità, collaboratore fin dalla nascita del Lingotto e poi dirigente, direttore generale nel 1928, amministratore delegato della società nel 1939, presidente nel 1946. L'auto Fiat 600 fu emblematica del boom economico italiano, simbolo dell'ingegneria automobilistica. Valletta fu orgoglioso di ricevere nel 1959 la laurea honoris causa in Ingegneria industriale, dal Rettore del Politecnico di Torino in analogia a quanto accadde all'ingegnere Frederick Taylor. Rappresentò un esempio del primo e del secondo ambito di interazione tra Economia aziendale e Ingegneria industriale schematizzato nell'Introduzione.

Negli anni Sessanta del Novecento, in concomitanza all'uscita di Valletta dalla Fiat, agli antipodi della produzione di massa e del taylorismo, si affermò nel mondo il modello giapponese della produzione snella sperimentato dalla Toyota e in seguito adottato in misura diversa da tutte le altre case automobilistiche. La rivoluzione culturale del modello della produzione snella consisteva nell'attenzione alla dinamicità della domanda di mercato. Il ripensamento della struttura dell'offerta era solo una conseguenza (Womack *et al*., 1991).

Nel 1957, con il contributo di Fiat, venne fondata a Torino la SAI, Scuola di Amministrazione Industriale, la quale poi nel 1974 si legò all'Università di Torino. Ma nella Scuola di Applicazione per Ingegneri di Torino addirittura a fine Ottocento tra gli insegnamenti definiti «periodici o accidentali» ne era già stato introdotto uno denominato Economia industriale (Pugno, 1959, pp. 36-37).

Industria privata italiana, Olivetti, prima metà del Novecento

Nel 1908 in Italia Camillo Olivetti fondò l'omonima azienda Olivetti, prima fabbrica nazionale di macchine per scrivere, rivolta al mercato internazionale, attenta al design, alla tecnologia, all'innovazione (Molteni, 1983). Nel caso specifico l'innovazione consisteva principalmente nella trasformazione di prodotti meccanici in elettronici di avanguardia. Camillo si era laureato in Ingegneria industriale presso quello che sarebbe poi diventato il Politecnico di Torino, dove era stato allievo dell'ingegnere civile Galileo Ferraris. Vent'anni dopo, Camillo fu sostituito alla guida dell'impresa dal figlio Adriano, a sua volta laureato in Ingegneria chimica. L'Olivetti fu trasformata da azienda familiare in moderno gruppo industriale.

A metà degli anni Trenta del Novecento, Adriano teorizzava che le industrie complesse di massa dovessero essere gestite da ingegneri manager aventi competenze non solo di processo produttivo, progettazione e specifiche tecniche del prodotto, ma anche di controllo dei costi, *budgeting*, programmazione, mercati. Teorizzava anche che l'impresa dovesse contribuire al benessere sociale dei lavoratori, attraverso una valorizzazione del loro talento (Gerbi, 2013).

Nel 1960, quattro anni dopo la scomparsa di Adriano Olivetti, la società manifestò gravi difficoltà economico-finanziarie con perdita dei suoi valori fondativi. Ne uscì con un irreversibile ridimensionamento strategico. Le cause della crisi furono attribuite dai più autorevoli studiosi dell'epoca a numerosi fattori di tipo congiunturale, interno e organizzativo. Nessuno però si chiese se l'azienda avesse una dimensione sufficiente a sopportare l'enorme peso dell'indispensabile attività di ricerca e sviluppo. In altri termini, è possibile che fosse stata persa la sfida a suo tempo indicata da Adriano, secondo cui l'Olivetti era un'industria di massa complessa, non produceva *commodities*, non riusciva a conciliare volumi ridotti con *specialities* e innovazione, avrebbe dovuto essere una grande multinazionale e invece, seppur molto orientata all'estero, non lo era.

L'Olivetti rappresentò un esempio sia di impresa guidata da ingegneri, sia di interazione tra Ingegneria industriale da un lato ed Economia aziendale, Economia industriale e Organizzazione aziendale dall'altro. Nel 1971, la Facoltà di Scienze politiche dell'Università di Torino istituì il corso di Economia industriale e teoria dell'impresa[4]. È interessante notare che la disciplina Economia industriale era qui concepita come derivata da Economia dell'impresa e non come applicazione al settore industriale dell'Economia politica.

Industria a partecipazione statale italiana, prima metà del Novecento

Negli anni Trenta del Novecento Pasquale Saraceno, dipendente del neo-costituito IRI-Istituto per la Ricostruzione Industriale, poi ordinario di Tecnica industriale e commerciale all'Università Ca' Foscari di Venezia, teorizzò il nesso tra impianti di produzione, dimensioni d'impresa e capitali di rischio, privati o di Stato. Saraceno (Biffis, 1992; Bianchi, 2002) teorizzò che motore necessario e forse sufficiente per lo sviluppo industriale di un Paese fosse lo sviluppo di forme organizzative della grande impresa e che, mancando in Italia ingenti capitali di rischio privati, il compito dovesse essere attribuito a imprese controllate da enti di gestione di partecipazioni statali. Nella sua formazione universitaria, Saraceno era stato allievo di Gino Zappa, economista aziendale.

Il pensiero di Saraceno si nutrì e si realizzò con le grandi società controllate dall'IRI che furono artefici dell'infrastrutturazione e dell'industria di base dell'Italia del dopoguerra, come SIP nelle telecomunicazioni, Alitalia nel trasporto aereo, Finmeccanica nella costruzione dei mezzi di trasporto e Finsider nella siderurgia, ai cui vertici furono insediati imprenditori pubblici spesso ingegneri, che hanno fatto la storia[5].

Saraceno ispirò la nascita nel 1967 del CSEI, Centro Studi Economia Applicata all'Ingegneria, presso la Facoltà di Ingegneria di Napoli. È interessante notare che anche in questo caso a influenzare l'impostazione nel campo dell'Ingegneria fu l'Economia aziendale.

La reciproca influenza tra Ingegneria ed Economia ebbe ottimi risultati anche nella produzione e vendita di altri servizi pubblici. A seguito della nazionalizzazione dell'energia elettrica, a fine 1962 fu costituito l'ENEL, ente nazionale avente personalità giuridica di diritto pubblico. Alla direzione generale fu chiamato Arnaldo Maria Angelini, ingegnere, ordinario di Elettrotecnica nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma La Sapienza. Pochi mesi dopo, nel 1963, nel corso di laurea Ingegneria elettrotecnica di Roma fu istituito un corso di Economia industriale, otto anni prima di quello di Torino[6]. Il programma didattico partiva dai bilanci societari, risultando questo un approccio assolutamente naturale per gli studenti di ingegneria, i quali già padroneggiano la nozione di bilancio, a loro ben nota fin dallo studio della Termodinamica e della Stechiometria affrontato nei corsi rispettivamente di Fisica I e Chimica generale e inorganica al primo anno del percorso accademico[7].

Ingegneria delle tecnologie ed Economia industriale nei distretti della seconda metà del Novecento

Un terzo esempio in ordine cronologico di economia di beni realizzati da ingegneria è costituito dalle imprese innovative.

Le piccole e medie imprese operanti in una stessa tipologia di prodotto e in uno stesso territorio per ridurre i costi fissi cooperarono su vari livelli e commissionarono a studi professionali di ingegneria presenti sul territorio locale la progettazione degli impianti innovativi di produzione[8]. Gli studi di ingegneria svolsero di fatto un ruolo

di diffusione e di evoluzione delle tecnologie, come moderni centri di trasferimento delle conoscenze. Le imprese minori, pur non rinunciando a farsi concorrenza nel loro *core business*, emulandosi reciprocamente gareggiarono nell'adottare le tecnologie più avanzate proposte dall'ingegneria e accrebbero per questa via il valore dell'output (Gallo e Prodi, 1976). Insomma, adottarono una nuova organizzazione industriale, la *concentration*, chiamata distretto industriale. La considerazione che i distretti operassero in settori tradizionali a basso livello tecnologico si rivelò un mero pregiudizio (Brusco e Paba, 1997, p. 297; Gallo, 2021).

Sotto la pressione della globalizzazione, più di dieci anni fa, nei distretti le imprese maggiori profusero il massimo impegno in innovazione, *design* e *marketing* ed ebbero successo, mentre le altre minori rimasero indietro. Fu allora che si ruppe il modello distrettuale. Ingegneria e tecnologia che avevano influenzato la nascita dei distretti, finirono per causarne il superamento.

Negli ultimi decenni sono fioriti innumerevoli corsi di Economia e istituzioni dei distretti industriali.

Altri importanti versanti dell'interazione tra Ingegneria delle tecnologie ed Economia industriale sono quelli del trasferimento tecnologico (Gallo *et al*., 2011) e delle piccole imprese innovative (Raffa, 1990).

Ingegneria dei sistemi ed Economia politica nei sistemi complessi dall'Ottocento agli anni Duemila

Vengono esaminati ora esempi storici, in ordine cronologico, di approccio quantitativo, con il metodo matematico applicato a Economia, e con Economia matematica applicata a Ingegneria, di cui all'ambito n. 3 dell'Introduzione.

Si è detto che, nel solco dell'Illuminismo, l'Ingegneria adottò il metodo matematico nell'osservazione e misura dei processi, e che l'Economia cercò di perseguire il medesimo metodo osservando processi che però contenevano l'elemento umano e sociale. Ebbene, nella seconda metà dell'Ottocento Vilfredo Pareto, ingegnere, direttore generale della Società Ferriere Italiane, lavorò dapprima sull'impiego della Matematica nell'Economia e poi si interessò alla Sociologia. Più precisamente, partì dalla sua tesi di laurea sulla teoria della elasticità dei corpi solidi e sulle relative equazioni differenziali, poi tentò di trasferire in economia il metodo sperimentale delle scienze fisiche con l'osservazione delle costanti della natura umana e l'uso della matematica; nel 1894 divenne professore ordinario di Economia politica all'università di Losanna, quindi fu tra i principali teorici dell'indirizzo marginalistico o neo-classico ed elaborò quella che chiamò Sociologia scientifica. Com'è noto, il principio di Pareto dice che il 20% delle cause provoca l'80% degli effetti ed è basato sull'osservazione empirica e statistica di una miriade di sistemi complessi.

Nello stesso alveo dell'impiego della Matematica nell'Economia e dell'applicazione dell'Economia matematica all'Ingegneria, particolare rilievo spetta a Ilio Adorisio,

ingegnere (1986 e 1993), il cui approccio partiva dalla lezione che l'economia capitalistica è di per sé non stazionaria, la rappresentazione dei processi produttivi è centrata sugli insiemi di produzione, il massimo ottenibile va cercato con metodi matematici di ottimizzazione. Il percorso scientifico di Adorisio dunque non si svolse direttamente da Ingegneria a Economia o viceversa, perché fu mediato dalla Matematica.

Antonio Ruberti, ingegnere, professore ordinario di Controlli automatici, dal 1973 insegnò Teoria dei sistemi. Siro Lombardini fu ordinario di Politica economica. Nel 1974 Ruberti e Lombardini crearono il GES, Gruppo di Economia e Sistemistica. La complessità dei sistemi economici, settori industriali, economia nazionale, politiche monetarie, gestione del territorio, aziende e tecnologie, suggeriva agli economisti di ricorrere alla ricerca operativa e alla teoria dei sistemi (Ruberti, 1976).

La scienza dei sistemi complessi e quella dell'intelligenza artificiale sembrano oggi far crollare i confini disciplinari, rendono tutto comunicante e interagente, lasciano sperare in un futuro salto di qualità nella comprensione dei fenomeni e nel governo dei processi.

Comparazione di alcuni fondamenti di Economia e Ingegneria

Per il periodo 2020-2022, quello della pandemia da Covid-19, l'andamento oscillatorio smorzato del prodotto interno lordo e quello ascendente ritardato dell'inflazione. sono stati comparati dall'Osservatorio delle Imprese della Sapienza, presieduto dall'Autore, con gli analoghi fenomeni di oscillazione, dissipazione e conversione dell'energia rispettivamente in un circuito elettrico, un reattore chimico, una struttura edile. Si veda il documento di lavoro Economia e Ingegneria, Dinamiche comparate [1]. Più precisamente è stato esaminato il caso in cui in questi sistemi l'energia immessa in eccesso non viene impiegata o smaltita, cosicché un componente del circuito elettrico si surriscalda, la temperatura nel reattore s'impenna, la trave si scalda, entra in risonanza e collassa. La comparazione è stata effettuata per l'Europa e l'Italia, i cui governi hanno adottato misure di politica di sostegno della domanda aggregata attraverso l'immissione copiosa di moneta senza che questa venisse impiegata in misura efficace. Questo lavoro è stato discusso dall'Autore nell'ambito scientifico degli economisti e ne sono emersi la necessità e l'interesse scientifico di dimostrazioni quantitative più solide della mera analogia la quale, seppur avvincente, è concettuale e solo qualitativa. In definitiva, anche la comparazione diretta tra alcuni fondamenti dell'Ingegneria e altrettanti dell'Economia richiede un approccio matematico omogeneo e unitario che sappia descrivere la risposta dinamica di ciascuna disciplina e possa trasferire soluzioni di governo da ogni sistema all'altro.

Conclusioni

Nei secoli recenti il progresso tecnico e il benessere sociale hanno tratto indubbio vantaggio dall'interazione tra le due scienze Ingegneria ed Economia, a partire dal

campo delle costruzioni, poi nelle imprese industriali, infine nella concezione di più moderni sistemi e prodotti. Questo processo si è articolato in molti ambiti, talvolta fallendo, e non si è ancora concluso. Nonostante sembri che Economia venga in soccorso di Ingegneria, visto che esiste Economia Applicata all'Ingegneria e non viceversa, in realtà hanno prevalso e continuano a prevalere gli studiosi di Ingegneria tenacemente impegnati a traslare all'Economia le conoscenze costruite dalla scienza ingegneristica. La difficoltà finora non risolta riguarda la quantificazione oltretutto in termini dinamici del comportamento umano e della complessità del sistema, le cui variabili sono molteplici e interagenti.

Proprio la scienza dei sistemi complessi e quella dell'intelligenza artificiale sono oggi necessarie per far crollare i confini disciplinari, rendendo tutto comunicante e interagente e lasciando sperare in un futuro salto di qualità nella comprensione dei fenomeni e nel governo dei processi. A quel punto, già studiare le interazioni soltanto tra Ingegneria ed Economia sarà limitativo.

Bibliografia

AACE 2011. *Development of factored cost estimates – as applied in engineering, procurement, and construction for the process industries*, Recommended Practice No. 59R-10, TCM Framework: 7.3 - Cost Estimating and Budgeting, AACE® International, Inc. June 18.

Adorisio I. 1986. *Ingegneria della produzione astratta.* Padova. Cedam.

Adorisio I. 1993. *Lezioni in stesura provvisoria.* Milano. FrancoAngeli.

Ashton T.S. 1970. *La rivoluzione industriale. 1760-1830*. Bari: Laterza.

Bianchi P. 2002. *Saraceno economista industriale ed economista politico*. Quaderno n. 17 di Informazioni Svimez. Roma: Svimez.

Biffis P. 1992, *Il governo delle imprese. Pasquale Saraceno e la produzione industriale*. Padova: Cedam.

Borio G. 1862, *Primi elementi di economia de fondi rustici ad uso principalmente de periti e degli amministratori*. Torino: Unione tipografico-editrice.

Brennan D. 2020. *Process Industry Economics*. Amsterdam: Elsevier.

Brusco S., Paba S. 1997. Per una storia dei distretti industriali italiani dal secondo dopoguerra agli anni Novanta. In: *Storia del capitalismo italiano dal dopoguerra a oggi* (a cura di F. Barca), 265-333. Roma: Donzelli.

Capecchi D., Ruta G. 2011. *La scienza delle costruzioni in Italia nell'Ottocento*. Milano: Unitext Springer.

Coase R.H. 1991. *The nature of the firm: origins, evolution, and development* (O.E. Williamson Ed.). Sidney: G. Winter.

Cournot A. 1838. *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*. Parigi: Hachette.

Di Nicola P. (a cura di). 2015. *Da Taylor a Ford, Appunti per lo studio dello scientific managment e della catena di montaggio*. Roma: Ediesse.

Di Nola C. 1919. Gli altri aspetti dell'economia dei trasporti. Giornale degli Economisti e Rivista di Statistica Serie terza, 58(5), 237-261.

Gallo R. 1972. Alcuni metodi per la valutazione del coefficiente di scala degli impianti chimici. L'Ingegnere, Rivista Tecnica Mensile di Ingegneria e di Architettura, XLVI(11), 83-91.
Gallo R. 2021. Competitività e tentazioni di Stato. L'Industria, XLIII(2), 277-305.
Gallo R., Prodi R. 1976. Effetti di una innovazione tecnologica sulla struttura industriale. Rivista di Economia e Politica Industriale, 2, 223-36.
Gallo R. 2006. *Manuale di Finanza Industriale*, seconda edizione, 9.7-9.8. Milano. Giuffrè Editore.
Gallo R., M. Mallone, V. Zezza 2011, Technological transfer: the RIDITT Programme. European Review of Industrial Economics and Policy, 1.
Gerbi S. 2013. *Giovanni Enriques: dalla Olivetti alla Zanichelli.* Milano: Hoepli.
Gereffi G. 1999. International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain. Journal of International Economics, 48(1), 37–70.
Mariotti S. 2021. Forging a new alliance between economics and engineering. Journal of Industrial and Business Economics, Springer, 48, 551-572.
Marshall A., Paley M. 1879. *The Economics of Industry*. London: McMillan and Co.
Molteni M. 1983. *Il caso Olivetti (1908-1982)*. Milano: Università Bocconi.
Nicola P.C. 2011. Economia Matematica e Meccanica Razionale. In: *L'Economia Quantitativa diventerà una Tecnologia del Futuro?* (a cura di P.C. Nicola, A. Zanella e A. Robbiati Bianchi), 58-72. Milano: Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere.
Ostuni N. 1987. Riforme amministrative e viabilità nel Regno di Napoli durante il periodo francese. In: *Villes et territoire pendant la période napoléonienne (France et Italie). Actes du colloque de Rom*e, École Française de Rome, 3-5 mai 1984, 96, 161-181.
Peters M.S, Timmerhaus K.D. 1991, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 4th Ed. Singapore: McGraw-Hill.
Picon A. 1992. *L'invention de l'ingenieur moderne: l'Ecole des ponts et chaussees, 1747-1851.* Paris: Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussees.
Pugno G.M. 1959. *Storia del Politecnico di Torino, Dalle origini alla vigilia della seconda guerra mondiale*. Torino: Stamperia Artistica Nazionale.
Raffa M. 1990. La nascita e lo sviluppo delle piccole imprese innovative. In: *L'innovazione tecnologica nell'industria e nei servizi: in Italia e nel Mezzogiorno* (a cura di E. Esposito). Napoli: CUEN.
Ruberti A. 1976. Prefazione. In: *Teoria dei Sistemi ed Economia* (a cura di F. Brioschi, S. de Julio, A. Mazollo, P.C. Nicola e B. Sitzia). Bologna: Il Mulino.
Smith A. 1961. *The Wealth of Nations*. Methuen: University Paperbacks.
Volpato G. 2006. *ll caso FIAT. Crisi e riorganizzazione strategica di un'impresa simbolo*. Torino: ISEDI.
Wiener N. 2015. *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine.* New Orleans: Quid Pro books.
Womack J.P., Jones D.T., Roos D. 1991. *La macchina che ha cambiato il mondo*. Milano: Rizzoli.
Zanella A. 2011. *Procedimenti di misurazione nelle discipline economico-sociali*. (a cura di P.C. Nicola, A. Zanella e A. Robbiati Bianchi), 113-138. Milano: Istituto Lombardo - Accademia di Scienze e Lettere.

Sitografia

[1] https://www.ing.uniroma1.it/documenti-di-lavoro

Note

[1] Alla Sapienza Università di Roma esistono due Facoltà: Ingegneria civile e industriale e Ingegneria dell'informazione, informatica e statistica, cui fa capo il Dipartimento di Ingegneria informatica, automatica e gestionale.

[2] Negli Stati Uniti la prima grande industria fu quella dell'auto. La meccanizzazione portò all'organizzazione delle catene di montaggio e del lavoro di reparto.

[3] A titolo esemplificativo, nel 1972 nel cantiere della raffineria Isaab a Melilli-Siracusa, oggi Lukoil, i cui singoli impianti sono i più grandi mai costruiti in Europa, il fondo della colonna di vacuum durante il montaggio cadde perché le attrezzature impiegate erano adatte per impianti di dimensioni minori. Ciò provocò un vero e proprio cratere nel suolo e richiese la costruzione di un nuovo fondo e la progettazione e costruzione di nuove più potenti attrezzature di sollevamento e montaggio. L'inconveniente vanificò l'economia di scala di costruzione.

[4] Il corso di Economia industriale e teoria dell'impresa fu affidato per incarico a Franco Momigliano, responsabile dell'Ufficio Studi dell'Olivetti. Momigliano divenne professore ordinario nel 1980.

[5] Tra questi, alla guida di Finsider nel 1945 andò Oscar Sinigaglia, ingegnere. Nei decenni seguenti, anche alla guida di società subcontrollate da Finsider, come Italsider, o da Finmeccanica, come Ansaldo e Alfa Romeo, furono chiamati manager ingegneri, i quali talvolta non seppero impedire l'insorgere di gravi perdite di gestione nelle rispettive aziende. Enrico Cuccia, capo di Mediobanca, era solito dire in modo tagliente che gli ingegneri si appassionano un po' troppo ai loro impianti e perdono freddezza quando aziende, impianti e reparti in perdita devono essere chiusi.

[6] Il corso di Roma fu assegnato inizialmente per incarico all'ingegner Riccardo Sennato, responsabile del settore Lavori impianti elettrici della società Acea di Roma, e nel 1976 fu assegnato allo scrivente Autore.

[7] Questa motivazione fu contenuta in uno scambio di comunicazioni tra l'economista Beniamino Andreatta e lo scrivente Autore a metà anni Settanta.

[8] Inoltre demandarono a strutture consortili le loro attività di staff esterne al ciclo produttivo, quali marketing, brand e rapporti con autorità dei Paesi di esportazione.

Marcello Lando, Massimiliano M. Schiraldi

Historical industrial roots of management engineering: from the organization of work in the factory to the management of complex systems

Storiche radici industriali dell'ingegneria gestionale: dall'organizzazione del lavoro in fabbrica alla gestione dei sistemi complessi

Abstract

As early as after World War II, the increasing responsibilities gradually attributed to engineers in an industrial context - also behind the push coming from excellent examples found at large North American and European educational institutions - had made the need felt in Italy to integrate the traditional curriculum of industrial engineers with elements of Economics and Business Management. The activation of the University Degree in Engineering and Management, which took place in the last two decades of the last century at Italian universities, rewarded by the growing attention of companies in every sector and the preferential choice of young people, therefore stands to represent one of the most successful examples in the history of innovations introduced in university programs. This paper aims to trace the historical "industrial" roots of the Engineering and Management programs, reaffirming the educational centrality of disciplines related to operations management, manufacturing technologies, and industrial automation, leading to the production of goods and services of primary interest for human society.

Sommario

Già nel secondo dopoguerra, le crescenti responsabilità progressivamente attribuite agli ingegneri in ambito industriale - anche dietro la spinta proveniente da esempi eccellenti riscontrati presso grandi istituzioni formative nordamericane ed europee - avevano fatto percepire anche in Italia l'esigenza di integrare il tradizionale curriculum degli ingegneri industriali con elementi di Economia e Gestione Aziendale. L'attivazione del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale, avvenuta negli ultimi due decenni del secolo scorso nelle università italiane, premiata dalla crescente attenzione delle aziende di ogni settore e dalla scelta preferenziale dei giovani, si pone quindi come uno degli esempi di maggior successo nella storia delle innovazioni introdotte nei programmi universitari. Il presente lavoro si propone di tracciare le

radici storiche "industriali" dei programmi di Ingegneria Gestionale, riaffermando la centralità formativa delle discipline legate alla gestione delle Operations, alle tecnologie manifatturiere e all'automazione industriale, responsabili della produzione di beni e servizi di primario interesse per la società umana.

From Industrial to Management Engineering

It is not always recognized that, since the advent of the industrial era in the 19th century, the history of management has been written everywhere by excellent figures of industrial engineers. Yet, despite this historical connotation of the engineer working in business management, the not-everywhere-balanced evolution of academic institutions has sometimes come to produce an imbalance in the educational mix offered through the Engineering and Management program, giving an excessive relevance to disciplines in the area of economics and finance at the expense of other inescapable educational occurrences. In this regard, it should be noted that the very invasiveness of the verbal image of "industry" - which we find in expressions such as hospitality industry, agricultural industry, entertainment industry, healthcare industry, and others - is a recognition, if anything, of the success of the typical engineering approach, pioneered in the manufacturing industry, when extended to the most varied fields of economic activity.

The figure of the industrial engineer has existed for much longer than when the first university degrees in industrial engineering were formalized and institutionalized. The example of the Venice Arsenal is often cited, arguably the first example of organized shipbuilding that anticipated many of the concepts of modern Industrial Engineering. However, without going back to the 12th century and remaining focused on the modern era, we can say that the first milestone can be placed in 1886, when at the Annual Meeting of the ASME, the American Society of Mechanical Engineers, six years after its founding, the training of the mechanical engineer already was questioned, arguing for the growth of the economic and managerial component in it. The idea was advocated that engineers should design and fabricate products at costs that many consumers can afford. This idea subsequently gave birth to the field of Management Engineering. On that occasion, the speeches of Henry Towne and Henry Metcalfe are of key importance. The former said: «The monogram of our national initials, which is the symbol for our monetary unit, the dollar, is almost as frequently conjoined to the figures of an engineer's calculations as are the symbols indicating feet, minutes, pounds, or gallons. The final issue of his work, in probably a majority of cases, resolves itself into a question of dollars and cents, of relative or absolute values. This statement, while true in regard to the work of all engineers, applies particularly to that of the mechanical engineer, for the reason that his functions, more frequently than in the case of others, include the executive duties of organizing and superintending the operations of industrial establishments, and of directing the

labor of the artisans whose organized efforts yield the fruition of his work» (Towne, 1886). At the same time, the latter closed with «efficiency being admitted, the excellence of an administration is universally measured by its cost» (Metcalfe, 1886). Frederick Winslow Taylor, who would become its president in 1906 was also present at the same ASME conference. He was working on an editorial idea that went in the same direction and materialized with his "Shop Management" (Taylor, 1903) in 1903 before his famous masterpiece "The principles of scientific management" in 1911 (Taylor, 1911).

The need to introduce economic training into the cultural baggage of the engineer was reiterated by engineers Emile Garke and John Manger Fells in their 1887 book "Factory Accounts-Their Principles and Practices" (Garke and Fells, 1887). What emerged in the discussion concerning the engineer's training were considerations that emphasized the importance of ensuring preparedness in factory management. Therefore, the emphasis was on management aspects and aspects related to the shop floor. Therein lies already, acknowledged in the literature, the first trigger for a reform of engineering education. As Monte Alan Calvert pointed out, «by the 1880s, what one historian has called the 'shop culture' slowly began to become the 'school culture'» (Calvert, 1967). As is often the case, these early signs of reform were strongly opposed by the old school devotees, who saw the danger of losing more scientific knowledge in favor of learning more simple and practical elements, necessary to run the factory and not to design its components (Seely, 1999). That danger, in fact, materialized, so much so that the stigma of Stephen Timoschenko at the University of Michigan was recorded in the annals when in 1922 he complained about the poor preparation of engineers in the theory of materials physics (Emmerson, 1973, pp. 289-290).

The first formal course in Industrial Engineering at a university can be said to have been that of the University of Kansas in 1901, entitled "Factory Economics" (Scachitti *et al*., 2006), which was created with the goal of training professionals capable of managing manufacturing processes. It was followed by the Penn State College of Engineering in 1908 with the Industrial Engineering program founded by Hugo Diemer. Diemer coined the term "Industrial Engineering" in 1900 to describe the fusion of engineering and business disciplines and published in 1910 the book "Factory Organization and Administration" (Diemer, 1910), signing himself "professor of industrial engineering" and at that time already holding the position of head of the Department of Industrial Engineering at the same university. Diemer wrote: «It is the business of the production engineer to know every single item that constitutes his finished product, and every step involved in the handling of every piece. He must know what is the most advantageous manufacturing quantity of every single item so as to secure uniformity of flow as well as economy of manufacture. He must know how long each step ought to take under the best attainable working

conditions. He must be able to tell at any time the exact condition as regards quantity and state of finishedness of every part involved in his manufacturing process. The engineer must be able not only to design, but to execute. A draftsman may be able to design, but unless he is able to execute his designs to successful operation he cannot be classed as an engineer. The production engineer must be able to execute his work as he has planned it. This requires two qualifications in addition to technical engineering ability: He must know men, and he must have creative ability in applying good statistical, accounting, and "system" methods to any particular production work he may undertake».

To complete the overview of the emergence of degree programs in Industrial Engineering, it is worth mentioning in succession the Industrial Engineering Program launched in 1911 at Syracuse University «As early as 1877 civil engineering courses were offered through the College of Liberal Arts. Electrical engineering followed in 1897, then mechanical engineering in 1900. In 1901 the university, thanks to the vision and financial support of noted industrialist Lyman Cornelius Smith, established a college dedicated exclusively to teaching various areas of applied science. Programs in industrial engineering (1911), chemistry (1914) and aeronautics (1927) were added in response to societal demand.[...] A master's program in engineering administration (engineering management) was established in 1957» [1], as well as, three years later, in 1914, the Engineering Administration course at the Massachusetts Institute of Technology «The Alfred P. Sloan School of Management began in 1914 as Course XV, Engineering Administration, at the Massachusetts Institute of Technology, within the Department of Economics and Statistics. The concept of providing business training in the academic environment was gaining popularity in the early 1910s and the idea of an engineering administration or a business engineering program at MIT was promoted by several faculty members including Professor Harold Pender of the Department of Electrical Engineering. Pender envisioned that the course would be taught in conjunction with engineering courses. In 1913 an *ad hoc* committee of the Alumni Council studied the matter and issued a report in favor of a program specially designed to train men to be competent managers of businesses that have much to do with engineering problems. In 1930 Course XV became an independent department and was named the Department of Business and Engineering Administration» [2].

In addition to initiatives in the United States, in Europe the forerunners were the Germans in 1927, launching the Industrial Engineering course in Berlin, at the Charlottenburg University of Applied Sciences, initially called "Business and Technology." The Industrial Engineering course was intended to create a bridge between an economic discipline and a technical specialization. This included designing and considering business objectives, given market needs and recording socio-cultural effects. «Strategic interdepartmental problem solving is one of the core competen-

cies of the industrial engineer, who is thus predestined for managerial positions» [3]. It would then have taken more than 30 years to see the designation of M.S. Engineering Management emerged in 1959 at Drexel University-College of Engineering: «The program was developed at the specific request of Delaware Valley industry, which found that many engineers lacked the management skills needed to advance to leadership positions» [4] and in 1965 the University of Missouri-Rolla authorized the M.S. degree in Engineering Administration. In 1967, the world's first university department dedicated to the nascent field of Engineering Management was founded at that University [5].

Continuing the review of university launches of courses in Industrial Engineering or Management Engineering is relatively useful, as in the 1970s and 1980s these initiatives were rampant worldwide in response to the industrial growth needs of the period. In fact, as early as 1984, there were hundreds of universities in the world offering a B.S. or M.S. program with Management Engineering contents and with different titles: Engineering Management, Management Engineering, Engineering Administration, Industrial Management, Industrial Engineering, Systems Engineering with Engineering Management, Management of Technology, Engineering Executive, Engineering Operations, to name a few. Simultaneously, the course of study of Management Engineering was gradually enriched with increasingly soft elements in line with the transformation of the world economy: writes Chisholm, of the Department of Mechanical Engineering of the University of Salford, U.K., in 1989: «Many engineers also are inclined to discount the importance of the human factor in improving industrial performance. Rather than crediting much of the Japanese success in world markets to their use of "Kaizen", people-based continuous improvement, which they may see as "low tech" involving somewhat trivial, rather obvious concepts, they favour an explanation based primarily on the successful application of advanced technology. Nevertheless, it is now difficult to deny that a major, if not crucial, component in achieving good overall company performance is the human factor. In the future, enterprises which may possess the embodiment of a wealth of the most advanced manufacturing technology, but yet have failed to integrate it within a human-centered organization, are unlikely to survive in the marketplace. Researchers in manufacturing engineering, dedicated as they should be to the ultimate improvement in overall manufacturing performance, must therefore increasingly incorporate the human factor in their research planning and execution. The likely relevance of manufacturing research projects must be examined in light of this new perspective of manufacturing as a whole. The marginality of some of them may then have to be recognized» (Chisholm, 1989). At that time, Kocaoglu wrote: «Universities are now offering formal educational programs designed for engineers and scientists moving into technical management positions while maintaining their background identity. These are rigorous programs blending mathematical approaches, behavioral considerations, organizational concepts, and decision-making methodolo-

gies in a delicate balance. The strong demand for Engineering Management programs is evident in the rapid growth pattern followed by these programs. This growth has been particularly visible since the mid-1970s, and shows no sign of a slow-down» (Kocaoglu, 1984). With the benefit of hindsight, we can conclude today that this vision of balanced and harmonious growth of disciplines within the management engineer's education was quite optimistic, because it seems that this balance has not been maintained in all Management Engineering courses, in all countries.

The Italian case

It may be useful to recall the Italian experience: also in the wake of the experiment of the Center for Applied Engineering Economics Studies-CSEI of the University of Naples Federico II (s.a., 1997), the Economic-Organizational curriculum of the M.S. in Engineering was launched in 1972 at the Arcacavata Campus of the University of Calabria, for the purpose of «combining specific managerial and, precisely, economic-organizational knowledge, with a broad engineering culture base» (Lavista, 2013). It is now clear that, at the time, nothing new was invented then: as the academic studies of Industrial Engineering had historically developed under the impetus of the second industrial revolution and its effects on production processes and the organization of work in factories, the subsequent evolution of markets with the emergence of new processes and new products, in the second half of the last century, in the context of the third industrial revolution, gave impetus in Italy to the activation of diversified educational paths for the industrial engineer: this led to the degree courses in Aeronautical, Chemical, Electrical, Electronic, Mechanical Engineering, etc., with curricula appropriately differentiated with the educational needs identified for the different techno-mercial sectors. At that time, much greater specific weight was given to design-oriented disciplines rather than to others, aimed at training engineers destined to manage the primary factors of production: materials, machines, plants, utilities, human resources.

In a structurally "transforming" country such as Italy - whose economy is based by necessity on industrial manufacturing production - the realization of the pressing need for technicians capable of managing production processes with maximum efficiency, starting in the 1970s, both in academic and in competent political arenas, ignited the debate that over the next two decades would lead to the inevitable establishment of the degree course in Management Engineering. The Bachelor of Science in Management Engineering, far from aiming to train the engineer-economist, was institutionally conceived to train technicians prepared for the impact of that operational reality in which many other engineers had had to insert themselves, facing greater difficulties. By its unquestioned derivation from the pre-existing engineering courses with an industrial orientation, this new degree course should, in this sense, have seen an increase in the specific weight of the teaching disciplines addressed

to the study of production technologies and processes, with a curriculum enriched by those fundamentals of economics and organization of the flows of material and immaterial resources to the presidium of which engineers are mostly called upon in companies, exactly as Kogaoclu wished.

It should now be noted that, since the second half of the last century, with a view to a pressing "lean thinking", many non-core-business activities, which large manufacturing industry has gradually chosen to outsource, have migrated to specialized areas of the tertiary sector, conventional or advanced as the case may be, while retaining the original managerial imprint on specific production processes and the resources correspondingly used. At the same time, especially with the advent of the digital age, the logistics-management model of industrial processes has been able to be taken as a reference for various other sectors of economic activities, up to the point where expressions such as credit industry, entertainment industry, hotel industry, hospital industry, agricultural industry, etc., have been used everywhere. And such expressions, which might appear to be "journalistic oxymorons", instead do definitive justice to the successful contamination contracted by so many areas of economic activity, including those concerning the production of entirely intangible services, that have been able to use management techniques successfully tested in the manufacturing enterprise. Indeed, looking at the employment outlets of the modern management engineer in Italy, see Figure 1, it is clear that placement in the so-called "factory" is still now increasingly on the decline.

Ultimately, therefore, it appears that the transversality of Management Engineering, and by the same token, the often heterogeneous employment opportunities of a management engineer, reside at the bottom in the traceability to the industrial production model of the processes developed in the most varied sectors of economic

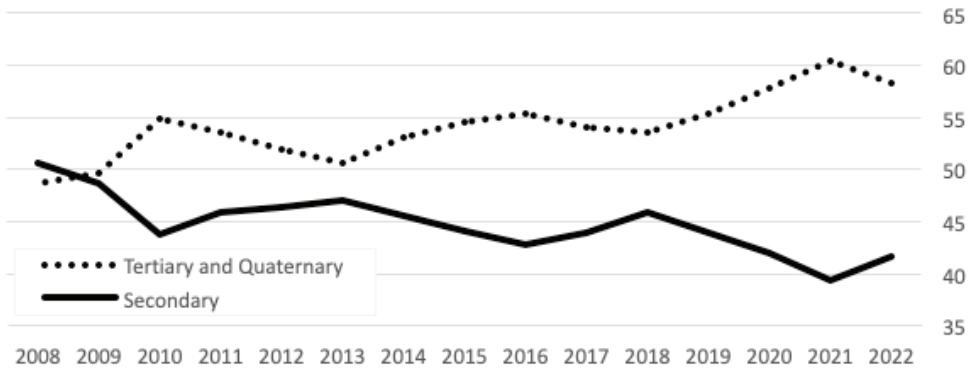


Fig. 1 - Changes in the employment sectors of M.S. engineering management graduates in Italy (%) [6].

activities, in which - as in the best examples of modern "industrial" enterprise - the term "operation", which in the last century identified the active phase of a process (physical, chemical, biological, etc.) in which a well-defined transformation takes place in the manufacturing cycle of a product - now takes on the much broader meaning of "increase in value" achieved at that stage by the product/service in progress.

Unfortunately, however, almost about thirty years after the awarding of the first degree in Management Engineering at an Italian university, it somewhere still happens that this course of study is attributed a content and value that at least does not correspond to the inspiring principles that at the time led to its very institution. In fact, it is not uncommon for the attribute "management" to be considered in some way pertaining to studies and disciplines with a "business" orientation, and therefore a graduate of management engineering to be considered as a sort of a mule, a hybrid between a technician and an economist with what may follow in terms of *deminutio* for each of the two qualifications affixed to the same person. Contributing to this image, moreover, has been the often over-emphasis that for certain disciplines - at the time new, compared to the centuries-old tradition of study paths in engineering - has been adopted at some universities in presenting the degree course in Management Engineering; what has given rise to the assumption that the introduction of such disciplines has had the sense of procuring a revolutionary change in engineering studies themselves, such as to give rise to a figure of an engineer entirely new to the labour market.

In some cases, there has been no lack of an unbalanced dosage among economic-organizational disciplines and those that are inalienably basic for the engineer, betraying in this the original mandate that, in conceiving the training in management engineering, envisaged a package of supportive rather than substitute knowledge. And, concerning the often confused image of the management engineering graduate - at least in Italy - it should be noted how recurrent is the case of young people who, close to exiting high school, are uncertain in their choice between a degree in Business Management or Management Engineering, as if, after all, these are two study paths that are substantially similar in terms of difficulty, albeit different in terms of prospects in the labor market.

To the above, it should be added that teaching disciplines and diplomas, undergraduate and postgraduate, identified in combination with the universal Anglism "management" in Italy saw the light for the first time in institutionally addressed at academic venues institutionally addressed to the Economic Sciences, thus giving diffusion to the idea that Management, in all its articulations, is a subject of primary, if not exclusive, competence of economists. Differently, the doctrine of Management, from the beginning of the last century to the present day, has been predominantly taught all over the world by just such distinguished industrial engineers, among whom stand out figures everywhere cited as Henry Fayol (1841-1925), Frederick W. Taylor (1856-1915), Alfred P. Sloan (1875-1966), William E. Deming (1900-1993), Joseph

M. Juran (1904-2008), Taiichi Ohno (1912-1990), Richard J. Schonberger (1937-), Henry Mintzberg (1939-), Kenichi Ohmae (1943-), Michal E. Porter (1947-).

If, therefore, the culture of Management should be credited with the doctrinal and applicative foundations that have sprung from the area of Industrial Engineering, with a wide-angle lens, it may also be possible to note how much the economic sciences, in their broadest sense, have been able to avail themselves of great contributions provided by historical Engineers, starting with Vilfredo Pareto (1848-1923) up to Vernon Smith (1927-), Nobel Prize in Economics in 2002. The only apparent singularity of the successful forays of engineers into the area of business sciences draws its explanation from the great analogical heritage that, about the latter, is constituted by some fundamental laws of physics and chemistry; not to mention the applicative potential of the mathematical tools and statistical-probabilistic methods that compose the studies path of engineers. It is therefore not surprising that economists have not entered similar award-winning areas in scientific and technological spheres traditionally intended for engineers.

Conclusions

The relative and steady growth of the Service Sector economy relative to manufacturing over the years creates a need for human resources with both technical and managerial training, and the management engineer is an excellent candidate. This has meant that, in the evolution of the management engineer's education, technical subjects – typical of industrial and manufacturing engineering – have gradually shrunk to make room for subjects of more general application. On the other hand, the dissemination of the success factors of the notorious Toyota case in the 1980s dragged the spread, in engineering culture, of concepts such as Total Quality Management, Lean Production, Six Sigma, Problem Solving, etc. Although originating within the manufacturing factory par excellence, the automotive industry, these concepts have quickly transcended that contest to gain prominence in the management of service enterprises as well.

And so it is that the figure of the management engineering graduate, originally created to fill a specific market need, has changed over time – and with it, the related university degree structures – in line with the evolution of the market: while in the early part of the last century the market need was for professionals who could manage and administer the shop floor of the manufacturing industries, in the 1980s companies began to demand skills in quality and waste reduction methods, just as around the turn of the new millennium the focus shifted to logistics and supply chain management skills. All these skills gradually required by companies have been diligently incorporated by universities within the structure of engineering management courses, precisely to align education with the needs of society. Clearly, this has entailed a necessary "lightening", i.e., elimination, of the skills of the harder sciences,

from mechanic design to structure theory, structural engineering, to applied physics, exactly in line with the trend that Timoshenko highlighted in 1922.

Today, companies are turning to universities to demand training for management engineers in the skills of the newly emerging fields of computer science and microelectronics, in support of the alleged latest industrial revolution, Industry 4.0. It is reasonable to imagine, then, that just as skills in the hard sciences have been progressively pushed aside over a hundred years, the management engineers of the future may also have to "lighten" on manufacturing systems engineering. University curricula have a ceiling of lecture hours which, moreover, varies considerably from country to country, and even in countries like Italy where classroom training is still preeminent[1], it is not possible to always incorporate new content while keeping pre-existing content unchanged. But since the manufacturing sector – and in general, the secondary sector – is still the backbone of the world economy, a reflection on the evolution of teaching in Engineering in general, and in Management Engineering in particular, is called for. Already mentioned analyses such as Emmerson's 1973 and Kocaoglu's 1984 lead to important reflections, and it is hoped that Engineering Education researchers may want to update them.

References

Calvert M. 1967. *The Mechanical Engineer in America, 1830- 1910: Professional Cultures in Conflict*. Baltimora: The Johns Hopkins University Press.

Chisholm A.W.J. 1989. New Perspectives on Manufacturing Science and Engineering Education. Computers in Industry, 15, 149-159

Diemer H. 1910. *Factory Organization and Administration* McGraw-Hill, N.Y., U.S.A.

Emmerson G.S. 1973. *Engineering Education: A Social History*. Newton Abbott: David & Charles.

Garcke E., Fells J.M. 1887. *Factory Accounts-Their principles and practices*. London: Crosby Lockwood and son.

Kocaoglu D.F. 1984. Engineering management programs as aids in moving from technical specialty to technical management. Engineering Management International, 2(1), 33-47

Lavista F. 2013. *Storia dell'Ingegneria Gestionale*. Milano: Fabio Brioschi Editore.

Metcalfe H. 1886. The shop order system of accounts. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers Annual Meeting, 7, 428-431.

s.a. 1997. *A Luigi Tocchetti, l'uomo, la scuola, la città*. Napoli: Officine Grafiche F. Giannini e Figli.

Scachitti S., Hagg H., Mapa L. 2006. Healthcare Quality Partnerships: An Emerging Educational Frontier for Industrial Engineering Technology Programs. RCHE Publications, 28.

Seely B.E. 1999. The other re-engineering of engineering education, 1900-1965. Journal of Engineering Education, 1999, 285-295.

Taylor F.W. 1903. *Shop Management*. New York: Harper and Brothers.

Taylor F.W. 1911. *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper and Brothers.

Towne H. 1886. The engineer as an economist. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers Annual Meeting, 7, 428-431. New York: ASME.

Webgraphy

[1] https://web.archive.org/web/20170330172528/http://eng-cs.syr.edu/about/about-the-college/history/
[2] https://libraries.mit.edu/mithistory/research/schools-and-departments/sloan-school-of-management/
[3] https://web.archive.org/web/20170707015915/http://www.vwi.org/hauptmenue/beruf-studium/wirtschaftsingenieurwesen/geschichte-und-bedeutung.html
[4] https://drexel.edu/engineering/academics/departments/engineering-leadership-society/academic-programs/engineering-management/
[5] https://emse.mst.edu/50thanniversarycelebration/
[6] https://www.almalaurea.it/

Notes

[1] In Italian universities, a B.S. plus M.S. curriculum in Management Engineering sums up to over 2,500 classroom hours, as an average.

Elena Corradini, Angelo Marcello Tarantino,
Stefano Orlandini, Marco Zucchi

La formazione degli ingegneri a Modena dal Settecento a oggi. L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri e l'Università

The engineers education in Modena from XVIII century until today. The Institute of Pioneer Mathematical Cadets and University

Sommario
La lunga tradizione della formazione degli ingegneri a Modena prese l'avvio per esigenze essenzialmente militari con l'istituzione nel 1757 dell'Accademia di Architettura Militare cui fece seguito, con la riforma dell'Università del 1773, la creazione della laurea in filosofia che serviva per acquisire il grado di perito ingegnere o idrostatico assumendo il valore di specializzazione pratica. Nel 1797 il Direttorio Esecutivo della Repubblica Cisalpina istituì la Scuola Militare del Genio e dell'Artiglieria. La vera novità fu la creazione da parte dell'arciduca Francesco IV d'Austria Este nel 1828 dell'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri che rilasciava la patente di ingegnere per l'esercizio della professione di ingegnere idraulico o di ingegnere-architetto o di perito agrimensore. Dopo la chiusura dell'Istituto nel 1849 la formazione degli ingegneri ritornò all'Università ma nel 1862 fu ridotta solo a un biennio propedeutico. Lo sviluppo dell'Università nel XX secolo ha portato nel 1989 all'istituzione dell'attuale Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" e la nuova costruzione del Campus Scientifico e Tecnologico.

Abstract
The long tradition of engineering education in Modena began primarily for military needs with the establishment of the Academy of Military Architecture in 1757. Following the reform of the University in 1773, the creation of the degree in philosophy served to acquire the degree of engineer or hydrostatic expert and land surveyor, taking on the value of practical specialisation. In 1797 the Executive Directory of the Cisalpine Republic created the Military School of Engineering and Artillery. The real novelty was the establishment in 1828 of the Institute of Pioneer Mathematical Cadets by Archduke Francis IV of Austria Este. The Institute granted an engineer's licence for profession of hydraulic engineer or engineer-architect or land surveyor. After the Institute closure in 1849, the engineers training returned to University, but in 1862 it was reduced to only a two-year propaedeutic course. The University development dur-

ing 20th century led in 1989 to the establishment of current Department of Engineering "Enzo Ferrari" and the new construction of the Science and Technology Campus.

La formazione degli ingegneri tra Settecento e inizi Ottocento

Insegnamenti utili per la futura formazione degli ingegneri venivano impartiti a Modena già nell'organizzazione seicentesca dei corsi universitari gestiti dalla Congregazione di San Carlo presso lo Studio Pubblico di San Carlo, dove esisteva negli anni 1682, 1684 e 1690 un corso di geometria cui si affiancava un insegnamento pratico di idrostatica tenuto da Giovan Battista Boccabadati (1635-1696), al quale fu affidato anche per altri due anni un corso di meccanica (Mor e Di Pietro, 1975, pp. 49-90). Dal 1728 venne istituito un corso regolare di matematica in cui venivano effettuate lezioni di matematica universale, trigonometria e geometria.

In Francia, dove già nel 1715 era stato creato il *Corps des ingénieurs des Ponts et Chaussées*, nel 1747 era stata organizzata la formazione degli ingegneri civili con la creazione dell'École des Ponts et Chaussées (Bordo, 2010) che segnò l'inizio di un graduale ed efficace controllo statale sulla costruzione di strade, ponti e canali per la pianificazione territoriale (s.a., 1964, p. 78). A Modena primi tentativi di introdurre studi per la formazione di ingegneri vennero effettuati nel 1762 con l'istituzione della Scuola di Architettura diretta dal marchese Giuseppe Da Via (1710-1791), colonnello del reggimento di artiglieria ducale, educato nel Collegio dei Nobili di Bologna e poi a Pisa, dove aveva intrapreso la carriera militare come cadetto in un reggimento di cavalleria (Canevazzi, 1914, p. 65). Si hanno notizie sul funzionamento della Scuola dal progetto della stessa redatto da Da Via per il duca Francesco III d'Este (1698-1780), da cui si evince che l'organizzazione di quella Scuola istituita per ingegneri e artiglieri aveva finalità essenzialmente militari. Dalla *Dissertazione* pronunciata da Da Via in occasione dell'apertura della Scuola si desume l'importanza che dava alla matematica, in particolare alla geometria euclidea, alla trigonometria piana e all'algebra elementare, senza le quali l'ingegnere era solo un capomastro (Da Via, 1762).

Lo Studio Pubblico di San Carlo venne riorganizzato come Università dal duca Francesco III d'Este con le *Costituzioni* pubblicate il 13 settembre 1773: da quel momento l'Ateneo modenese, fino ad allora gestito dalla Congregazione di San Carlo, venne controllato dal Magistrato ducale sopra gli Studi, sostituito poi nell'ottobre dal Dicastero dei Riformatori degli Studi, composto da tre membri. Vennero istituite 4 Classi di insegnamento o Facoltà: teologica, legale, medica, filosofica e delle arti e tra i 13 corsi della Classe filosofica e delle arti erano stati previsti quelli di fisica particolare sperimentale, geometria e aritmetica scientifica, istituzioni analitiche, meccanica, architettura civile e militare. La laurea in filosofia serviva per acquisire il grado di perito ingegnere o idrostatico e di perito agrimensore, assumendo il valore di specializzazione pratica. La durata dei corsi era di quattro anni, di cui due costituivano un biennio propedeutico che dal regolamento del 1775 venne distinto da

quello successivo in cui erano previste quattro materie fisico-matematiche: al terzo anno fisica sperimentale, istituzioni analitiche matematiche e meccanica e al quarto anno analisi meccanica. La scelta dei corsi era abbastanza libera: esistevano anche corsi professionali per perito architetto e perito misuratore (Mor e Di Pietro, 1975, pp. 91-108). Nel 1797, poco dopo la proclamazione della Repubblica Cisalpina, il Direttorio Esecutivo aveva istituito la Scuola Militare del Genio e dell'Artiglieria strutturata secondo il modello dell'É*cole Polytécnique di Parigi*, creata nel 1794 con il nome di École centrale des travaux publics alle dipendenze del Ministero degli Interni e poi trasformata da Napoleone nel 1804 nella Scuola Militare del Genio e dell'Artiglieria alle dipendenze del Ministero della Guerra. La Scuola era finalizzata alla formazione dei quadri dei Corpi degli Artiglieri e del Genio e prevedeva un corso triennale di studi con insegnamenti di matematica, fisica, chimica, geometria descrittiva e idrodinamica, matematica applicata e disegno (s.a., s.d.).

Le vicende sia della Scuola del Genio sia dell'Università furono strettamente legate a quelle politico-militari di quegli anni. A seguito della vittoria degli Austro-Russi nel 1799, la Repubblica Cisalpina cessò e con essa la Scuola. Dopo la vittoria di Marengo, il 14 giugno 1800, Napoleone ristabilì la Repubblica Italiana e nel 1802 la Scuola del Genio di Modena fu riaperta. A seguito della Restaurazione dell'arciduca Francesco IV d'Austria Este (1779-1846) nello Stato estense, a maggio 1814 la Scuola del Genio venne trasferita nel Regno Lombardo Veneto e, in accordo con l'Arciduca, fu chiusa a luglio 1815 dal Comando Militare Austriaco. Per quanto riguarda l'Università, il Direttorio della Repubblica Cisalpina la trasformò in Liceo mantenendo le 4 Classi o Facoltà, teologica, legale, medica, filosofica e delle arti ma con una riduzione del numero degli insegnamenti. Nel 1799, durante l'occupazione austriaca, l'Imperiale-Regia Reggenza abrogò i regolamenti del Liceo e diede alla nuova istituzione il nome di Gymnasium ricalcando però nella sua organizzazione l'Università riformata da Francesco III. Dopo il rientro dei Francesi a Modena il 25 giugno 1800 a seguito della vittoria di Napoleone a Marengo, ricomparve ufficialmente il nome di Università e un nuovo regolamento del 26 novembre 1800 soppresse la Classe o Facoltà teologica mantenendo, per conseguire la laurea, un biennio propedeutico per tutte le Facoltà nel quale venivano insegnate geometria al primo anno, fisica generale e sperimentale e analisi matematica al secondo anno. Nella Classe di filosofia furono istituite scuole di specializzazione tecniche e in particolare un corso annuale per periti agrimensori, con un insegnamento di meccanica, e due corsi biennali, uno per periti ingegneri, con insegnamenti di meccanica, architettura e analisi matematica, e uno per periti architetti, nel quale erano previsti al primo anno un insegnamento di geometria e studi di belle arti presso l'Accademia di Belle Arti e al secondo analisi matematica, meccanica e architettura.

Dopo la proclamazione della Repubblica Italiana nel 1802, un decreto del corpo legislativo del 4 settembre 1802, sancito come legge quattro giorni dopo, riordinò

gli studi superiori stabilendo che rimanessero solo due Università, Bologna e Pavia, presso le quali i giovani potevano completare i corsi e conseguire il titolo dottorale. L'Università di Modena, come le altre, venne trasformata in Liceo Dipartimentale del Panaro, che rimase tale anche dopo la proclamazione del Regno d'Italia nel 1805: si trattava di un biennio propedeutico per accedere ai successivi studi nelle due Università rimaste nel Regno, Bologna e Pavia.

Con la Restaurazione, Francesco IV riaprì l'Università che riavviò l'attività dal gennaio 1814. Volendo riportare gli insegnamenti all'ordinamento pre-francese, all'Università fu riassegnato l'insegnamento filosofico stabilito in un triennio, poi ridotto a un biennio nel 1817, in cui venivano insegnate nel primo anno algebra, geometria, logica e metafisica e nel secondo fisica e agraria. Nel 1824-25 gli studi medio-superiori furono affidati alla Compagnia del Gesù, mentre gli insegnamenti matematici furono organizzati nella Facoltà Fisico-Matematica con un corso triennale per ingegnere civile nel quale venivano insegnati al primo anno introduzione al calcolo sublime infinitesimale e geometria descrittiva, al secondo meccanica, calcolo sublime e architettura civile e al terzo idraulica, calcolo sublime e geometria descrittiva. A questi si affiancavano corsi di disegno, ornato, figure, tenuti presso l'Accademia di Belle Arti. Per conseguire la laurea si aggiungeva un altro anno in cui si insegnavano materie naturalistiche: alla fine di ogni anno veniva effettuato un esame di avanzamento su tutte le materie (Mor e Di Pietro, 1975, pp. 109-134).

L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri per la patente di ingegnere (1823-1848)

Nel 1821 Francesco IV creò l'Accademia Nobile Militare Estense, affidandone l'organizzazione al fratello Massimiliano, e nel 1823, a seguito di moti insurrezionali, frantumò la Facoltà di legge, che considerava focolaio di sovversione, disperdendo gli allievi in quattro Convitti a Modena, Reggio Emilia, Mirandola e Fanano[1]. L'anno seguente lo stesso Arciduca istituì un Corpo Militare detto dei Pionieri sotto la direzione del fratello Massimiliano e al comando del conte tenente colonnello Clemente Coronini che nel 1824 venne poi nominato colonnello. In questo corpo militare i giovani delle classi meno abbienti oltre ad acquisire una formazione militare potevano diventare muratori, falegnami o fabbri ferrai.

Successivamente, con un chirografo del 23 agosto 1823 redatto nel Castello del Cataio a Battaglia Terme (Corradini, 2007), Francesco IV stabilì di aggregare al Corpo Militare dei Pionieri un limitato numero di giovani col grado di Cadetti che, scelti tra coloro che si dedicavano allo studio delle matematiche, sarebbero diventati ingegneri civili o militari (Riccardi, 1864). Il chirografo era indirizzato a Coronini, comandante del Corpo dei Pionieri: «Col principio del nuovo corso scolastico abbiamo determinato di aggregare al Corpo dei Pionieri un certo numero di Cadetti da scegliersi fra i giovani studenti della Classe matematica destinandoli a compiere nei Cadetti il corso dei loro studi per essere poi graduati come ingegneri all'Università».

Riguardo al numero di Cadetti Matematici Pionieri il documento precisa: «il numero dei Cadetti mantenuti dal Corpo non sarà mai maggiore di 6, e quelli che si mantengono del proprio non saranno più di 10 o 12, ma il numero totale non oltrepasserà in alcun caso i 16. Tutti abiteranno nella caserma dei Pionieri» (art. 3) [2].

L'organizzazione degli studi per i Cadetti Matematici Pionieri venne però definita solo due anni dopo con un chirografo dell'arciduca Francesco IV del 7 agosto 1825, indirizzato al ministro di Pubblica Economia e Istruzione Luigi Rangoni (1775-1844) nel quale si precisava che nell'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri venivano insegnate «le scienze matematiche, e tutte quelle che sono necessarie a formare abili ingegneri, mentre chiunque si voglia dedicare a questa professione, e in essa vuol aspirar ad un impiego qualunque nel nostro Stato deve, dopo compiti gli stabiliti due anni filosofici, entrare in questo Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri [...] Il corso degli studi di matematica […] resta fissato di cinque anni, cioè di un anno preparatorio che equivale al terzo anno filosofico (come si praticherà nei Convitti) e di quattro anni di studio di matematica ed architettura» [3].

Il piano di studi dettagliato dei quattro anni, pubblicato nello stesso anno 1825, era preceduto da una significativa premessa: «La vocazione è quella di dedicarsi al servizio della società qual difensore dai mali sensibili dinamici. Provengono questi mali dalle azioni dinamiche dell'universo, e dalle medesime si cavano i mezzi di difesa. Deve quindi l'ingegnere imparare a: conoscere queste azioni e quindi considerarle in complesso (cosmografia), segregate (fisica); prevalersi di queste azioni, e quindi considerarne le quantità (matematiche), l'uso (architettura). Quattro sono quindi i rami d'insegnamento necessari all'ingegnere, ed ognuno di essi si divide nella parte didascalica e nella parte applicata»[4].

L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri si era fondato non solo sulla Scuola Militare del Genio e dell'Artiglieria ma anche sulle nuove scuole tecniche sorte nell'Europa centrale all'inizio dell'Ottocento e in parte riconducibili all'esperienza delle scuole francesi come l'École des Ponts et Chaussées, che formava ingegneri al servizio dello Stato, nella quale, durante i tre anni della formazione, venivano insegnate materie che avevano per oggetto le costruzioni civili, stradali e idrauliche, la distribuzione delle acque, i porti, elementi di diritto amministrativo e di economia politica. Chi voleva essere ammesso al corso di studi per Cadetto Matematico Pioniere doveva sostenere un esame comparativo, con quattro prove scritte di aritmetica, geometria, algebra e fisica generale, da svolgersi in quattro mattine consecutive, valutato da una commissione di professori formata dal Ministero di Istruzione e per l'ammissione alla scuola erano ritenuti importanti il censo e la buona condotta morale. L'orario delle lezioni veniva concordato con Coronini, il comandante del Corpo dei Pionieri.

Gli insegnanti venivano elevati al rango di professori. Riguardo al metodo di insegnamento, era ritenuta importante la ripetizione degli argomenti trattati, come avveniva anche all'É*cole Polytechnique* di Parigi, dove i professori con ricapitola-

zioni evidenziavano i punti principali delle teorie illustrate nelle lezioni (Frascaroli, 1998, pp. 49 e 56). Nell'Istituto modenese ogni professore all'inizio del corso doveva presentare una sintesi degli argomenti che avrebbe trattato e che avrebbe poi spiegato anche con esempi e gli studenti avrebbero dovuto accrescere questi esempi con tavole da loro stessi realizzate, conservate in una apposita cartella accessibile a tutti e a volte anche esposte nelle aule. I libri di testo servivano solo come consultazione perché i contenuti fondamentali dei corsi erano determinati dalle sinossi dei docenti.

Era previsto il controllo costante del livello di apprendimento con verifiche settimanali per le materie insegnate e venivano formate scale di merito date dalla somma dei punteggi ottenuti dalle prove e dalle interrogazioni che costituivano una graduatoria annuale raffrontata con il punteggio massimo ottenibile per ogni materia: il superamento di un limite prefissato dava luogo al diritto di avanzamento all'anno successivo: materie rilevanti erano matematica, architettura e disegno.

L'accesso all'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri come l'esercizio della professione per chi avesse compiuto il corso di studi era stato regolamentato da un altro chirografo dell'arciduca Francesco IV del 3 settembre 1823 indirizzato allo stesso ministro Rangoni: «non potrà aspirare ad impiego né di ingegnere addetto al Ministero di Pubblica Economia, né di ingegnere, architetto di corte, o di Governo, o delle Comuni, né ad entrare nel Corpo dei nostri ingegneri militari, né di regola diventare uffiziale nei Pionieri chi non è stato, e non ha compito il corso di studi e di educazione fissato nei Cadetti Matematici Pionieri»[5].

Il regolamento dell'Istituto era stato stabilito con un altro chirografo dell'arciduca Francesco IV del 5 luglio 1824, sempre indirizzato al ministro Rangoni, che forniva ulteriori chiarimenti sull'organizzazione dell'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri: nell'introduzione si precisava che per lo Stato era importante avere ingegneri preparati a una attività intensa per la quale un'educazione militare sarebbe stata la più appropriata: «riconoscendo noi quanto sia interessante per lo Stato l'avere capaci e probi ingegneri, e riconoscendo altresì che da un buon ingegnere si richiede un complesso di cognizioni teoriche e pratiche ed una indefessa abitudine di lavoro, quindi che una educazione militare è la più adatta a questa carriera»[6].

L'ordinamento scolastico dipendeva infatti dal Ministero dell'Istruzione ma quello disciplinare, simile a quello che esisteva nella Scuola del Genio e dell'Artiglieria, dal Corpo militare: i Cadetti non erano tenuti a prestare giuramento di fedeltà: pur non essendo veri militari erano però soggetti a una rigorosa disciplina militare solo finché indossavano l'uniforme.

Nelle materie più rilevanti dell'Istituto modenese furono impegnati docenti qualificati come Cesare Costa (1801-1876), ingegnere-architetto attivo a Modena con rilevanti progetti di edifici, che insegnò matematica; Sante Cavani (1793-1842), laureato in ingegneria a Bologna e professore di disegno all'Accademia di Belle Arti di Modena, che insegnò architettura pratica fino al 1842, quando gli succedette l'archi-

tetto di corte Francesco Vandelli (1795-1856); Giuseppe Tramontini (1768-1852), laureato in ingegneria a Padova, che insegnò architettura teoretica e geometria descrittiva dalla fondazione fino alla chiusura dell'Istituto (Tramontini, 1846).

Per l'esercizio della professione un altro chirografo di Francesco IV del 26 settembre 1829 indirizzato ancora una volta al ministro Rangoni stabiliva che ai giovani che avessero lodevolmente compiuti gli studi, al termine del quinto anno, venisse rilasciata una patente che testimoniava il conferimento del titolo di ingegnere civile; dopo il superamento di un esame alla presenza di tutti i professori della Facoltà Matematica si conseguiva la laurea a seguito della quale sarebbe bastato un solo anno di pratica per il libero esercizio della professione di ingegnere idraulico, di ingegnere-architetto e di perito agrimensore [7]. Il decreto del 26 settembre 1829 riprendeva una Notificazione del ministro Rangoni nella quale, fin dal febbraio 1816, si fornivano indicazioni precise per esercitare le professioni d'ingegnere idraulico, di perito agrimensore e stimatore e d'ingegnere e perito architetto[8]. Le vacanze annuali erano utilizzate per fare realizzare ai Cadetti Matematici Pionieri, sotto la guida di un insegnante, rilievi geodetici, planimetrie di edifici e di città, rilievi altimetrici e di corsi di fiumi. In questo modo alla fine del corso bastava un solo anno di esercitazioni pratiche, alla fine delle quali i Cadetti dovevano sostenere un esame.

Tutti gli insegnamenti infatti si basavano sul principio che alla teoria dovesse essere affiancata la pratica per cui, per la formazione dei futuri ingegneri-architetti, era indispensabile che durante le vacanze estive questi realizzassero rilievi di strade ed edifici urbani ma anche rilievi topografici di terreni extraurbani. Ciò ha dato luogo a un considerevole patrimonio di disegni, conservati a Modena presso l'Archivio di Stato, l'Archivio Storico Comunale, la Biblioteca Poletti e l'Accademia di Scienze, Lettere e Arti, importanti per la conoscenza del patrimonio edilizio ottocentesco e, più in generale, del territorio di Modena, con specifica attenzione ai canali che lo attraversavano fungendo da collegamento con il Po e consentendo di raggiungere Venezia. Le esercitazioni, svolte per la maggior parte sotto la guida dell'ingegnere-architetto Sante Cavani, riguardarono per i primi anni prevalentemente gli edifici di interesse militare e, dal 1832, soprattutto la città di Modena con specifica attenzione a zone rilevanti del centro cittadino soggette a risistemazione, come l'isolato del Palazzo Ducale, il ghetto nel 1833, il rilievo dell'intero isolato di Sant'Agostino nel 1833, della chiesa di San Pietro nel 1835, degli isolati di Porta Castello nel 1839 e di Piazza Grande e Sant'Eufemia nel 1840.

L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri ebbe vita più o meno regolare dal 1826 al 1831: in quest'ultimo anno molti Cadetti Matematici presero parte ai moti rivoluzionari per cui, con la Restaurazione e il ritorno di Francesco IV alla guida dello Stato estense, quando l'Istituto venne riaperto, per essere ammessi occorreva presentare un certificato di buona condotta rilasciato dalla polizia. Alla riapertura dell'Istituto il maggiore Alessandro Ferri succedette a Clemente Coronini e l'Arciduca stabilì che

il numero degli ammessi non poteva superare i venti. L'ordinamento dei corsi subì alcune modifiche e negli anni successivi vennero cambiate anche alcune prove di verifica, in particolare quelle legate alle scienze filosofiche, cioè logica, metafisica e filosofia morale, e alla matematica e fisica: aritmetica, algebra, geometria e fisica (Frascaroli, 1998, pp. 21-63). A seguito dell'insediamento del Governo Provvisorio dopo i moti rivoluzionari, il 21 marzo 1848, Francesco V (1819-1875), succeduto al padre nel 1846, prese la via dell'esilio. Vennero aboliti i Convitti istituiti da Francesco IV ma venne mantenuto l'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri.

Nell'aprile del 1848, quasi a fine anno scolastico, venne concesso a vari studenti, precedentemente esclusi a causa della limitazione numerica, di iscriversi all'anno preparatorio della Facoltà di Matematica per non perdere un anno: infatti a causa dell'instabilità politica l'anno scolastico venne chiuso l'1 maggio dello stesso anno. La patente di ingegneri venne concessa non solo agli studenti del quinto anno dell'Istituto, ma anche quelli del quarto, con l'obbligo di proseguire e laurearsi nell'anno successivo, per permettere loro di prendere servizio nella Guardia Civica che stava per unirsi alle truppe di Carlo Alberto di Savoia (1748-1849) per contrapporsi all'Austria. Gli studenti che avevano fatto solo due, tre o quattro anni avrebbero potuto proseguire il corso di studi all'Università. Francesco V, ritornato al governo dello Stato estense nell'agosto 1848, mantenne l'Università ma abolì l'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri, ritenendo che molti degli allievi si fossero schierati contro la sovranità estense.

La sede dell'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri come quella del Corpo dei Pionieri era un edificio a forma di C aperta verso il Parco della Rimembranza realizzato in un'area contigua alla chiesa di San Pietro dell'antica abbazia benedettina di Modena, al limite del centro storico lungo le mura cittadine, atterrate tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento. A seguito dell'Unità d'Italia l'edificio fu adibito a caserma intitolata al generale Manfredo Fanti (1806-1865) e, senza sostanziali trasformazioni, mantenne negli anni questa funzione fino a tempi recenti e alla conclusiva dismissione dal Demanio Militare: è stato riconosciuto di interesse culturale con decreto del Ministro per i Beni Culturali del 2 novembre 1978. L'edificio, trasferito al patrimonio disponibile negli anni Novanta del secolo scorso, nel 2004 fu acquistato dal Comune di Modena e l'anno successivo venne venduto all'Amministrazione Provinciale che poi lo ha posto in vendita. È stato acquistato dalla società Nobel srl, impresa di costruzioni che, nel 2021, ha avviato il progetto di conversione dell'edificio a nuovo luogo dell'abitare.

Dalla soppressione dell'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri all'Unità d'Italia

Dopo la soppressione dell'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri, la formazione degli ingegneri avveniva presso la Facoltà Filosofico Matematica dell'Università, dove era stato predisposto un apposito piano di studi della durata di quattro anni al

termine dei quali gli ingegneri non dovevano sostenere un esame di laurea ma un "esame di grado", cui però dovevano fare seguito due anni di pratica, non essendo più previste le esercitazioni estive: «tanto gli ingegneri quanto i dottori potranno cominciare l'esercizio pratico alla fine del 3° anno per conseguire poi due anni dopo il relativo diploma sostenendo l'esame di pratica»[9]. A seguito dell'Unità d'Italia, la L. 31/7/1862, a opera di Carlo Matteucci (1811-1868), già Ministro della Pubblica Istruzione e all'epoca vice Presidente del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione, modificò l'ordinamento imposto dal R.D. n. 3725 del 13 novembre 1859, noto come legge Casati, che aveva riformato in maniera organica l'ordinamento scolastico del Piemonte e dei territori annessi, prevedendo tra l'altro una riorganizzazione delle Università con uniformità di strutture e sistemi educativi. La legge del 1862, tra gli altri provvedimenti, impose una distinzione tra Università maggiori, sulle quali concentrare le risorse, e Università minori, formate da poche Facoltà, destinate a decadere: l'Ateneo modenese venne classificato tra quelli minori o di seconda classe**.**

Con il R.D. n. 842 del 14 settembre 1862, il cosiddetto Regolamento Matteucci, si ebbe di fatto il primo Regolamento Generale delle Università Italiane e dall'1 novembre dello stesso anno per accedere al diploma di ingegnere presso l'Università di Modena occorreva un biennio propedeutico cui facevano seguito altri tre anni di esercitazioni pratiche e corsi. Successivamente, a seguito della riforma delle Università di Giovanni Gentile (1875-1944), sancita con il R.D. 30 settembre 1923 n. 2102 e con il R.D. 6 aprile 1924, n. 674, l'Ateneo modenese fu incluso tra quelli che non erano completamente sovvenzionati dallo Stato ma sostenuti da convenzioni con gli enti locali. Venne soppresso il biennio propedeutico di ingegneria, poi rispristinato nel 1936 con il R.D.L. 20-06-1935 n. 1071 "Modifiche ed aggiornamenti al testo unico delle leggi sulla istruzione superiore", che parificava l'Università di Modena alle altre italiane garantendole contributi statali (Mor e Di Pietro, 1975, pp. 176-184).

Origine e sviluppo del Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari"

Il Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" ha sede nel Campus Scientifico e Tecnologico, il complesso edilizio più a levante dell'Università di Modena e Reggio Emilia, in contiguità con i suoi due più significativi poli di sviluppo, il Policlinico e il Campus scientifico di via Campi, realizzati a partire dagli anni Sessanta.

La sua origine ha preso l'avvio dall'approvazione da parte del Governo del Piano quadriennale di sviluppo dell'Università di Modena del 1988-1992 sulla base del quale, con il decreto rettorale n. 240 del 31 luglio 1989 pubblicato sulla G.U. n. 235 del 7 ottobre 1989, venne istituita nel 1989 la Facoltà di Ingegneria: era rettore Mario Vellani. Con un decreto del Ministro dell'Università e della Ricerca scientifica e tecnologica venne nominato preside della Facoltà Giancarlo Pellacani a decorrere dal 30 gennaio 1990. Nello stesso anno, l'Istituto di disegno, sotto la direzione di Angelo Oreste Andrisano, venne trasferito dalla Facoltà di Scienze alla Facoltà di

Ingegneria per costituire il primo nucleo di aggregazione dei futuri Dipartimenti di Ingegneria. Nell'anno accademico 1990-1991 vennero attivati i primi tre anni dei corsi per le lauree in Ingegneria dei materiali e Ingegneria informatica. Il 24 febbraio 1992 venne costituito il Consorzio Universitario per la promozione e lo sviluppo della Facoltà di Ingegneria cui aderirono diversi enti, istituzioni e istituti bancari del territorio e che ebbe un ruolo decisivo per la realizzazione del Campus Scientifico e Tecnologico. Dall'anno accademico 1992-1993 e fino al 1994-95 la Facoltà si sviluppò con la creazione di numerosi corsi a partire da quello in Ingegneria meccanica, che dall'anno accademico 1999-2000 venne duplicato anche a Reggio Emilia.

Dopo l'istituzione del Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria il 13 ottobre 1993 e la sua attivazione l'1 gennaio 1994, nell'anno accademico 1994-1995 si aggiunse il corso in Informatica e Automatica, denominato poi Dipartimento di Ingegneria Informatica a seguito della trasformazione della Scuola a fini speciali in Informatica che faceva parte della Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali. Tra settembre e novembre del 2000 furono ultimate le opere relative al primo stralcio funzionale della Facoltà di Ingegneria nel nuovo Campus Scientifico e Tecnologico: qui nel 2008 è stato inaugurato un nuovo complesso del Dipartimento di Ingegneria e nel 2014 la struttura della Rete Alta tecnologia dell'Emilia-Romagna.

Nel 2010, con D.R. del 18 maggio, la Facoltà di Ingegneria è stata dedicata a Enzo Ferrari che diede un contributo significativo alla sua nascita e a partire dal 30 giugno 2012, con D.R. n.42 del 26 giugno 2012, è stato attivato l'attuale Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" in cui sono confluite le attività didattiche fino ad allora gestite dalla Facoltà di Ingegneria e le attività di ricerca del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, del Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile e del Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e dell'Ambiente (Barozzi *et al*., 2010; 2015).

L'attuale Dipartimento ha celebrato il trentennale nel 2020 ed è ora affiancato anche dalla Scuola di Ingegneria. In una delle sedi universitarie di Reggio Emilia, il Comparto di San Lazzaro, esiste il Dipartimento di Scienze e metodi dell'Ingegneria.

Conclusioni

L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri, uno dei primi istituti italiani di livello universitario, avvicinabile ai moderni Politecnici, aveva rappresentato un tentativo di superamento dell'antitesi fra istruzione teorica e preparazione professionale, raggruppando in un unico istituto le materie scientifiche che venivano studiate in funzione dell'acquisizione della professionalità per cercare di colmare il divario esistente fra teoria e pratica e associando anche le discipline scientifiche e tecniche con quelle artistiche impartite presso l'Accademia di Belle Arti. L'Istituto aveva formato professionisti tecnicamente preparati, in grado di esercitare una seria attività.

L'attuale Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari" dell'Università di Modena e Reggio, che può esserne considerato l'erede, è in continuo sviluppo: nel Campus

Scientifico Tecnologico realizzato per ospitarlo nel settembre 2023 è stata posta la prima pietra per la realizzazione del Center for Artificial Intelligence and Vision.

Bibliografia

Barozzi G.S., Zucchi M., Gambetta F. 2010. *Vent'anni di Ingegneria a Modena 2010*. Modena: Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari".

Barozzi G.S., Immovilli G., Strozzi A. Grana C., *et al*. 2015 *Venticinque anni di Ingegneria a Modena 2015*. Modena: Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari".

Bordo C. 2010. L'influenza dell'École des Ponts et Chaussées sulla formazione professionale del Corpo Reale del Genio Civile degli Stati Sardi. In: *Storia dell'Ingegneria, Atti del 3° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino), II, 687-696. Napoli: Cuzzolin Editore.

Canevazzi G. 1914. *La Scuola Militare di Modena*. I. Modena: Ferraguti.

Corradini E. 2007. *Gli Estensi e il Cataio. Aspetti del collezionismo tra Sette e Ottocento*. Milano: Federico Motta.

Da Via G. 1762. *Dissertazione su la militare architettura recitata…,* Modena: Soliani.

Frascaroli E. 1998. *La Scuola dei Cadetti Matematici Pionieri. Un Politecnico nel Ducato Estense.* Modena: Archivio Storico Comunale.

Fourcy A., 1828. *Histoire de l'École Polytecnique*. Paris: École Polytecnique.

Mor G., Di Pietro P. 1975. *Storia dell'Università di Modena*. II. Firenze: Leo Olschki.

Riccardi P. 1864. *Cenni storici sull'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri di Modena*. Bologna: Zanichelli.

Tramontini G. 1846. *L'istruzione dell'architettura teoretica nel Reale Estense Istituto dei Cadetti Pionnieri*. Modena: Eredi Soliani.

s.a. 1964. *Il centenario del Politecnico di Milano 1963-1964*. Milano: Tamburini Editore.

s.a. s.d. *Scuola d'Artiglieria e Genio di Modena 1805-08*. I-V. Modena: Società Tipografica.

Note

[1] Modena, Archivio di Stato, Archivio Austro Estense, Segreteria di Gabinetto, Chirografi sovrani, b. 337; si veda anche (Mor e Di Pietro, 1975, pp. 124-126).

[2] Modena, Archivio di Stato, *ibidem.*

[3] Modena, Archivio di Stato, Fondo militare Austro Estense, Ragioneria, f.10; si vedano anche Riccardi 1864, pp. 21-24; si veda anche (Frascaroli, 1998, pp. 86-87).

[4] Modena, Archivio di Stato, Archivio Austro Estense, Segreteria di Gabinetto, Chirografi sovrani, b. 337; si veda anche (Frascaroli, 1998, pp. 91-92).

[5] Modena, Archivio di Stato, Università degli Studi, Archivio antico, Massime, vol. 571, n.2551; si veda anche (Frascaroli, 1998, pp. 31-44 e 95-110).

[6] Modena, Archivio di Stato, Archivio Austro Estense, Segreteria di Gabinetto, Chirografi sovrani, b. 337; si veda anche (Frascaroli, 1998, p. 88).

[7] Modena, Archivio di Stato, ibidem; si veda anche (Frascaroli, 1998, pp. 89-90).

[8] Modena, Archivio di Stato, Archivio Austro Estense, Segreteria di Gabinetto, Chirografi sovrani, b. 339; si vedano anche (Riccardi, 1864, pp. 25-27; Frascaroli, 1998, p. 94).

[9] Modena, Archivio di Stato, Università degli Studi, Archivio antico, Massime, vol. 566; si veda anche (Frascaroli, 1998, pp. 83-85).

Carmine Colella

Agli albori dell'Ingegneria Chimica nell'Università di Napoli

At the dawn of Chemical Engineering at the Naples University

Sommario
Il corso di studi in Ingegneria nasce a Napoli agli inizi dell'Ottocento con lo scopo di formare dei tecnici nel campo delle costruzioni civili. Dopo circa un secolo, preso atto dei rilevanti avanzamenti nell'industria meccanica, navale ed elettrotecnica, al corso di laurea in Ingegneria civile vengono aggiunti quelli di Ingegneria navale e Ingegneria industriale. Siamo agli inizi del Novecento, la chimica ha superato la fase della ricerca di base e si avvia ad avere importanti sviluppi industriali nel campo della produzione di farmaci, di fertilizzanti, di composti chimici essenziali, e quant'altro. Ecco che si avverte l'esigenza di far nascere nel contesto dell'ingegneria industriale anche un orientamento chimico, inserendo nel suo piano di studi discipline chimiche mutuate dalla Facoltà di Scienze. L'Ingegneria chimica moderna nascerà in Italia con la riforma degli studi del 1960, ma i suoi prodromi sono rinvenibili nelle iniziali esperienze di sessanta anni prima.

Abstract
The engineering courses began at the University of Naples at the beginning of the 19th century with the aim of training technicians in the field of civil construction. After about a century, recognizing significant advancements in mechanical, naval and electro-technical industries, the Civil Engineering degree program expanded with the addition of Naval Engineering and Industrial Engineering. At the beginning of the twentieth century, chemistry moved beyond the basic research stage and was going to have important industrial developments in the production of drugs, fertilizers, essential chemical compounds, and more. The need arose to establish a chemical section in the context of Industrial Engineering, incorporating chemical disciplines borrowed from the Faculty of Sciences into the curriculum. Modern Chemical Engineering was born in Italy with the 1960 education reform, but its precursors can be found in the first experiences of sixty years prior.

Introduzione

L'Ingegneria chimica, come altri corsi di laurea della stessa Facoltà, nasce in Italia, attraverso alcuni rilevanti provvedimenti legislativi – delle vere e proprie riforme:

– la conversione, nel 1935, delle Scuole di Ingegneria, nate nei primi decenni dell'Ottocento, in Facoltà, aggregandole in tal modo alle università[1] e successivamente la definizione dei corsi di studio e delle relative lauree[2]; in tale provvedimento fu incrementato il numero delle "sezioni" e conseguentemente delle lauree in ingegneria, che da tre passarono a sei; le sezioni in Ingegneria civile e Ingegneria industriale furono corredate di "sottosezioni" con l'istituzione della nuova laurea in Ingegneria chimica e il progetto di aggiungere una sottosezione chimica dell'Ingegneria industriale;
– l'aggiornamento, nel 1960, degli studi nelle Facoltà di Ingegneria, che confermò le esistenti sezioni, con l'esclusione della sola Ingegneria industriale e delle sue sottosezioni; al suo posto vennero istituite nuove sezioni che si aggiunsero a quelle esistenti[3]; l'ingegneria chimica come sezione autonoma venne dunque confermata.

Di fatto, però, l'Ingegneria chimica nel 1935 era, almeno dal punto di vista formale, tutt'altro che una novità. Lauree in Ingegneria industriale a "orientamento" chimico erano infatti state istituite in alcune Scuole politecniche italiane già nei primi anni del Novecento: si vedano specificatamente le prime nate nelle sedi di Milano e Torino e, come vedremo di lì a poco, anche a Napoli (Astarita, 1980; Santarelli, 2019). L'ingegneria chimica era peraltro stata introdotta da decenni in Germania, in Austria e in Svizzera, così come negli Stati Uniti d'America, dove non solo si erano istituite lauree in Ingegneria industriale, ma frequentemente a queste erano state fatte corrispondere molteplici sottosezioni, se non lauree specifiche, ad esempio in Ingegneria meccanica, navale e chimica. Naturalmente in anni così remoti, che risalgono addirittura in taluni casi a metà dell'Ottocento, parlare di Ingegneria chimica voleva dire parlare di qualcosa di molto diverso dall'attuale, ma anche di cose diverse da un luogo all'altro. In Italia, ad esempio, l'orientamento chimico era dato dal semplice inserimento nel corso di studi di Ingegneria industriale di alcune discipline di carattere chimico, mutuate dalla Facoltà di Scienze (Marrucci, 2006).

Ben diversa era la situazione all'estero, specie negli Stati Uniti, dove già negli anni terminali dell'Ottocento erano stati introdotti, a opera di Arthur D. Little, William H. Walker e Warren K. Lewis, operanti al MIT, concetti del tutto nuovi, con la costruzione di percorsi di grande originalità e di approccio innovativo, che delineavano, tra l'altro, discipline del tutto inesistenti in Italia. Lungi dal voler essere limitativi, le principali innovazioni, che si succedettero fino agli anni Cinquanta del Novecento e che determinarono una vera rivoluzione nel dimensionamento e nelle condizioni di esercizio dei reattori chimici, si avvalsero di un'impostazione teorica completamente riformata, che aveva i suoi fondamenti nell'introduzione del concetto delle "opera-

zioni unitarie", ovvero la constatazione che ogni processo chimico è costituito da un insieme relativamente ridotto di operazioni elementari, e nel riconoscimento del rilievo che nei processi chimici hanno i fenomeni di trasporto di massa e di energia.

L'Italia arrivò un po' tardi a queste innovazioni (Santarelli, 2019). A Napoli, in particolare, fu solo la lungimiranza di Giovanni Malquori (1900-1967), titolare della cattedra di Chimica industriale e leader della sottosezione chimica, che rese possibile l'elaborazione nel 1960 di un percorso di studi di Ingegneria chimica innovativo e al passo con i tempi. L'idea vincente fu quella di inviare due suoi giovani e brillanti allievi, Leopoldo Massimilla (1930-1993) e Giovanni Astarita (1933-1997), a trascorrere qualche tempo in università americane "per abbeverarsi alla fonte". Al rientro, fu possibile realizzare le condizioni per far partire il nuovo corso di laurea in Ingegneria chimica su basi del tutto nuove, con nuovi corsi e nuovi programmi.

La storia della nascita dell'Ingegneria chimica in Italia e a Napoli è stata già diffusamente raccontata. In particolare, Astarita (1980) ne ha tracciato il percorso partendo *ab initio*, ovvero dalla nascita dell'Ingegneria *tout court* agli albori dell'Ottocento, durante il decennio francese.

La presente nota ha un diverso obiettivo: quello di esaminare in qualche dettaglio i primi passi della nascita dell'Ingegneria chimica a Napoli, il periodo degli esordi, quando questo corso di studi era da considerarsi una sorta di insieme di «Ingegneria + Chimica» (Marrucci, 2006).

Le fonti primarie alle quali ci si è affidati sono gli Annuari della R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, poi Annuari della R. Scuola Superiore Politecnica, e il volume sulla storia della Scuola di Ingegneria napoletana, compilato da Giuseppe Russo (1967), in coincidenza con il trasferimento della Facoltà d'Ingegneria dalla vecchia sede di Via Mezzocannone a quella neo-inaugurata di Piazzale Tecchio. Utile per ulteriori approfondimenti di corsi e docenti di discipline chimiche in Facoltà d'Ingegneria è stato l'articolo al riguardo scritto recentemente dall'autore di questa nota (Colella, 2022).

La nascita dell'industria meccanica ed elettrica in Italia

La seconda metà dell'Ottocento fu un periodo in cui si registrarono nelle nazioni più avanzate d'Europa e in America rilevanti progressi nell'industria meccanica e in quella elettrica. La nascita delle realtà industriali italiane ha luogo di fatto con un certo ritardo rispetto a nazioni quali Francia, Germania e Regno Unito, anche se qualche iniziativa industriale ha origini piuttosto antiche. L'origine della metalmeccanica, ad esempio, si fa risalire storicamente al 1919, ma aziende italiane di grande nome e di rilevanti capacità industriali erano all'epoca già affermate a livello europeo: si vedano gli esempi dell'Ansaldo, nata nel 1853, e della FIAT, che diede inizio alle sue attività nel 1899.

Nel settore navalmeccanico e nautico, che vede tradizionalmente il territorio napoletano operativo da tempi più remoti, considerato che la fondazione del cantiere

navale di Castellammare di Stabia, o Regio Arsenale, avvenne nel 1780, la situazione era certamente migliore con molteplici iniziative già alla fine dell'Ottocento. Questa situazione si perpetuò nel prosieguo, tanto cha ancora oggi in questo settore l'Italia occupa una delle posizioni di rilievo a livello mondiale.

Nel comparto elettrotecnico si verificò una realtà in qualche modo paradossale, perché a fronte dei rilevanti contributi nella scienza di base, i nomi di Luigi Galvani, Alessandro Volta e Carlo Matteucci sono a tal riguardo esemplari, e in quella applicata, si vedano Antonio Pacinotti e Galileo Ferraris, vi fu un riscontro a carattere industriale in netto ritardo rispetto ad altre realtà europee o americane. Con l'eccezione di piccole imprese, nate già dopo l'Unità d'Italia, ad esempio la Tecnomasio Italiano nel 1863, bisogna infatti attendere il 1884 per la formale costituzione di una rilevante realtà industriale nel campo elettrico: l'Edison, che iniziò a operare come Società Generale Italiana di Elettricità Sistema Edison per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica. E a questa storica impresa si deve l'inizio dell'elettrificazione del Paese, dalla conversione a Milano, nel 1883, dell'illuminazione a gas a illuminazione elettrica, all'introduzione del trasporto elettrico su rotaia, sempre a Milano, nel 1893, con la sperimentazione della prima tranvia elettrica.

La nascita dell'ingegneria industriale a Napoli

Una data di rilievo nelle vicende che preludono all'istituzione dell'Ingegneria chimica a Napoli è certamente quella del 1901, quando uno storico specifico provvedimento legislativo, promulgato in due *tranches*[4] duplicò le lauree in ingegneria, nel senso che all'ingegneria di taglio civile venne affiancato un corso di studi di impronta industriale. Riconoscendo, infatti, che il corso di studi introdotto quasi cento anni prima, nel 1808, con la creazione della Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, poi modificato nei decenni successivi nella forma e nel contenuto, non rispondeva più ai bisogni del Regno che aveva fatto, come visto, enormi progressi in campo industriale, si provvedeva all'introduzione di corsi di studio diretti alla formazione di professionisti con competenze, che potrebbero essere definite dell'ingegneria industriale.

È da tener conto che all'epoca le Scuole, non essendo inquadrate in Facoltà universitarie, erano di fatto autonome, con la conseguenza che i provvedimenti legislativi erano specificamente diretti alle singole realtà locali. Non meraviglia dunque che provvedimenti di ampliamento dello spettro dei corsi di studio avevano già riguardato le Scuole di Milano e Torino, che storicamente si erano incamminate in ritardo rispetto alla Scuola napoletana, ma avevano fatto passi più spediti nel contesto di iniziative locali più o meno istituzionalizzate. In queste due sedi, ad esempio, in mancanza di una Ingegneria elettrotecnica, di cui si sentiva grande necessità, nacquero delle iniziative private: a Milano fu l'industriale farmaceutico Carlo Erba a far nascere nel 1887-88 una "scuola speciale", che ammise dodici studenti prossimi alla laurea in Ingegneria a frequentare corsi sulla dinamo e sulle misure elettriche, men-

tre, nel 1889, a Torino, presso il Museo industriale, nacque per iniziativa di Galileo Ferraris una Scuola di elettrotecnica, successivamente incorporata nel Politecnico.

A Napoli, a fine Ottocento, ferveva il dibattito sull'istituzione di una Ingegneria industriale, e non solo, e le proposte erano arrivate a notevole maturazione, come dimostra una relazione redatta dal deputato provinciale Giuseppe Orlandi per l'istituzione di una Scuola degli Ingegneri industriali e navali (Orlandi, 1887), alla quale dovevano contribuire finanziariamente anche le amministrazioni locali. Ma per la sua attuazione c'erano resistenze da parte del governo centrale e del Ministero della Pubblica Istruzione, perché si intravedeva in questo ampliamento degli studi di Ingegneria un tentativo di consolidare l'autonomia delle Scuole di applicazione rispetto alle Università. Alla fine, si riuscì a portare il progetto a realizzazione, con il concorso economico della Provincia e del Comune di Napoli, e così, in uno con le consorelle nazionali, la Scuola di ingegneria napoletana, che diventerà Politecnica tre anni dopo, veniva ad accendere nel 1901 un secondo corso di studio, che affiancava la tradizionale "Sezione Civile", comprendente anche un corso di studi di Architettura, e che definiva la cosiddetta "Sezione Industriale".

La celebrazione della nuova Sezione industriale nella Scuola di Napoli

L'istituzione della Sezione industriale della R. Scuola di Applicazione degl'Ingegneri di Napoli fu un avvenimento di grande rilievo a livello locale ma, in prospettiva, anche a livello nazionale. In città si pensò che tale evento dovesse essere celebrato adeguatamente, ma non lo si fece subito, bensì due anni dopo, al principiare del terzo anno, quando veniva a completarsi per la prima volta l'intero corso di studi.

L'inaugurazione avvenne il 10 ottobre 1903 con l'apposizione di due epigrafi commemorative «nel vestibolo dove smonta lo scalone della Scuola e nell'aula del 3° Corso» nella vecchia sede di via Mezzocannone[5] alla presenza di autorità cittadine e della Provincia, dei Professori, degli alunni e di altri invitati, cui seguirono la solenne introduzione del prof. Gaetano Bruno (1844-1909), ordinario di Costruzioni idrauliche e direttore della Scuola, e la prolusione del prof. Luigi Lombardi (1867-1958), ordinario di Elettrotecnica. Bruno, dopo aver ricordato le tappe fondamentali del percorso della Scuola di Ingegneria di Napoli dalla sua fondazione, pressoché centenaria, rilevò l'importanza dell'allargamento degli studi di ingegneria alla sezione industriale, in consonanza con quanto avvenuto in altre sedi universitarie italiane, e, compiacendosene, sottolineò «le lotte amministrative per raggiungere l'intento»[6] e il concorso economico del Ministero, della Provincia e del Comune, che aveva consentito di raggiungere l'obiettivo. Concluse, esponendo il bilancio della Scuola con la ripartizione dei mezzi disponibili nei vari capitoli di spesa. Lombardi, dal canto suo, dopo aver accennato allo sviluppo delle scienze negli ultimi secoli e alle ricadute di carattere economico e sociale, si diffuse su una brillante rassegna dei principali politecnici esteri, facendo un parallelo con le realtà italiane e traendone

ottimistiche prospettive, seppure con auspicabili interventi delle istituzioni governative. Ammetteva, peraltro, che, al confronto con le Scuole o le Facoltà di Ingegneria estere, quelle italiane erano a un livello assolutamente inferiore.

La nascita della Sezione navale e delle sottosezioni di Ingegneria industriale

Nel fermento nato nelle istituzioni amministrative, accademiche e imprenditoriali napoletane a seguito del neo-costituito corso di studi in Ingegneria industriale, un nuovo provvedimento legislativo votato in Parlamento[7] fu l'occasione per far nascere nuove opportunità nel contesto universitario. La detta legge, a parte che prevedere, come già detto, il cambio di denominazione della Scuola di applicazione in Scuola politecnica, istituiva nuovi corsi d'insegnamento in ambito elettrotecnico e un'ulteriore disciplina del tutto inattesa, quella di Costruzioni navali.

Mentre le previste discipline elettrotecniche andavano a definire il profilo culturale dell'omonimo orientamento in ambito dell'Ingegneria industriale, la disciplina navale lasciava intravedere la possibilità della nascita di una nuova sezione, quella dell'Ingegneria navale, che all'epoca esisteva, come Scuola, solo a Genova. Sorse una disputa fra il Consiglio superiore della P.I., contrario, e la Commissione ministeriale incaricata di studiare l'applicazione della legge, che a sua volta era spaccata, ma favorevole in maggioranza. Sembrava trattarsi di un vero e proprio colpo di mano, e probabilmente lo fu, visto che a livello nazionale non si sentiva l'esigenza di un nuovo corso di studi in Ingegneria navale, ma alla fine prevalse il parere di chi puntava alla costituzione nella Scuola Politecnica di Napoli di una nuova sezione, che allargasse lo spettro dei titoli di studio conferiti in ambito industriale.

Fu così emanato un nuovo provvedimento legislativo[8] che, tenendo conto di tutto quanto previsto con precedenti leggi e degli esiti delle discussioni in sede di Consiglio della P.I. e della Commissione di cui sopra, statuì l'istituzione presso la Scuola Superiore Politecnica di Napoli di una «Sezione navale con facoltà di conferire il diploma di laurea in Ingegneria navale e meccanica», la ripartizione della già esistente Sezione industriale in due sottosezioni: Elettromeccanica ed Elettrochimica, in realtà di Chimica come fu denominata in seguito, e l'attivazione di una serie di insegnamenti per le esigenze dei deliberati di cui sopra con modifica del ruolo organico della Scuola.

Le discipline caratterizzanti nella nuova sezione di Ingegneria industriale

Quando nell'anno scolastico 1903-04 si completò il primo triennio dalla nascita dell'Ingegneria industriale, si ebbe nell'Annuario di quell'anno il quadro completo delle materie del nuovo corso di studio. Ma si trattava di un quadro ancora non definitivo, perché alcune materie erano palesemente accorpate e c'era ancora una rilevante affinità fra i programmi dei due corsi di studio, civile e industriale, infatti, le principali distinzioni erano confinate soprattutto nelle materie del terzo anno.

Tale situazione era palesemente originata dal mancato consolidamento del nuovo corso di studi, che necessitava di un certo tempo per andare a regime, ma anche dalla palese carenza di insegnanti, soprattutto sulle nuove materie, come si rileva dal fatto che parecchi docenti erano incaricati di più insegnamenti: uno dei più oberati era Orazio Rebuffat (1862-1938), che come si può rilevare dall'Annuario del 1904-05, insegnava, oltre che la materia di cui era titolare, Chimica applicata, anche, per incarico, Chimica analitica e Chimica organica, due nuove discipline dell'Ingegneria industriale, che venivano proposte apparentemente in un corso bimodulare.

La situazione trovò una sua stabilizzazione dopo qualche anno, anche per effetto del graduale arrivo di nuovi docenti. Nell'Annuario del 1910-11 si rinviene un quadro già consolidato, dal quale è possibile fare dei confronti fra i programmi di studio dell'Ingegneria civile e quelli dell'Ingegneria industriale[9].

I corsi di studio della Scuola politecnica erano basati su tre anni, ma i neo-iscritti dovevano essere in possesso di una licenza acquisita attraverso la frequenza di un corso biennale di base presso la Facoltà di Scienze.

I programmi di entrambe le sezioni, civile e industriale, includevano le discipline formative per un ingegnere, quali Meccanica razionale, Chimica applicata ai materiali da costruzione, Fisica tecnica, Idraulica, Meccanica applicata alle costruzioni e Meccanica applicata alle macchine e disegno di macchine. Quelle distintive dell'Ingegneria industriale rispetto alla civile erano:

1° anno: Cinematica e teoria dei meccanismi, compresi gli elementi e il disegno di macchine, Chimica analitica e Chimica organica.
2° anno: Chimica tecnologica e Tecnologie meccaniche.
3° anno: Progetti di impianti industriali, Elettrotecnica[10], Costruzioni di macchine e progetti e Arte mineraria.

Come è agevole notare, vi era una larga presenza di discipline chimiche a riprova dell'importanza che si attribuiva a questa branca di conoscenza per un ingegnere industriale *tout court*.

Per quel che concerne le due sottosezioni Elettrotecnica e Chimica, era previsto il rilascio di un "certificato speciale", purché si frequentassero e si superassero gli esami di discipline complementari aggiuntive o sostitutive, che per la sottosezione chimica erano: Elettrochimica con laboratorio e Complementi di chimica tecnologica e laboratorio, in sostituzione dell'insegnamento di Costruzioni di macchine, escluso dal piano di studi.

Gli insegnamenti chimici dell'Ingegneria industriale

Chimica applicata ai materiali da costruzione

È l'insegnamento chimico più antico presente nel corso di studi della laurea in Ingegneria, essendo stato istituito per i civili con la legge Casati del 1861. In realtà,

originariamente la disciplina si chiamava Chimica docimastica, era specificamente introdotta nel corso di studi di Ingegneria e aveva l'intento di insegnare «un insieme di pratiche di connotazione analitica, atte a soccorrere il tecnico (ingegnere civile o industriale) nel riconoscimento e nel controllo di materiali di interesse nel campo delle costruzioni. La disciplina, compresa nella grande famiglia della "chimica applicata", aveva come principale oggetto di studio prodotti industriali, quali leganti aerei e idraulici, metalli e ceramici, ma includeva anche nozioni sulla chimica e la tecnologia dell'aria, delle acque e dei combustibili» (Colella, 2020).

La materia fu insegnata nella originaria denominazione e nel relativo programma da Sebastiano De Luca (1820-1880), Francesco Mauro (1850-1893) e Orazio Rebuffat (1862-1938), ma Mauro, in particolare, e in parte lo stesso Rebuffat, di concerto con i titolari della materia nelle altre sedi universitarie italiane, ne modificarono nel tempo lo spirito e il significato, trasformandola in una disciplina dedicata allo studio dei materiali, dalla fase della loro concezione a quella della fabbricazione, della messa in opera e del controllo della durata in esercizio. La materia così, quasi naturalmente, cambiò nome, prendendo quello di Chimica applicata ai materiali da costruzione, inizialmente quelli di interesse per l'ingegnere civile, per poi diventare Chimica applicata *tout court*.

Limitando il discorso alla sola Ingegneria industriale, dopo Rebuffat, la materia fu insegnata da Maria Aloe (1894-1982) e da Riccardo Sersale (1921-2013) e alcuni dei suoi allievi, prima di prendere altri contenuti e denominazioni, fino a quella attuale di Scienza e Tecnologia dei Materiali.

L'insegnamento per la sezione di Ingegneria industriale, quando questa fu istituita, era in comune con quello dell'Ingegneria civile, perché non ci si poteva verosimilmente permettere più docenti per la stessa materia, ma anche perché la disciplina veniva considerata fondamentale per la cultura ingegneristica in generale, più che professionalizzante, motivo per cui il corso accomunava anche studenti di Ingegneria navale e di Architettura. Solo in seguito, agli inizi degli anni Cinquanta del Novecento, l'insegnamento fu multiplato, così quello o quelli proposti agli allievi ingegneri industriali, pur avendo contenuti simili a quelli proposti agli allievi della sezione civile, riduceva l'enfasi sui materiali da costruzione per l'edilizia e le opere di ingegneria civile per ampliare la trattazione ai materiali, non solo strutturali, ma anche funzionali, di interesse per l'industria.

Chimica analitica

È una disciplina che non ci si aspetterebbe di trovare in un corso di studi di Ingegneria industriale, perché palesemente "non ingegneristica" e mutuata da corsi di studi della Facoltà di Scienze. Il programma, secondo quanto riportato nell'Annuario del 1910-11, propone infatti gli argomenti classici dell'analisi chimica con un'introduzione alla pratica dell'analisi qualitativa e quantitativa, la descrizione della bilan-

cia a oscillazioni, i metodi di separazione, le analisi per via secca e il protocollo delle analisi per via umida (volumetria), le analisi strumentali e la gasometria.

Si ha l'impressione che l'insegnamento sia stato una sorta di "riempitivo", in attesa che venissero introdotte nel piano di studi discipline più ingegneristiche. Non è escluso che la materia sia stata prevista perché si aveva a disposizione chi fosse in grado di insegnarla. Il primo docente della materia fu infatti il già citato Orazio Rebuffat, che era notoriamente un analista esperto e di grande abilità. Rebuffat fu incaricato della materia dall'anno scolastico 1903-04 fino al 1918-19[11]. L'insegnamento passò quindi, sempre per incarico, a Pietro Falciola (1878-1956), un allievo di Felice Garelli (1869-1936), che lo ottenne da Rebuffat per scambio con la Chimica tecnologica, che insegnava, e lo tenne fino al 1932-33. Dopo di che il corso sparì dai piani di studio, probabilmente perché si riconobbe, ma forse lo si sapeva già, che la disciplina non era essenziale per la formazione di un ingegnere industriale. Ricomparve curiosamente, per qualche anno, più di venti anni dopo nel corso di studi di Ingegneria chimica, non è chiaro però con quale logica, sempreché ci fosse una logica nella sua momentanea istituzione.

Chimica organica

Come già detto per la Chimica analitica, si tratta di una materia formativa, certamente non professionale per gli ingegneri industriali, esclusi, beninteso, coloro che intendevano intraprendere la professione di "ingegnere chimico", all'epoca non ancora esistente in quanto tale, e interessati pertanto ad acquisire, oltre che il diploma di laurea in Ingegneria industriale, anche il previsto certificato speciale della sottosezione chimica. Essendo una materia di base, i suoi contenuti erano naturalmente coincidenti con quelli dell'omonimo corso diretto agli studenti della Facoltà di Scienze, come testimoniato dal programma nell'Annuario del 1910-11.

Si ha l'impressione che anche in questo caso, in analogia con quanto avvenuto per la Chimica analitica, il corso sia stato inserito nel piano di studi dell'Ingegneria industriale, perché nella Scuola vi era un docente disponibile a insegnare la materia. Fu infatti ancora Orazio Rebuffat che assunse l'incarico, in uno con quello di Chimica analitica, a partire dal 1903-04, ma lo lasciò dopo solo un paio d'anni. Dal 1906-07 il corso passò, infatti, a Maria Bakunin (1873-1960), che, già titolare da alcuni anni di un incarico di Chimica al Suor Orsola Benincasa, iniziò con questo insegnamento il suo lunghissimo magistero presso la Scuola Politecnica, fino al 1935-36, per poi passare a Scienze (Colella, 2015). La Bakunin tenne la materia prima per incarico fino al 1911-12, poi come professore straordinario e quindi ordinario, a seguito di favorevole esito del concorso a cattedra.

Il corso di Chimica organica fu presente nel programma di Ingegneria industriale fin quando la Bakunin ne fu titolare, poi fu soppresso in pratica coincidenza con la trasformazione della Scuola in Facoltà[12]. È probabile che gli studenti interessati

alla disciplina, ovvero quelli della sezione di Ingegneria chimica o della sottosezione chimica dell'Ingegneria industriale, frequentassero il corso impartito in Facoltà di Scienze.

Chimica tecnologica

Questa disciplina fu introdotta nel corso di studi dell'Ingegneria industriale con i decreti reali del 1901. L'intento era quello di fornire agli allievi le conoscenze atte alla produzione industriale di sostanze, sia elementari, quali i metalli, che composte, di immediato interesse applicativo o intermedi di altre produzioni. Il programma prevedeva inizialmente uno sviluppo biennale, al secondo e terzo anno, e includeva sia prodotti inorganici che organici. Erano incluse anche nozioni di Metallurgia e di Elettrochimica. Come risulta dall'ampia descrizione nell'Annuario dell'anno scolastico 1904-05, erano inoltre previste esercitazioni nel neoimpiantato Laboratorio di Chimica tecnologica e, secondo l'Annuario del 1908-09, anche visite guidate ad aziende produttrici di specifici composti o beni di consumo. Le visite erano peraltro incluse anche nel programma del corso di Chimica applicata per quel che concerne la produzione di materiali di interesse industriale, quali acciaio, cemento e ceramiche.

Il primo docente di Chimica tecnologica fu il già citato Felice Garelli, che, vincitore di concorso per professore straordinario della materia, prese servizio nella Scuola a metà del 1902 e vi insegnò fino all'anno scolastico 1910-11, quando si trasferì a Torino. Ne prese il posto, come incaricato, il suo allievo Pietro Falciola, che, come già detto, nel 1918-19 scambiò il suo corso con quello di Chimica analitica, che Orazio Rebuffat teneva per incarico. Rebuffat insegnò a sua volta la materia da incaricato fino al 1922-23, in aggiunta al suo corso di Chimica applicata, poi decise di trasferirvi la sua titolarità di ordinario, tenendo l'insegnamento fino al 1934-35, quando andò in pensione. Il corso fu poi tenuto per qualche anno da Maria Bakunin prima di passare a Giovanni Malquori. Ma nel frattempo era avvenuto un fatto nuovo, seppure di carattere formale: la disciplina aveva cambiato nome prendendo quello di Chimica industriale, che è la sua attuale denominazione.

È stato uno degli insegnamenti fondamentali dell'Ingegneria industriale e naturalmente della sottosezione chimica. Rappresenta ancora oggi uno dei corsi cardine della moderna Ingegneria chimica.

Gli insegnamenti specifici della Sottosezione chimica

Elettrochimica

L'Elettrochimica nacque come insegnamento sulla scia dei rilevanti risultati sperimentali e teorici di fine Ottocento da parte di una folta schiera di scienziati europei (Barone e Mazzarella, 2016). In Italia i primi corsi della disciplina furono istituiti a Padova, Torino e Milano. A Napoli l'insegnamento fu inizialmente ag-

gregato al corso di Chimica tecnologica, come riportato dall'Annuario del 1903-04, fino a quando nel 1906-07 fu affidato per incarico a Oscar Scarpa (1876-1955), proveniente da Torino, che rimase a Napoli un decennio, dando grandi contributi sul piano didattico e della ricerca. Dopo un breve interludio il corso passò per incarico a Francesco Giordani (1896-1961), che dal 1925 ne fu titolare della cattedra. Nonostante i notevoli impegni manageriali, Giordani diede grande impulso alla ricerca teorica e applicata della materia, anche con il concorso di Umberto Pomilio (1890-1964), un imprenditore laureato in Chimica, che lo coadiuvò nel tradurre le ricerche di laboratorio in iniziative di carattere industriale (Barone e Mazzarella, 2014). Giordani fu titolare della materia fino all'anno scolastico 1932-33, quando si trasferì sulla cattedra di Chimica a Scienze, ma continuò a lungo a tenere l'incarico di Elettrochimica a Ingegneria.

Il rilievo del corso di Elettrochimica a Ingegneria fu connesso soprattutto alla forte personalità scientifica di Giordani, ma anche alla sua proposizione come materia a forte carattere applicativo con ricadute anche di rilevo materialistico per i risvolti legati alla corrosione dei metalli.

Complementi di Chimica tecnologica

Agevole e poco articolato il discorso sull'insegnamento di Complementi di Chimica tecnologica, che di fatto nacque da uno scorporo della parte di natura organica dalla stessa Chimica tecnologica. Fu insegnata usualmente dallo stesso docente della disciplina di riferimento.

Conclusioni

L'analisi delle fasi di avvio nell'introduzione dell'Ingegneria chimica a Napoli non solo ha confermato, come era banale immaginare, che il moderno corso di studi riposa nell'autentica rivoluzione attuata nei primi anni Sessanta del Novecento sulla scorta dei decisivi sviluppi teorici registratisi soprattutto in America alcuni decenni innanzi, ma ha altresì evidenziato che la strutturazione iniziale del corso era la più avanzata che fosse possibile all'inizio del secolo. Tanto è vero che tale assetto è rimasto di fatto immutato per quasi sessant'anni, seppure modifiche nei programmi delle singole discipline caratterizzanti e adeguamenti delle impostazioni dei singoli insegnamenti siano stati senza dubbio apportati.

Le materie cardini di tale struttura, per quanto all'epoca non del tutto specifiche per l'Ingegneria chimica, sono state certamente la Chimica applicata e la Chimica tecnologica, oggi Chimica industriale. Di non trascurabile rilievo l'Elettrochimica in considerazione della sua impostazione applicativa e del fatto che adombrava la futura necessaria introduzione nei piani di studio della Chimica fisica che, seppure con altra denominazione, Termodinamica, è ancora disciplina di rilievo nel corso di studi di Ingegneria chimica.

Bibliografia

Astarita G. 1980. The History of Chemical Engineering in Italy. In: *History of Chemical Engineering* (a cura di W.F. Further), Advances in Chemistry Series, 205-226. Washington D.C.: American Chemical Society.

Barone G., 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), 1249-1264. Napoli: Cuzzolin.

Barone G., 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), 319-328. Napoli: Cuzzolin.

Colella C. 2015. Marussia Bakunin, una rilettura aggiornata della vita e della carriera. In: *Atti dell'Accademia Pontaniana*, LXIII, 123-165.

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'VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), 89-99. Napoli: Cuzzolin.

Colella C. 2022. Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte terza: Discipline specifiche per l'Ingegneria chimica e dei Materiali e discipline opzionali. In: *Atti del IX Convegno di Storia dell'Ingegneria* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano e E. Manzo), 651-664. Napoli: Cuzzolin.

Marrucci G. 2006. Dalla "Ingegneria + Chimica" all'Ingegneria Chimica. In *Atti del I Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (a cura di A. Buccaro, G. Fabricatore e L.M. Papa), 139-146. Napoli: Cuzzolin Editore.

Orlandi G. 1887. Per le Scuole superiori commerciale, industriale, navale da istituirsi in Napoli. In: *Atti del Consiglio Provinciale di Napoli*, Sessione ordinaria 1886-87. Napoli: Giannini.

Russo G. (a cura di) 1967. *La Scuola d'Ingegneria in Napoli 1811-1967*. Casoria (Napoli): Istituto Editoriale del Mezzogiorno.

Santarelli F. 2019. L'Ingegneria chimica a Bologna… e non solo. In: *Nascita e sviluppo dell'Ingegneria nell'Università di Bologna* (a cura di E. Mesini, D. Mirri e P. Macini), 613-624. Bologna: Bononia University Press.

Note

[1] R.D.L. 20 giugno 1935, n. 1071, Modifiche ed aggiornamenti al testo unico delle leggi sulla istruzione superiore. Il R.D.L. fu convertito in legge con provvedimento L. 2 gennaio 1936, n. 73, contenente modifiche ed aggiornamenti al testo unico delle leggi sull'istruzione superiore.

[2] R.D. 30 settembre 1938, n. 1652, Disposizioni sull'ordinamento didattico universitario.

[3] D.P.R. 31 gennaio 1960, n. 53, Riordinamento degli studi delle Facoltà di Ingegneria.

[4] RR. DD. 14 e 24 ottobre 1901, nn. 480 e 481.

[5] Si veda l'iscrizione in (Russo, 1967, p. 225).

[6] Annuario R. Scuola per gl'Ingegneri Napoli - Anno scolastico 1903-04, p. 5.

[7] Legge 8 luglio 1904, n. 351, Provvedimenti per il risorgimento economico della città di Napoli.

[8] D.R. n. 645 del 30 novembre 1905.
[9] Qui si trascurano le situazioni degli altri due corsi di laurea: Architettura e Ingegneria navale, che non hanno rilievo per gli obiettivi di questa nota.
[10] Facoltativa per i civili.
[11] Pur prevista dal 1901 al primo anno di corso, non sembra sia stata subito attivata.
[12] R.D.L. 20 giugno 1935.

Margherita Bongiovanni, Mariya Shcherbyna (Maria Shcherbina),
Francesca Gervasio

From Invisibility to Recognition: First Women Engineers at Politecnico di Torino

Da invisibili a protagoniste: le prime donne ingegnere del Politecnico di Torino

Abstract

Stereotypical perceptions downplay women's roles in STEM history, yet their contributions are significant. When we think of human history as a men's club presented as a universal experience, we are faced with a dangerous distortion of reality. The absence of women represents a cultural dishonesty that disregards the experiences and achievements of half of humanity, and thus promotes inequality. Girls who aspire to pursue a scientific path lack support and role models, which could hinder their progress. Therefore, it is crucial to have scientific and artistic projects that aim to restore the transmission of the cultural heritage of women in science. Our "*Le Prime*" research and educational project corrects this by reconstructing biographies and scientific paths of the first female scientists at the *Politecnico*, providing role models and challenging the narrative that undervalues women's achievements. This initiative, through both an online and offline exhibition, aims to bolster the visibility of women in STEM, inspire future generations, and promote a more inclusive historical and societal understanding. The lives and scientific paths of the first women are placed in the context of a global "herstory" of women's rights and achievements, as well as the history of engineering. This project aims to increase the visibility and appreciation of women's achievements in STEM, provide support and role models for future generations, and promote a more inclusive and diverse understanding of history, education, and society.

Sommario

Le percezioni stereotipate spesso sminuiscono il ruolo delle donne nella storia delle discipline STEM, eppure i loro contributi sono stati significativi. Quando pensiamo alla storia dell'umanità come a un club di uomini presentato come un'esperienza universale, ci troviamo di fronte a una pericolosa distorsione della realtà. L'assenza delle donne rappresenta una disonestà culturale che non tiene conto delle esperienze e delle

conquiste di metà dell'umanità, promuove così la disuguaglianza. Le ragazze che aspirano a intraprendere un percorso scientifico non hanno avuto nella storia sostegno e modelli di riferimento, tutto ciò ha ostacolato i loro progressi. Per questo è fondamentale avere progetti scientifici e artistici che mirino a ripristinare la trasmissione del patrimonio culturale delle donne nella scienza. Il nostro progetto di ricerca e didattica, che si concretizza in una mostra online e offline dal titolo "Le Prime", presenta la storia delle donne al Politecnico ricostruendo le biografie e i percorsi scientifici delle prime scienziate, ricercatrici, professioniste e docenti dell'Ateneo nel corso del XIX secolo e del XX secolo, mettendo in evidenza le prime donne che hanno solcato il campo dell'ingegneria civile, elettrica, meccanica, chimica, mineraria e altre. Le vite e i percorsi scientifici delle prime donne sono collocati nel contesto di una "storia" globale dei diritti e delle conquiste delle donne, nonché della storia dell'ingegneria. Il progetto si pone l'obiettivo di aumentare la visibilità e l'apprezzamento delle conquiste delle donne nelle discipline STEM, fornire supporto e "modelli" per le generazioni future e promuovere una comprensione più inclusiva e diversificata della storia, dell'istruzione e della società sia per gli studenti che per il pubblico in generale.

Introduction

The gender gap in STEM persists, leading to limited opportunities for women. This is concerning because STEM professions typically offer above-average salaries (Black *et al*., 2008; Blau e Kahn, 2017) and exhibit a narrower gender pay disparity (Beede *et al*., 2011). Beyond monetary concerns, there's a missed potential for collaborative productivity, as studies show that teams with a balanced gender composition consistently outperform those dominated by one gender (Hoogendoorn *et al*., 2013). Moreover, research teams of both men and women tend to produce more groundbreaking and frequently cited papers, with this effect amplifying as gender balance improves [1].

The underpinnings of this gender disparity are complex and multifaceted. Contrary to some misconceptions, Lindberg *et al.* have emphasized that no inherent biological differences in mathematical abilities exist between genders (Lindberg *et al*., 2010). The real culprits lie within societal structures. Stereotypes, often rooted in mythological thinking, play a pivotal role in shaping perceptions and behaviors (Shcherbina, 2019). These gender stereotypes, influenced by cultural contexts, are imbibed during early socialization, within families and through the 'hidden curriculum' in educational settings. They are further amplified by media and societal norms (Shcherbina e Uchechukwu, 2020). According to the Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination Against Women (UNGA, 1979) such stereotypes, and the prejudices they breed, become formidable barriers in the path of women's educational and professional pursuits, particularly in STEM (Cedaw, 1979). These barriers manifest in myriad ways: from perceiving STEM as "unfeminine", to parents subtly steering

their daughters away from such fields. Furthermore, the looming stereotype threat can dampen girls' self-confidence and consequently, their academic achievements.

In educational settings, gender-biased behavior from teachers can be detrimental. It can range from giving boys preferential attention to setting different standards based on gender or overlooking girls for competitive opportunities, even when they're equally qualified. The mathematical anxiety experienced by some female teachers further complicates the scenario. Paradoxically, successful female STEM educators can inspire and guide, acting as influential role models.

Addressing these issues necessitates innovative coping strategies. One such approach is the incorporation of women scientists' achievements and stories in textbooks and curriculum. Adult education initiatives can further debunk the 'hidden curriculum,' which often perpetuates gender biases. If educational materials remain silent on women's contributions to STEM or highlight only a handful, students might infer that women's presence in STEM is an anomaly. This misconception can snowball over time, perpetuating the cycle where underrepresentation deprives young girls of potential role models and inspirations.

Role Models in STEM

Role models from history are crucial for inspiring women in STEM, demonstrating that these fields are not just for men. Studies by Breda *et al*. (2020) and subsequent 2023 research (Breda *et al.*, 2023) confirm the strong impact these figures have on young women's STEM aspirations. Cheryan *et al.* (2011) stress the importance of portraying these women accurately, not just by their triumphs but through the challenges they overcame, to avoid reinforcing stereotypes. It is crucial to present female scientists' stories as narratives of overcoming adversity, rather than as anomalies, to inspire young women to break through barriers in male-dominated fields. Historical female figures in STEM, compared to contemporary mentors, offer a timeless inspiration showing that women's achievements in these fields are part of a long tradition of excellence and perseverance. By highlighting these stories, we can help create a more equitable environment that encourages and values everyone's contributions, regardless of gender.

The Invisibility of Women in STEM History and "Le Prime" project

Ukrainian historian Martha Bogachevskaya-Khomyak likened women's history in STEM to white-on-white embroidery, a metaphor reflecting their obscured contributions. This "Matilda effect," a term named after feminist Matilda J. Gage, describes how women's work in science has been systematically overshadowed or attributed to men, perpetuating the stereotype of male dominance in these fields. This effect, identified by Gage in the late 19th century, highlights the historical and institutional sidelining of women in STEM.

Historical records further depict accomplished women in STEM primarily through the lens of their relationships to men as wives, daughters, sisters, or subordinates of renowned male scientists. Systemic discrimination in bygone eras compelled many talented women to work in auxiliary or subordinate capacities. This structural marginalization often made it challenging for historians to discern the independent contributions of these women from the accomplishments of their male colleagues or superiors.

Historical records often diminish women's roles in STEM by depicting them in relation to male scientists, which has contributed to their marginalization. Systemic discrimination forced many to work in lesser capacities, making it hard for historians to separate their achievements from those of men. Hernández *et al*. (2017) highlight that excluding women from educational texts undermines academic integrity and deprives society of role models, perpetuating gender disparities and cultural loss. They argue this is not just an oversight but a reflection of deep-seated biases that ignore women's historical STEM contributions. The challenge lies in recognizing and integrating these contributions into mainstream history, a goal that the "*Le Prime*" project endeavors to achieve.

"Le Prime" project

"*Le Prime*" is a thorough investigation into the past female figures of *Politecnico di Torino,* reconstructing the life and work of its early women scientists and educators. This project planned in Gender Equality Plan 21-24 and funded in the We-AreHERe campaign uncovers their impact in fields like engineering, making these legacies relevant and inspiring to current audiences by connecting them with the institution's history. By framing their stories within the wider historical context of women's rights and scientific advancements, "*Le Prime*" offers a rich blend of personal and collective history. The project goes beyond historical recounting; it aims to inspire change and challenge stereotypes, presenting these detailed histories within PoliTO's contemporary and archival spaces. Such stories, when combined with interactive elements like lectures, aim to make STEM careers a tangible ambition, particularly for young women. "*Le Prime*" serves as both a preserver of history and a catalyst for future change, leveraging the power of well-documented past narratives to empower and redefine what women can aspire to in STEM.

In essence, through "*Le Prime*," we are not only preserving the past but also sculpting the future, when chronicles of the past become active agents of change, designed to reshape perceptions, and influence self-conceptions.

By employing rigorous research methods to highlight these unsung heroines, the transformative nature of this initiative lies in its ability to instill new norms. As these stories unfold, they challenge existing narratives and stereotypes. This engagement can catalyze a shift in how young women perceive themselves and their potential

roles in the world of STEM. By immersing them in a *milieu* where they witness first-hand accounts of perseverance and success, the abstract idea of a scientific career becomes a tangible aspiration. Additionally, presenting these tales through interactive mediums, brings a personal touch, making the pursuit of a scientific vocation not just conceivable but also appealing. Through "*Le Prime*", we envision a ripple effect, wherein today's attendees become tomorrow's inspiration.

The method

In our endeavour to delve deep into the fabric of PoliTO's history, we have meticulously curated biographies of its pioneering female professionals, providing insights into their academic, professional, and personal spheres. These biographies, while individually significant, also intertwine with broader sociocultural narratives, offering a comprehensive picture of the challenges and triumphs these women faced.

However, to appreciate their journeys in their full depth, it is pivotal to understand the broader historical context. We have made a concerted effort to map the broader panorama of women's history alongside these biographies. This includes a detailed exploration of the evolving landscape of women's rights, the legislative shifts, societal practices, and pivotal historical events that played influential roles in shaping their destinies. These events, often overlooked in conventional histories, provide a rich tapestry of the socio-political environment that these women navigated, illuminating the constraints and opportunities they encountered.

Furthermore, we also spotlight significant technological and scientific innovations birthed by women. These monumental achievements underscore the profound impact women have had on the trajectory of human progress, despite the adversities they faced. By juxtaposing individual biographies with this broader historical canvas, the exhibition not only celebrates the achievements of PoliTO's female trailblazers but also positions them within a larger narrative of women's indomitable spirit and invaluable contributions to society.

The complex relationship between women, science and technology has often focused on the few exceptional examples of women in the field or highlighted their absence. The contribution of women to technological innovation and development has frequently been overlooked or underrepresented.

Despite being a minority compared to men, many women who graduated from the Politecnico di Torino had successful professional careers during a time when the field was predominantly male-dominated. However, reconstructing these careers is challenging due to the scarcity of women's archives. Women's archives are harder to find than men's archives for several reasons. Firstly, women have historically been in smaller numbers in these fields. Secondly, many women often shared their professional lives with their fathers, husbands, or brothers, whose prominence overshadowed their own professional roles.

The Archives

Our research aims to explore this challenging connection between women, science, and technology by utilizing archival and museum sources. By doing so, we hope to highlight the often-overlooked contributions and important relationships women had with technological development and innovation, particularly in Italy at the beginning of the 20th century. The examination of archival documents provides us with an unprecedented understanding of the contexts in which many women pursued their education and professional growth.

Archival sources play a crucial role in historical research as they provide valuable insights into the non-linear contexts and paths that institutions have traversed during their evolution. From the archives, we can uncover voices, personal anecdotes, and fragments that allow us to trace the individual journeys women have undertaken in technical studies. Their contributions are significant not only for the history of the *Politecnico di Torino* but also for the broader history of engineering and architecture.

We initiated our research by delving into the historical Archives of the *Politecnico di Torino*, where we discovered documents that attest to the careers of students since the inception of the "*Scuola di applicazione per gli Ingegneri*" in 1859 (Student Historical Archive). These archives are organized into series of personal files, matriculation books, exam records, diplomas, and registers of professional qualifications. Additionally, some theses and student transcripts are included in this collection, along with Yearbooks and other relevant archives that provide valuable insights into the university's history. The preserved documentary evidence underscores the richness of the educational and scientific activities of the institution and reflects the political decisions made by its administrators. It is of great interest for reconstructing the history of the entire region in which the *Politecnico* was established and has flourished.

Among the oldest records preserved by the University are those inventoried from the "Management Library" and the "Administrative Direction." These collections contain documents pertaining to the activities of the *Regio Museo Industriale* and the *Scuola di Applicazione*, as well as the *Regio Politecnico*, which was formed by the merger of the two institutes in 1906. These archives shed light on the professional journeys of both male and female graduates who studied at the *Politecnico di Torino* and often spent their entire careers there. These collections, which also include abundant visual documentation, encompass archival series related to institute regulations, didactic activities, student educational paths, commemorations, celebrations, professorial careers, the establishment of research institutes, public honors awarded to professors, accounting, and construction activities. To complement the aforementioned documentation, there is the valuable repertoire of information preserved in the series of Yearbooks. The *Politecnico*'s Archives and Yearbooks allow us to ascertain the number of graduates in engineering and architecture, with only a small proportion being female colleagues.

Unfortunately, the subsequent step of locating documentary sources related to professional studios proved to be the most challenging aspect of our work. Even Emma Strada, the first female engineer in Italy, who actively participated in construction projects and pursued her professional career independently, finds her name closely associated with that of her father, who was also an engineer and owned the studio that she eventually inherited, or with her younger brother, who graduated in engineering a few years later.

Herstory: the social and cultural contest

The engineering culture in the nineteenth century was exclusively male. The *Scuola di Applicazione per gli Ingegneri* was established in 1859, and it wasn't until 1908 that the first woman, Emma Strada, graduated in engineering. This means that for nearly the first fifty years of the *Politecnico*'s existence, there were no female members. In the 1860s, various municipal and private initiatives emerged to address the need for post-elementary education for women that went beyond the traditional career path of teaching, which was the only option available to women at the time.

The educational administration sought inspiration from foreign models in countries like France, Germany, and England, where a network of general and professional high schools had been established. These models were considered relevant for Italy. Alongside training in traditionally feminine fields such as linear design, ornaments, and figure drawing, courses in foreign languages and accounting were also taught. While these foreign influences played a limited role and were still influenced by the realities of Northern Italy, they contributed to the establishment of schools that aimed to meet the specific educational needs of women from diverse backgrounds. These schools aimed to provide a versatile education to women, expanding their opportunities beyond traditional gender roles.

From the late 19th to the early 20th century, a transformative epoch unfolded, marking a pivotal juncture in Italian historical development characterized by societal, familial, and customary evolutions. This era, bridging the conclusion of the 1800s and the onset of the 1900s, was underscored by the nascent Italian nation-state's endeavors and the advent of industrialization, both catalytic in propelling the modernization paradigm. The post-unification period witnessed the Italian state's strategic initiative to institutionalize mass education, heralding basic education not only as a societal asset but also as a conduit for women's access to educational opportunities. This marked a seminal shift towards mitigating the entrenched marginalization of women, positioning education as instrumental in their emancipation from previously subservient roles.

The advent of women graduating from the *Scuola politecnica* symbolized a departure from traditional norms, epitomized by individuals who, encouraged by their socio-familial milieu, ventured beyond the confines of established conven-

tions. Emma Strada's graduation emblematically signifies a critical demarcation between historical epochs. Her achievements challenge the preconceived notion of the non-existence of female engineers and signify the reclamation of a domain traditionally monopolized by men. Strada's legacy is illustrative of a broader societal transformation, wherein the inclusion of women in engineering and technical fields marks a significant stride towards gender parity and diversification of professional spheres.

The women

The present article showcases the biographies of seven trailblazing women graduated at *Politecnico di Torino* who paved the way for future generations of women in STEM fields. Their stories shine a light on their unwavering resilience, determination and exceptional talent as they pursued their careers. By challenging gender norms and making substantial contributions to their respective fields, they have left an indelible impact on Italy's academic and professional landscape.

Extended versions of the biographies, along with additional profiles of pioneering women in engineering and architecture, can be found on the website "*Le Prime*" [2].

Emma Strada (1884-1970)

She was the first woman to graduate in Engineering, Civil Engineering, in Italy, achieving this milestone in 1908.

In the predominantly male field of engineering, she initiated her career as a freelancer in her father's office, focusing on civil, structural, and infrastructural projects. One of her notable early projects involved designing a "*ribasso* tunnel" for draining water from a cupriferous pyrite mine in Ollomont, Aosta Valley. Despite her pioneering role, she encountered limitations in signing many of her projects due to the prevailing practice of reserving this right exclusively for men. This reality serves as a poignant testament to the Matilda Effect, where women's achievements or ideas are often misattributed to men, ignored, or undervalued.

In 1957, together with Anna Enrichetta Amour, and other women graduated in Engineering and Architecture she founded AIDIA-Italian Association of Women Engineers and Architects, which celebrated the accomplishments of female engineers and architects while actively supporting their professional advancement, further emphasizing her commitment to gender equity.

Maria Bongioannini (1887-1949)

She made significant contributions to the field of engineering after graduating in Civil Engineering in 1911. She became the first woman to fully commit to a freelance career, setting a distinctive benchmark and challenging the systemic invisibilization of women's contributions in architecture and other fields.

She designed and constructed a wide array of buildings in Turin and its surrounding province, including private residences, educational institutions, and industrial facilities. Notably, she undertook transformative architectural work on the buildings located between Frejus, Cesana, Moretta, and Revello streets in the San Paolo district of Turin, as well as the expansion of a building at the *Amedeo di Savoia* Hospital to house administrative offices.

Teresa Bertino (1891-n.d.)

She achieved another milestone in 1914 when she graduated in Civil Engineering and became the first woman to attempt a university career at *Politecnico di Torino*.

Her ascent in academia during World War I, as Assistant Professor of Mineralogy and Geology, replacing male colleagues conscripted for war, highlights the unforeseen opportunities the war presented for women in challenging traditional gender roles. This inadvertent shift spotlighted their capabilities in traditionally male-dominated spheres. However, the war's conclusion and the subsequent return of these colleagues in 1922 precipitated her shift from the Chair of Mineralogy to the Chair of Hydraulics and her premature exit from *Politecnico*, influenced by the director's decision, serves as a poignant reminder of the gender biases and challenges that persisted in the academic world.

Romilda Gagliardi (1889-n.d.)

She became the first woman engineer specializing in aeronautics at *Politecnico di Torino* after graduating in Mechanical Engineering in 1925. She carved a unique path as the first woman in the predominantly male-dominated field of aeronautics, where she earned distinction as an authority. Even as a student, she contributed to the design of reconnaissance aircraft for the Italian Air Force, collaborating with the "*Società Anonima Costruzioni Aeronautiche Ing. Ottorino Pomilio & Co*" since its inception in 1916.

After completing her studies, she furthered her professional association with the company, eventually taking on the role of Technical Office Manager, where she played a pivotal part in the design and development of military aircraft used during World War I. Her significant contributions and position as secretary of the ASA, the Association of Astronautical Sciences, played a vital role in challenging and dismantling the gender stereotypes underlying horizontal segregation in the sector.

Anna Enrichetta Amour (1908-1990)

Graduated in Electrical Engineering in 1933, she was the first woman engineer in Italy to establish an international career support network for women engineers and architects. After graduating, she joined SIP, the Società Idroelettrica Piemonte, and eventually established and headed the Statistics Office by 1943.

Seeking further education and global perspectives, she moved to the United States and obtained a Master's degree in Industrial Engineering from Columbia University in New York by 1953. This experience abroad not only enriched her academically but also provided her an opportunity to network with associations committed to elevating women in science and technology, notably the WES-Women Engineers and Scientists association.

An advocate for women's rights in the professional realm, she was acutely aware of the gender disparities women faced, especially in fields traditionally dominated by men. Alongside Emma Strada, she co-founded AIDIA, serving as its national secretary, she was deeply committed to challenging and addressing gender biases. Her pivotal role in curating and disseminating the association's magazine further amplified its activities and mission, extending its influence beyond Italy and raising awareness about the importance of women's representation and contributions in the engineering and architectural sectors.

Cesarina Bordone (1926-2017)

After graduating in Industrial Mechanical Engineering in 1950, she became the first female engineer in Italy to specialize in the field of acoustics.

She navigated the predominantly male-dominated realm of acoustics, ascending the academic ladder at *Politecnico di Torino* during the 1960s. Initially starting as a Free Lecturer in Electroacoustics, she later diversified into Acoustics and secured a permanent position as a Free Lecturer in Applied Electroacoustics by 1966.

She was not just an expert in her field, but also a beacon of resilience against entrenched gender norms, consistently asserting her choices even amidst familial pressures. From her early years, she was fueled with an unwavering determination to carve out a professional path centered on her passion. She overcame gender stereotypes by always defending her choices with her colleagues, also with her family who questioned her decision. Bordone's journey epitomizes the tenacity required to realize one's professional aspirations, especially against societal constraints.

Angelica Frisa (1934-2020)

She was the first woman in Italy to graduate in Mining Engineering, achieving this milestone in 1957. Her academic journey reflects the challenges faced by women in academia during her time. She began her academic career in 1958 as an extraordinary Assistant Professor at the Chair of Mineral Art at *Politecnico di Torino*. She later served as a volunteer Assistant Professor at the Chair of Mineral Preparation. However, it was not until the academic tenure reform of 1980 that Angelica Frisa secured a stable Associate Professor role. Such scenarios underscore a pervasive vertical segregation within academia, which often subjected women to more fragmented career trajectories compared to their male counterparts. This disparity inevitably

presented additional challenges for women as they strived to attain prominent or enduring academic positions.

Conclusions

In conclusion, the "*Le Prime*" project at *Politecnico* is an essential step towards rectifying the historical oversight of women's contributions in STEM. By bringing to light the stories of its first female scientists through rich biographical narratives, this project does not just fill a gap in our collective memory: it reclaims it, fostering a diverse and inclusive narrative. As we highlight these pioneering women within the broader discourse of women's rights and scientific progress, we do more than honor their legacy. We empover young girls in science, offering them the role models and the validation they have long been denied. "*Le Prime*" stands as a testament to the undervalued achievements of women and a beacon of inspiration, signaling a more equitable future in STEM and beyond.

Archival resources

Torino, ASPoliTO, Archivio Storico Politecnico di Torino, Serie fascicoli personali studenti.

Fascicoli: Amour Anna Enrichetta, Bertino Teresa, Bongioannini Maria, Bordone Cesarina, Gagliardi Romilda, Frisa Angelica, Strada Emma.

Bibliography

Beede D., Julian T., Langdon D., McKittrick G., Khan B., Doms M. 2011. Women in STEM: A gender gap to innovation. ESA Issue Brief , 04-11.

Blau F.D., Lawrence M. Kahn. 2017. The Gender Wage Gap: Extent, Trends, and Explanations. Journal of Economic Literature, 55(3), 789-865.

Breda T., Grenet J., Monnet M., Van Effenterre C. 2020. Do Female Role Models Reduce the Gender Gap in Science? Evidence from French High Schools. IZA DP No. 13163.

Breda T., Grenet J., Monnet M., Van Effenterre C. 2023. How Effective are Female Role Models in Steering Girls Towards STEM? Evidence from French High Schools. The Economic Journal, 133(653), 1773-1809.

Cheryan S., Siy J., Vichayapai M., Drury B., Kim S.. 2011. Do Female and Male Role Models Who Embody STEM Stereotypes Hinder Women's Anticipated Success in STEM?. Social Psychological and Personality Science. 2. 656-664.

Hernández N.S., Garcia D.M., Navajas A.L. 2017. Las mujeres en los materiales curriculares: el caso de dos libros de texto de educación física (Women in curriculum materials: the case of two physical education textbooks). Retos, 32, 140-145.

Hoogendoorn S., Oosterbeek H., van Praag M. 2013. The Impact of Gender Diversity on the Performance of Business Teams: Evidence from a Field Experiment. Management Science, 59(7), 1514-1528.

Lindberg S.M., Hyde J.S., Petersen J.L., Linn M.C. 2010. New trends in gender and mathematics performance: A meta-analysis. Psychological Bulletin, 136(6), 1123-1135.

Shcherbina, M. 2019. Between I and we-thinking: phenomenology, mythology, gender stereotyping. In: *Gender. Ecology. Health. 6th International Scientific and Practical Conference Proceedings*. Kharkiv. 34-36. Kharkiv: Kharkiv National Medical University.

Shcherbina M.M., Uchechukwu J.A. 2020. Gender differences in the specialization of medical students [Paper presentation]. In: *Gender. Ecology. Health. 6th International Scientific and Practical Conference Proceedings*. Kharkiv. 84-86. Kharkiv: Kharkiv National Medical University.

UNGA. 1979. Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination Against Women. United Nations, Treaty Series, 1249, 13.

Webgraphy

[1] https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2200841119.

[2] https://leprime.weareherepolito.it/.

Vittorio Marchis, Bruno Panella

L'Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino

Nuclear Engineering at Politecnico di Torino

Sommario
Il nucleare arriva in Italia durante gli anni della ricostruzione e il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari-CNRN nasce nel 1952 all'interno del Consiglio Nazionale delle Ricerche-CNR per studiare le applicazioni pacifiche dell'energia nucleare. Al Politecnico di Torino nell'anno accademico 1955-56, si attivò un Corso di perfezionamento in Ingegneria Nucleare, che ben presto, dal 1959, lasciò il posto al corso di laurea in Ingegneria Nucleare. Intanto a Ispra fra il 1957 e il 1958 era stato ultimato Ispra-1 un reattore di ricerca, che è stato il primo reattore nucleare di ricerca italiano della potenza di 5 MW, e le collaborazioni del Politecnico di Torino con i Laboratori di Ispra furono in quegli anni assai intense. Con la riforma degli ordinamenti universitari del 2000 fu istituita in Italia la Laurea triennale in Ingegneria Energetica, e a partire dall'anno accademico 2003-04 fu attivata la Laurea magistrale in Ingegneria energetica e nucleare, con tre Orientamenti: *Renewable energy systems*, Progettazione e gestione di impianti energetici, *Sustainable nuclear energy*.

Abstract
Nuclear energy arrived in Italy during the years of post war reconstruction, and the National Committee for Nuclear Research-CNRN was founded in 1952 within the National Research Council-CNR to study the peaceful applications of nuclear energy. At the Politecnico di Torino in the academic year 1955-56, a specialization course in Nuclear Engineering was activated, which soon, from 1959, gave way to the degree course in Nuclear Engineering. Meanwhile in Ispra between 1957 and 1958 the research reactor Ispra-1 was completed, it was the first Italian nuclear research reactor with a power of 5 MW and the collaborations of the Polytechnic of Turin with the Ispra Laboratories were in those years very intense. With the reform of the university systems of 2000, the three-year degree in Energy Engineering was established in Italy, and starting from the 2003-04 academic year the Master's degree in Energy and Nuclear Engineering was activated, with three orientations: Renewable energy systems, Design and management of energy plants, Sustainable nuclear energy.

Introduzione

Il 2 dicembre 1942 Enrico Fermi dimostrò la fattibilità scientifica di una reazione nucleare a catena. Dal settembre 1941 alla fine del 1942 Fermi portò avanti gli esperimenti per realizzare una reazione a catena controllata, prima alla Columbia University di New York e poi a Chicago, realizzando progressivamente i seguenti valori del rapporto tra neutroni presenti in una generazione e quelli della generazione precedente, *K*: 0,87; 0,918 ad aprile 1942; 1,07 il 2 dicembre 1942. «Il navigatore italiano è sbarcato nel nuovo mondo», con queste parole in codice si annunciò il successo del team guidato da Enrico Fermi. La cosiddetta pila di Fermi, la CP-1, aveva una potenza di 200 watt; era formata da mattoni di grafite per un peso complessivo di 350 t, conteneva 36,5 t di ossido di Uranio e 5,64 t di Uranio metallico; le barre di controllo erano formate da barre di legno avvolte da fogli di Cadmio. Negli anni successivi, durante la Seconda guerra mondiale, gli Stati Uniti lavorarono freneticamente nel progetto Manhattan che portò alla costruzione di ordigni nucleari e alla tragedia di Hiroshima e Nagasaki. Dopo la guerra, dimostratosi impossibile il mantenimento del segreto sulle applicazioni dell'energia nucleare, il presidente degli Stati Uniti Dwight Eisenhower decise di togliere il segreto alle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare e l'8 dicembre 1953 lanciò il programma "Atoms for Peace". La conferenza di Vienna del 1955 sancì la politica degli Stati Uniti di collaborazione con i paesi occidentali nel campo dell'uso pacifico dell'energia nucleare. I progressi furono lenti, ma un ruolo importante fu giocato dall'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica-IAEA, istituita nel 1958, con sede a Vienna. Nel 1957 era stato creato l'EURATOM accanto alla Comunità Economica Europea e successivamente le conferenze internazionali di Ginevra del 1958 e 1964 ebbero un gran successo. Fu così che ebbe origine, nei vari Paesi, l'industria nucleare energetica.

Scriveva il professor Antonio Carrer nella sua prolusione all'Anno Accademico 1959-60 del Politecnico di Torino, intitolata Elettrotecnica delle correnti forti: «Per quanto riguarda l'Italia le prospettive di un futuro impiego dell'energia nucleare si presentano sotto un aspetto più favorevole che non in altri paesi poiché, causa il prossimo esaurimento delle risorse idriche e la mancanza di combustibile tradizionale, vi sarà particolare interesse a poter contare sulla nuova fonte di energia. L'interesse per gli impianti nucleari ha dato origine ad iniziative per la costruzione di alcuni di essi, nonostante l'attuale più elevato costo di produzione dell'energia elettronucleare rispetto a quello dell'energia tradizionale, con lo scopo di acquisire esperienza in materia in tempo utile. Società elettrocommerciali e industrie centrosettentrionali tra cui il gruppo Edison, la Società Adriatica di Elettricità, la Società Selt- Valdarno, la Società Trentina di Elettricità, hanno concentrato il loro interesse nelle attività della Società Elettronucleare Italiana-SELNI che ha in programma l'attuazione di un primo impianto nucleotermoelettrico da 160 MW con reattore ad acqua in pressione alimentato da Uranio leggermente arricchito. Altre Società elet-

trocommerciali hanno concentrato il loro interesse nella Società Elettronucleare Nazionale- SENN che si propone la costruzione, nell'Italia Meridionale, alle foci del Garigliano, di un impianto nucleotermoelettrico, da 150 MW. Il reattore sarà del tipo ad acqua bollente ed utilizzerà Uranio leggermente arricchito. Un'altra iniziativa nel campo dei reattori di potenza è quella dell'AGIP Nucleare che ha in costruzione, presso Latina, un impianto da 200 MW dotato di un reattore ad Uranio naturale, moderato a grafite e refrigerato a gas. Tutti e tre gli impianti saranno quindi dotati di quei tipi di reattore che, attualmente, sono considerati i più maturi per l'applicazione all'industria. Non bisogna, con riferimento ad un immediato futuro, avere eccessivo ottimismo in quanto il costo dell'energia elettrica prodotta in impianti nucleari è tuttora alquanto elevato e ancora lontano da quello che si ha con gli impianti di tipo tradizionale. Attualmente, con riferimento al costo specifico di installazione che diviene elevatissimo e fortemente crescente col diminuire della potenza installata, è indispensabile orientarsi verso centrali elettronucleari di potenza dell'ordine di 150 MW e oltre. Ciò evidentemente può accadere solo in paesi ove il livello industriale sia molto elevato».

Fra tutte le tecnologie di approvvigionamento energetico quella dei reattori di potenza a fissione e quella ancora in fase di ricerca e sviluppo dei reattori a fusione apparvero fin da quegli anni le due tecnologie energetiche principali di alternativa ai combustibili fossili. Da allora molti Paesi, tra cui l'Italia, nella quale già da qualche anno gruppi di scienziati lavoravano sulle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare, si impegnarono a studiare reattori nucleari principalmente per la produzione di energia elettrica: tutto ebbe inizio nel Centro che diventò più tardi il CISE a Milano, in seguito nell'Ente che poi si chiamò CNEN e infine ENEA e in industrie quali l'Ansaldo, nonché nelle Università dove si erano attivati percorsi di Ingegneria nucleare. Tra i protagonisti di allora nell'ambito dei centri di ricerca si possono ricordare Felice Ippolito, Segretario generale del CNEN, Umberto Colombo, Presidente del CNEN-ENEA, Ugo Farinelli, che è stato importante dirigente ENEA; nelle Università con Corsi di Ingegneria nucleare: Mario Silvestri, al Politecnico di Milano, Maurizio Cumo all'Università di Roma La Sapienza, Carlo Lombardi, al Politecnico di Milano, Carlo Arneodo, al Politecnico di Torino, Bruno Guerrini, all'Università di Pisa, Vincenzo Molinari all'Università di Bologna, Francesco Mazzoleni all'Università di Napoli e Elio Oliveri all'Università di Palermo.

Di fatto, nella seconda metà degli anni Cinquanta tre reattori di potenza furono ordinati in Italia ed entrarono in funzione nel 1963-64 nei siti del Garigliano, presso Caserta, di Latina e di Trino Vercellese, in provincia di Vercelli, per cui l'Italia divenne uno dei Paesi con maggior potenza nucleare installata per la produzione di energia elettrica.

La prima "crisi del nucleare" in Italia scoppiò dopo l'incidente di Chernobyl del 1986, in seguito al quale fu deciso di abbandonare l'esercizio delle centrali esistenti

e di non costruirne di nuove, sulla base anche del risultato del Referendum del 1987. Di fatto già erano in fase di sviluppo le due centrali a Montalto di Castro e quella a Leri Cavour nel Vercellese. Molti anni dopo l'Italia stava ricominciando a considerare la possibilità di produrre energia nucleare, ma dopo l'incidente di Fukushima in Giappone del 2011, nel 2011 venne bandito un nuovo referendum in seguito al quale si decise di rinunciare definitivamente a questa forma di energia.

Nel 2023 si è ricominciato a parlare della possibilità di costruire in Italia centrali nucleari, privilegiando i reattori di piccola taglia (SMR- *Small Modular Reactors*), ma ciò non dovrebbe accadere prima del 2030. Tuttavia nelle varie Università e soprattutto nei due Politecnici continuano ad essere attivi con qualche modifica i Corsi di Ingegneria nucleare: così si hanno in ogni sede alcune decine di laureati, soprattutto, grazie al buon livello degli insegnamenti e all' alta probabilità di trovare facilmente lavoro sia in Società che comunque si occupano di energia nucleare, soprattutto all'estero, sia in altri campi, favoriti da una solida formazione di base ingegneristica.

Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino

Il Politecnico di Torino, con lodevole tempismo, proprio a partire dall'anno accademico 1955-1956, istituì il Corso di perfezionamento in Ingegneria nucleare "G. Agnelli", sotto la direzione del Rettore del Politecnico Antonio Capetti, con 13 docenti dei quali soltanto cinque erano italiani, tra cui tre del Politecnico di Torino, i professori Vittorio Cirilli, Cesare Codegone e Rolando Rigamonti. Gli studenti iscritti erano 32 su 1123 studenti iscritti alla Facoltà di Ingegneria. Tra i docenti esterni si ricordano R. Balent, del Group Leader Preliminary Analysis-Atomic International-North American Aviation Inc., J. Bussac, ingegnere al Centre d'Études Nucléaires de Saclay, Commissariat français à l'Energie Atomique, M. Haissi Sky, dell'Institut du Radium P. Curie di Parigi, A.O. Hanson, professore di Nuclear Physics all'University of Illinois, B. Prentice, dell'Atomic Power Equipment GeneraI Electric Co. a Schenectady, J. Walker, dell'Atomic Energy Research Establishment, Harwell, e D.V.B. Wordsworth dell'Atomic Energy Research Establishment a Harwell. Ad essi si aggiungevano il prof Gleb Wataghin dell'Università degli Studi di Torino e l'ingegner Ugo Farinelli, destinato a diventare un punto di riferimento del nucleare in Italia.

Dall'anno accademico successivo, 1956-57, direttore del Corso di perfezionamento fu Cesare Codegone, che dirigeva l'Istituto di Fisica tecnica e la docenza fu quasi interamente reclutata all'interno del corpo docente del Politecnico: tra essi, oltre ai già citati, non vanno dimenticati Carlo Arneodo, Renato Ascoli, Mario Boella, Sergio De Benedetti, Francesca Demichelis.

Nella pubblicazione "Il Politecnico di Torino nel primo suo centenario" del 1959, un anno dopo l'inaugurazione della nuova sede di Ingegneria in Corso Duca degli

Abruzzi 24 alla presenza del presidente della Repubblica G. Gronchi, il capitolo "Istituto di Fisica tecnica", si apre con la seguente frase: «Dipendono dall'Istituto gli insegnamenti di Fisica tecnica e quelli del corso di Ingegneria nucleare Giovanni Agnelli». Nella descrizione dei laboratori si afferma che nei locali del laboratorio dell'Istituto si svolgono le lezioni del corso di Ingegneria nucleare. Infine, si dichiara che gli allievi del corso di Ingegneria nucleare hanno a disposizione un simulatore elettronico per reattori nucleari di produzione della Società Elettronica Lombarda-SELO.

Nel 1960 fu approvato in Italia il D.P.R. 31 gennaio 1960 n. 53 sul riordinamento degli studi delle Facoltà di Ingegneria, nel quale venivano riorganizzati i Corsi di laurea dell'Università italiana e venne istituito il Corso di laurea in Ingegneria nucleare.

Nel 1960-61 presso il Politecnico di Torino vennero attivati i primi due anni del triennio specialistico di Ingegneria nucleare, permettendo a studenti iscritti ad altri corsi di laurea di trasferirvisi, e a partire dal 1961-62 furono attivati tutti gli anni del nuovo Corso di laurea. Nel 1960-61 gli iscritti al terzo anno di Ingegneria nucleare furono 14, quelli iscritti al quarto anno 10. Alla fine del 1962 si ebbero i primi laureati in Ingegneria nucleare del Politecnico di Torino, tra cui l'ingegner Paolo Gregorio di cui si dirà qui nel seguito. A regime, i laureati in Ingegneria nucleare furono 24 nel 1971, 32 nel 1972, 37 nel 1973, 24 nel 1974, 19 nel 1975, 24 nel 1976 e 30 nel 1977; negli anni successivi il numero di laureati in Ingegneria nucleare si assestò a una trentina all'anno.

A partire dall'anno accademico 1981-82 entrò in vigore il nuovo piano ufficiale del Corso di laurea in Ingegneria nucleare, con cinque indirizzi:

1) termotecnico, principalmente rivolto alla progettazione, alla costruzione e all'esercizio delle centrali nucleari di potenza; particolare attenzione era dedicata allo studio impiantistico dal punto di vista della termofluidodinamica e della dinamica generale dell'impianto;
2) meccanico, finalizzato allo studio dell'impianto nucleare di potenza e dei suoi componenti principali dal punto di vista del progetto meccanico strutturale e dell'affidabilità in condizioni di esercizio e di incidente;
3) neutronico, che approfondiva gli aspetti essenziali della fisica dei reattori e della neutronica applicata sia statistica che dinamica, con lo scopo di preparare alla progettazione neutronica delle centrali di potenza e a svolgere lavori di ricerca applicata anche nel settore del riciclo del combustibile;
4) dinamica e controllo, che analizzava i problemi della stabilità, della regolazione e del controllo degli impianti di potenza nel loro complesso, con particolare riguardo ai problemi di protezione e sicurezza;
5) fisico, orientato precipuamente alla formazione di tecnici e ricercatori nel settore della fisica applicata anche non necessariamente energetica, nonché alla preparazione di specialisti nel campo delle radiazioni e della strumentazione fisica.

Nel 2000 fu istituita la Laurea triennale in Ingegneria Energetica, e a partire dall'anno accademico 2003-04 fu attivata la Laurea magistrale in Ingegneria energetica e nucleare, con due orientamenti: tecnologie energetiche e tecnologie nucleari. In seguito, gli orientamenti sono diventati tre con le seguenti denominazioni: *Renewable energy systems,* Progettazione e gestione di impianti energetici, *Sustainable nuclear energy*.

Didattica e ricerche di Ingegneria nucleare

Al Politecnico di Torino sia il Corso di laurea in Ingegneria nucleare, sia il Corso di perfezionamento in Ingegneria nucleare G. Agnelli, che continuò a svolgersi anche dopo la istituzione del Corso di laurea in Ingegneria nucleare, assumendo caratteristiche di Corso di specializzazione in Energetica, facevano riferimento all'Istituto di Fisica tecnica, diventato in seguito Istituto di Fisica tecnica e Impianti nucleari, il cui direttore fino al 1974 fu il professor Cesare Codegone, cui successe il prof. Vincenzo Ferro. Nel 1983 l'Istituto è diventato Dipartimento di Energetica, dopo la confluenza dell'Istituto di Macchine, e oggi Dipartimento Energia, in cui è confluito anche tutto il settore dell'ingegneria elettrica. Nell'Istituto di Fisica tecnica e Impianti nucleari un piccolo nucleo di docenti, tra di essi Carlo Arneodo e Cesare Merlini, cominciò a svolgere ricerche nel campo dell'Ingegneria nucleare, a partire dal 1960. Le ricerche si svolsero all'inizio essenzialmente nel settore impiantistico- termoidraulico, simulando con apparecchiature sperimentali il circuito primario dei reattori nucleari ad acqua naturale pressurizzata, del tipo realizzato dalla Westinghouse americana a Trino Vercellese. Uno di tali circuiti, mostrato in Figura 1, volto allo studio dell'instabilità termoidraulica e del fenomeno della crisi termica e che poteva funzionare fino alla pressione di 300 bar, era alimentato con una dinamo di 100 kW e la circolazione del fluido refrigerante era assicurata da una pompa della Hayward–Tyler, con motore immerso tipo "*canned motor*". La massima potenza fu poi portata a 400 kW.

Nello stesso tempo il Politecnico realizzò un piccolo reattore nucleare sottocritico, con il quale condurre ricerche di base di Fisica dei reattori nucleari utilizzando l'Uranio che era stato donato al Politecnico all'inizio degli anni '960, consistente essenzialmente in 115 barre di uranio arricchito al 3% per un totale di circa 83 kg e 114 barre di Uranio naturale per circa 84 kg. La struttura sottocritica era ospitata in un locale parzialmente sotterraneo, appositamente costruito, nelle vicinanze dell'Istituto di Fisica tecnica e Impianti nucleari; la sede del contenitore della struttura consisteva in un pozzo di calcestruzzo interrato, con le pareti di 50 cm circa. Il nocciolo era contenuto in una vasca cilindrica di alluminio di 1,60 m di diametro e 2,05 m di altezza. Le barre di combustibile erano supportate da due piastre, sulle quali poggiavano in un reticolo di tipo quadrato. Il moderatore, la cui funzione era anche di schermo di protezione, era costituito da acqua deionizzata che riempiva completamente la vasca in alluminio. In ogni barra di combustibile erano contenute 40 pastiglie per la lun-

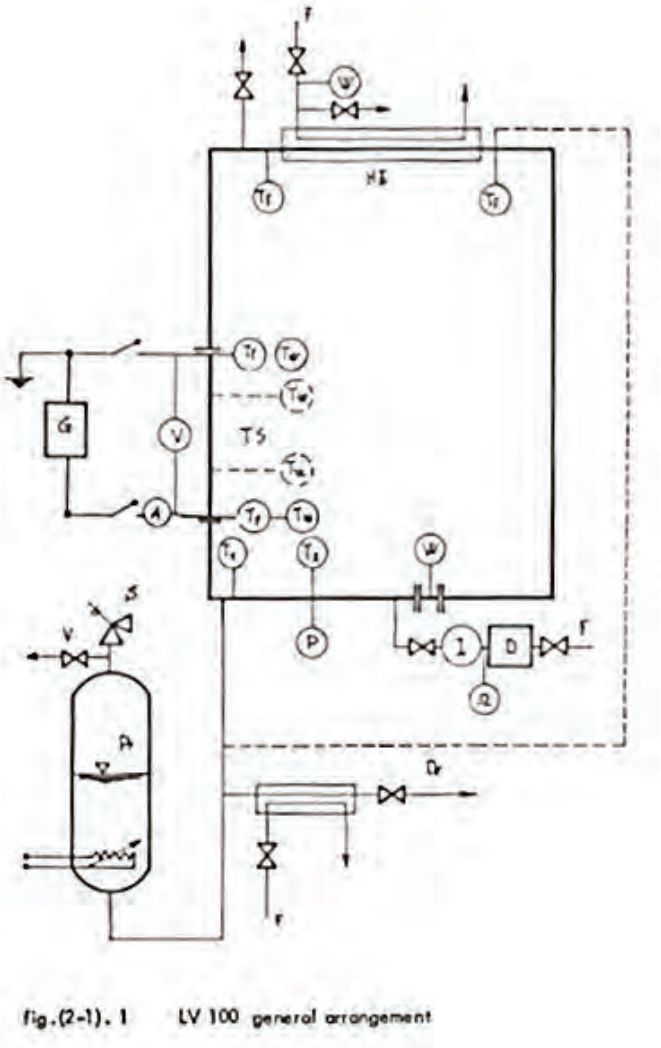


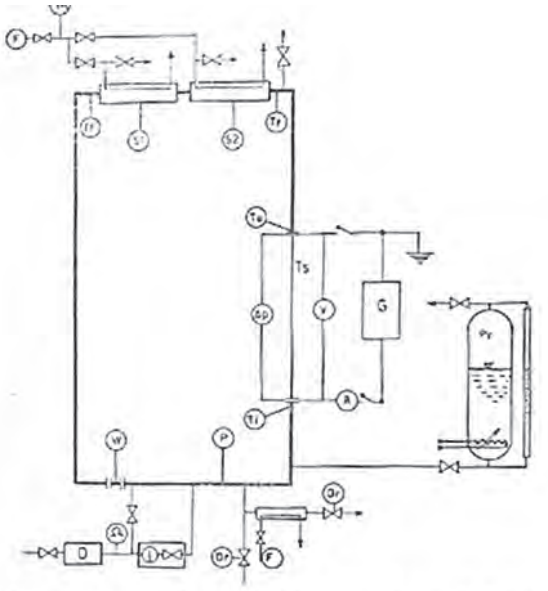
Fig. 1 - Circuito per lo studio dell’instabilità termoidraulica e della crisi termica.

ghezza attiva di 60 cm. Per far funzionare la struttura sottocritica venivano impiegate quattro sorgenti di Americio-Berillio. Il flusso di neutroni veniva misurato per mezzo di un rivelatore a Fluoruro di Boro, BF3.

In data 9 febbraio 1967 il Ministero dell’Industria, del commercio e dell’artigianato, di concerto con il Ministro segretario di Stato della Pubblica istruzione autorizzò il Politecnico di Torino all’esercizio del proprio reattore nucleare. Nella seconda metà degli anni ’960 e nei primi anni ’970 il gruppo di ricercatori di Ingegneria

nucleare crebbe considerevolmente, tra di essi Paolo Gregorio, Bruno Panella, Giovanni Del Tin, Evasio Lavagno e Silvio Corno, svolgendo attività di ricerca principalmente nel campo della termoidraulica degli impianti nucleari e della fisica dei reattori nucleari.

Furono in particolare costruite, oltre a quella mostrata nella Figura 1, altre apparecchiature sperimentali nel laboratorio dell'Istituto di Fisica tecnica e Impianti nucleari, tra le quali si possono citare un'apparecchiatura per studiare le rotture delle tubazioni del circuito primario di un reattore nucleare, progettata alla pressione di funzionamento dei reattori nucleari ad acqua pressurizzata, circa 160 bar, un'apparecchiatura per lo studio del pressurizzatore dei reattori nucleari ad acqua pressurizzata, un' apparecchiatura per lo studio della circolazione naturale, in Figura 2, alla base di sistemi di sicurezza altamente affidabili negli impianti nucleari, apparecchiature per studiare la circolazione di refrigerante senza pompe, assistita, mediante iniezione di gas, alcuni circuiti percorsi da acqua e aria per lo studio della fluidodinamica bifase e la messa a punto di strumentazione per la misura di portate bifase, venturimetri e sonde capacitive in Figura 3. Contestualmente furono messi a punto



A - amperometro; *D* - demineralizzatore; *Dr* - valvola di drenaggio; *F* - acqua di refrigerazione; *G* - dinamo; *I* - pompa acqua alimento; *P* - manometro; Δp - trasduttore pressione differenziale; *Pr* - pressurizzatore; *S* - scambiatore di calore; *T* - termocoppie; *Ts* - sezione di prova; *V* - voltmetro; *W* - misuratore di portata; Ω - misuratore conduttività acqua.

Fig. 2 - Circuito per lo studio della circolazione naturale.

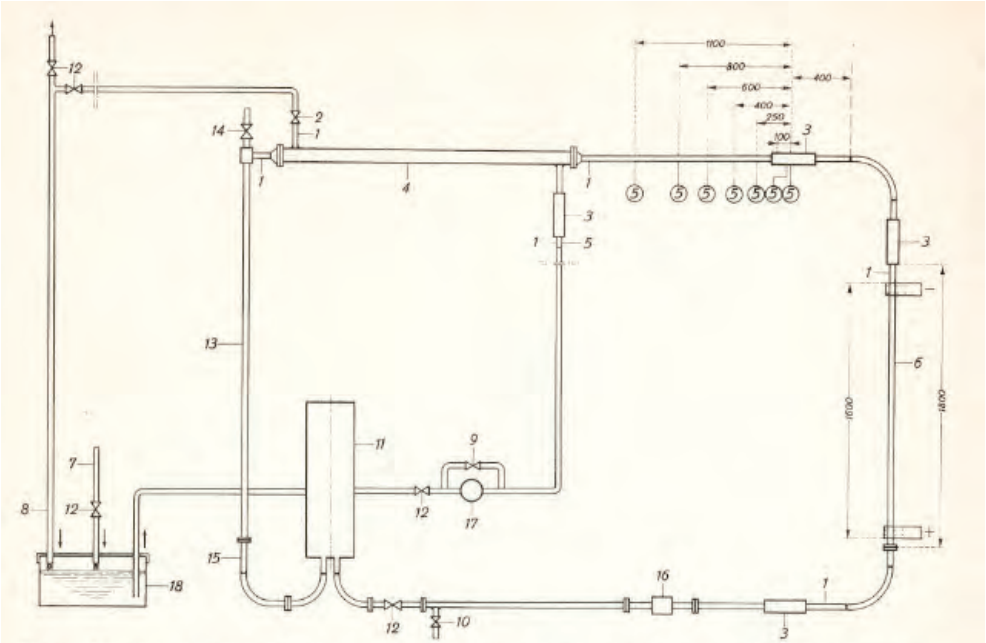


Fig. 1. - Schema del circuito sperimentale. 1 - Termocoppia; 2 - Valvola di regolazione secondaria; 3 - Venturimetro; 4 - Scambiatore; 5 - Presa pressione; 6 - Sezione riscaldata; 7 - Condotto acqua fredda; 8 - Condotto acqua calda; 9 - By-pass pompa; 10 - Valvola scarico; 11 - Pompa alta pressione; 12 - Valvola di regolazione; 13 - Ramo freddo; 14 - Valvola di sfiato; 15 - Attacco pressurizzatore; 16 - Mulinello; 17 - Pompa centrifuga; 18 - Vasca raccolta acqua circuito secondario.

Fig. 3 - Circuito per la messa a punto di venturimetri percorsi da miscele bifase.

modelli e codici di calcolo termofluidodinamici e neutronici, in condizioni dinamiche, per studi di sicurezza e per confrontarli con i risultati sperimentali. In seguito, furono acquisiti i codici di sicurezza americani RELAP5 e MELCOR, accreditati dagli Enti di controllo statunitensi, per simulare gli incidenti alla base del progetto dei reattori nucleari ad acqua.

In circa dieci anni furono così poste le basi per lo sviluppo dell’Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino, che fu sempre contraddistinta da una rilevante attività sperimentale nel laboratorio dell’Istituto di Fisica tecnica e Impianti nucleari, divenuto poi, come detto, Dipartimento di Energetica, con ricerche finalizzate essenzialmente allo studio della sicurezza dei reattori nucleari, e più recentemente all’investigazione dei reattori nucleari innovativi e della fusione nucleare, in un contesto sempre più internazionale.

Negli ultimi 20 anni ai ricercatori e docenti di Ingegneria nucleare già citati si sono aggiunti: Mario De Salve, Mario Malandrone, Piero Ravetto, Roberto Zanino, Franco Porcelli, Massimo Zucchetti, Andrea Carpignano, Laura Savoldi, Cristina

Bertani, Fabio Subba, Sandra Dulla, Giulia Sobrero, Roberto Bonifetto, Nicola Pedroni, Antonio Froio, Giuseppe Nallo, Raffaella Testoni.

Con riferimento alla fusione nucleare occorre menzionare la chiamata del Politecnico di Torino, presso il Dipartimento di Energetica del prof. Bruno Coppi, progettista dell'impianto IGNITOR, con Tokamak compatto ad alto campo magnetico.

Corsi di studio e docenti

Il Corso di studi di Ingegneria nucleare fu inaugurato, come detto, negli anni '960. A partire dall'Anno Accademico 1981-82 entrò in vigore il nuovo Piano Ufficiale del Corso di Laurea in Ingegneria Nucleare che prevedeva, oltre a numerosi insegnamenti presenti nel Corso di laurea in Ingegneria meccanica, i seguenti insegnamenti obbligatori con contenuti di Ingegneria nucleare o comunque specifici di tale Corso di laurea quinquennale: Fisica atomica, docente Francesca Demichelis, titolare anche di Misure nucleari, Chimica degli impianti nucleari, docente Rolando Rigamonti, al terzo anno; Fisica nucleare, docente Giuseppe Lovera, Fisica del reattore nucleare docente Luciano Orsoni, dirigente dell'Agip nucleare e autore di due testi di Fisica del reattore, poi sostituito da Silvio Corno, e Impianti nucleari, docente Carlo Arneodo, al quarto anno e infine Elettronica nucleare, docente Maurizio Vallauri, al quinto anno. Gli insegnamenti dei cinque indirizzi, elencati precedentemente, erano:

1) indirizzo termotecnico: Termocinetica degli impianti nucleari, Termoidraulica bifase degli impianti nucleari, Termotecnica del reattore, Tecnologie nucleari, Dinamica e controllo degli impianti nucleari, Complementi di impianti nucleari;
2) indirizzo meccanico: Termocinetica degli impianti nucleari, Tecnologia meccanica, Tecnica delle costruzioni industriali, Tecnologie nucleari, Calcolo strutturale di componenti nucleari, Complementi di impianti nucleari;
3) indirizzo neutronico: Termocinetica degli impianti nucleari, Calcolo numerico e programmazione, Reattori nucleari, Tecnologie nucleari, Dinamica e controllo degli impianti nucleari, Misure nucleari;
4) indirizzo dinamica e controllo: Calcolo numerico e programmazione, Protezione e sicurezza negli impianti nucleari, Dinamica e controllo degli impianti nucleari, Complementi di impianti nucleari;
5) indirizzo fisico: Fisica matematica, Strumentazione fisica, Reattori nucleari, Meccanica statistica applicata, Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici, Misure nucleari.

Molti docenti si sono alternati nell'insegnamento dei vari corsi indicati, specificamente nucleari, degli indirizzi. Si possono ricordare: Cesare Merlini per Tecnologie nucleari, Giovanni Del Tin per Complementi di impianti nucleari, Bruno Panella per Termotecnica del reattore, Piero Ravetto per Reattori nucleari, Evasio Lavagno per Termoidraulica bifase degli impianti nucleari, Mario De Salve per Dinamica e con-

trollo degli impianti nucleari, Mario Malandrone per Termocinetica degli impianti nucleari, Massimo Zucchetti per Protezione e sicurezza negli impianti nucleari, Aldo Pasquarelli per Sorgenti di radiazioni e macchine acceleratrici. In seguito, si sono aggiunti altri insegnamenti di indirizzo: Energetica e sistemi nucleari, docente Evasio Lavagno, Fisica dei reattori nucleari a fusione, docente Silvio Corno, Fisica e ingegneria dei plasmi, docente Franco Porcelli, Ingegneria dei reattori nucleari a fusione, docente Roberto Zanino, Sicurezza e analisi di rischio, docente Andrea Carpignano, Trasporto di particelle e radiazione, docente Gianni Coppa, Tecnologie e applicazioni nucleari, docente Mario De Salve. Negli ultimi anni, nel sito web del Politecnico di Torino, con riferimento all'orientamento *Sustainable nuclear energy* viene specificato che i Corsi sono impartiti in inglese e permettono di ottenere le competenze e gli strumenti conoscitivi per la progettazione di componenti e sistemi per reattori a fissione e fusione nucleare, affrontando le problematiche di radioprotezione, sicurezza e analisi di rischio e affidabilità degli impianti, come pure del ciclo del combustibile e materiali innovativi adatti all'utilizzo nel settore. Il primo anno si approfondiscono gli elementi di termomeccanica, la fisica dei reattori nucleari a fissione e fusione, i materiali avanzati per applicazioni nucleari, gli aspetti ingegneristici della fusione e fissione; il secondo anno gli aspetti di sicurezza degli impianti nucleari e la protezione dalle radiazioni, il ciclo del combustibile, le scorie e gli aspetti di decommissioning, i metodi Monte Carlo e gli aspetti di sicurezza e analisi di rischio. Nell'Anno Accademico 2022-23, restringendoci agli insegnamenti "nucleari", sono stati impartiti i seguenti insegnamenti, che continueranno ad essere impartiti anche nell'Anno accademico 2023-24: *Advanced materials for nuclear applications,* docente Monica Ferraris; *Nuclear fission reactor physics and transport theory*, docente Sandra Dulla; *Nuclear fusion reactor physics*, docente Fabio Subba, *Nuclear engineering lab and advanced heat transfer problems,* docente Laura Savoldi, *Nuclear fission plants*, docente Cristina Bertani, *Nuclear fusion reactor engineering,* docente Roberto Zanino, *Radiation protection and safety of nuclear plants*, docente Cristina Bertani, *Fuel cycle, waste and decommissioning*, docente Raffaella Testoni, *Monte Carlo methods, safety and risk analysis*, docenti Sandra Dulla e Nicola Pedroni, *Biomedical and industrial applications of radiation,* docente Gianni Coppa.

Conclusioni

Il Politecnico di Torino, insieme al Politecnico di Milano, è stata la prima università italiana a istituire Corsi di Ingegneria nucleare, iniziando con Corsi di perfezionamento post-laurea a metà degli anni '950, e proseguendo con Corsi di laurea quinquennale negli anni '960. Tali Corsi sono proseguiti fino ai giorni nostri, come orientamenti di Corsi di Ingegneria energetica, sviluppando insegnamenti di impiantistica nucleare, fisica dei reattori nucleari, sicurezza e analisi rischio, misure e strumentazione nucleari, materiali, con riferimento ai reattori a fissione e negli ultimi

anni anche a quelli a fusione. L'interesse da parte degli studenti si è mantenuto sufficientemente costante, nonostante le scelte politiche a livello nazionale. Contestualmente, in particolare nell'Istituto di Fisica tecnica e impianti nucleari, divenuto in seguito Dipartimento di Energetica, oggi Dipartimento Energia, molti docenti di tali insegnamenti hanno svolto ricerche sia sperimentali, nei laboratori dipartimentali, che teoriche, utilizzando i modelli e i codici di calcolo con le migliori prestazioni a livello internazionale.

Bibliografia di riferimento

Codegone C. e Arneodo C. 1958. *Le Applicazioni Industriali dell'Energia Nucleare*. Roma: Studium.

Farinelli U. 1965. *Il mestiere del ricercatore*. Milano: Tamburini Editore.

Farinelli U. (a cura di). 1968. *Dizionario di scienze e tecniche nucleari*. Milano: Il Saggiatore.

Marchis V. (a cura di). 2010. *Letture politecniche 3 (1957-1968)*. Torino: Centro Studi Piemontesi.

Panella B. 1981. *Reattori nucleari ad acqua leggera: termoidraulica del nocciolo*. Torino: Celid.

Panella B. 2016. Recent experiment of nuclear engineering education in Italy. In: *NeSTet 2016 Nuclear Education and Training*, Berlin, 22- 26 May, 400-408.

Perucca E. 1956. Energia nucleare, speranze, progetti. In: *Atti della Società Ingegneri e Architetti di Torino*. Gennaio, 1-3.

s.a. s.d. *Annuario del Politecnico di Torino per l'Anno accademico 1955-56*, Torino: Vincenzo Bona.

s.a. s.d. *Annuario del Politecnico di Torino per l'Anno accademico 1956-57*, Torino: Vincenzo Bona.

Andrea Battocchio

La fisica e l'ingegneria nucleare tra il CNRN e il CNEN

Nuclear Physics and Engineering between CNRN and CNEN

Sommario
Il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari-CNRN fu fondato nel 1952 per coordinare e supportare le ricerche italiane in campo nucleare. Queste ricerche abbracciavano diverse discipline dallo studio dei raggi cosmici, alla radiobiologia, alla geologia mineraria, ma il gruppo prevalente e più attivo era quello dei fisici, grazie anche al peso scientifico dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare che era stato inglobato nel CNRN. Dopo la decisione di realizzare le prime centrali nucleari in Italia il CNRN fu trasformato in Comitato Nazionale dell'Energia Nucleare-CNEN e l'ente cambiò radicalmente la sua struttura e i suoi obiettivi. Il CNRN, per la storia che aveva alle spalle il primo gruppo dirigente, era maggiormente orientato alla ricerca fondamentale, alla fisica nucleare e delle particelle e alla costruzione di macchine acceleratrici. Il CNEN invece, voluto dal legislatore con lo scopo di sviluppare le conoscenze tecniche per lo sfruttamento dell'energia nucleare, aveva un taglio più ingegneristico ed era più interessato alla risoluzione di problemi tecnologici e allo studio di nuove tipologie di reattori. Nel passaggio dal CNRN al CNEN le figure principali di riferimento rimasero le stesse: Edoardo Amaldi, Bruno Ferretti, Arnaldo Angelini, Basilio Focaccia e Felice Ippolito. Entrambe le anime, fisici e ingegneri, convissero per quasi 20 anni assistendo a una lenta trasformazione del Comitato dalla predominanza della fisica a quella dell'ingegneria.

Abstract
The *Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari*-CNRN was founded in 1952 to coordinate and support Italian research in the nuclear field. These research activities spanned various disciplines, from the study of cosmic rays to radiobiology and geology. However, the predominant and most active group was that of physicists, thanks in part to the scientific significance of *the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*-INFN, which had been incorporated into the CNRN. Following the decision to build the first nuclear power plants in Italy, the CNRN was transformed into the *Comitato*

Nazionale per l'Energia Nucleare-CNEN, leading a radical change in structure and objectives. The CNRN, influenced by its historical background and its initial leadership, was more oriented towards fundamental research, nuclear and particle physics, and the construction of particle accelerators. In contrast, the CNEN, on the other hand, was established with the aim of developing technical knowledge for the utilization of nuclear energy. It had a more engineering-oriented approach and was more focused on solving technological problems and studying new types of reactors. During the transition from CNRN to CNEN, the key figures remained the same: Edoardo Amaldi, Bruno Ferretti, Arnaldo Maria Angelini, Basilio Focaccia, and Felice Ippolito. Both the physics and engineering components coexisted for almost 20 years, witnessing a gradual transformation of the nuclear Committee from a predominance of physics to that of engineering.

Introduzione

La storia dell'energia nucleare in Italia è stata caratterizzata da tante contrapposizioni: tra industrie private e statali, tra gruppi statali tra loro, tra tecnologia americana e britannica, tra politici locali e nazionali, tra progressisti e ambientalisti e anche tra fisici e ingegneri, i primi dediti principalmente alla ricerca nucleare fondamentale, i secondi alla ricerca applicata e tecnologica. Nei primi anni del secondo dopoguerra in Italia l'ingegneria nucleare era una disciplina emergente, ancora priva di facoltà universitarie dedicate, mentre la fisica nucleare vantava una consolidata reputazione grazie ai numerosi risultati ottenuti, già prima dell'inizio del conflitto, soprattutto nel campo dei raggi cosmici e delle particelle. La convivenza di queste due anime nello stesso ente nucleare, prima il CNRN e poi il CNEN, non fu facile e influenzò notevolmente l'evoluzione della storia del nucleare in Italia.

La nascita del CNRN

Appena conclusa la seconda guerra mondiale la priorità dell'Italia era la ricostruzione degli edifici e delle infrastrutture, ma anche della società e delle istituzioni. La fisica nucleare italiana, che negli anni '30 aveva raggiunto l'apice con il premio Nobel a Enrico Fermi (1938), era stata decimata dopo la sua fuga all'estero e quella di tanti altri scienziati. Alcuni di essi non tornarono mai più e a ricostruire la fisica in Italia, come racconta Edoardo Amaldi (Amaldi, 1979), si dedicò chi era rimasto. Tra questi Bruno Ferretti, Antonio Rostagni, Enrico Medi e Amaldi stesso, che costituì a Roma nel 1945 in seno al Consiglio Nazionale delle Ricerche-CNR, il primo istituto di ricerca, il Centro di Studio della Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari. Al nuovo Centro di studi nucleari si rivolse Giuseppe Bolla, docente di fisica sperimentale a Milano, per cercare una collaborazione per fondare nel capoluogo lombardo, insieme a Giorgio Salvini, Carlo Salvetti (Battocchio e Lalli, 2024) e Mario Silvestri, il Centro Informazioni Studi Esperienze-CISE, una Società partecipata da alcune im-

prese private, con lo scopo di studiare le applicazioni civili dell'energia generata da fissione. I due gruppi, di Roma e di Milano, avviarono effettivamente una collaborazione, Amaldi e Ferretti si recarono più volte a Milano per tenere lezioni di fisica dei neutroni al CISE, ma volutamente mantennero separati i rispettivi ambiti di ricerca: «Fin dall'inizio vi fu un accordo tra i fisici del CISE e quelli del Centro di Studio della Fisica Nucleare e delle Particelle Elementari del CNR. Le ricerche di fisica nucleare applicata erano l'argomento specifico del CISE e quelle di fisica nucleare fondamentale l'argomento istituzionale del Centro di Roma» (Amaldi, 1979, p. 38). Una divisione dei compiti che segnò per lungo tempo la storia del nucleare in Italia.

L'anno successivo i fisici romani Marcello Conversi, Ettore Pancini e Oreste Piccioni portarono a termine lo storico esperimento che «diede vita alla moderna fisica delle particelle»[1] e che indirizzò lo sviluppo della ricerca fondamentale in Italia sulla strada della fisica delle particelle elementari. Non avendo però grandi mezzi tecnologici a disposizione, né risorse per la costruzione degli acceleratori necessari a formare le nuove particelle, i fisici italiani si concentrarono soprattutto sullo studio dei raggi cosmici. Al Centro di Roma si affiancarono altri Centri universitari e il nuovo Laboratorio della Testa Grigia sul monte Cervino, che nel 1951 si strutturarono nell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare-INFN sotto il controllo del CNR (Battimelli *et al.,* 2001, pp. 38-71). Nei primi anni '50, anche il Governo italiano iniziò a interessarsi alle ricerche nucleari e istituì il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari-CNRN che avrebbe dovuto coordinare e finanziare le attività di ricerca applicata del CISE e quelle di ricerca fondamentale dell'INFN. Le aspirazioni iniziali dei due gruppi di ricerca del CNRN erano speculari, il CISE stava lavorando per costruire un reattore nucleare prototipo per la produzione di energia elettrica, l'INFN ambiva a costruire un acceleratore di particelle per riprodurre in laboratorio interazioni tra particelle ad alte energie.

Il CNRN di Giordani (1952-1956) e il predominio della fisica

Alla presidenza del CNRN fu chiamato Francesco Giordani, un illustre docente di chimica nella Scuola Politecnica di Napoli e poi presso la Facoltà di Scienze dello stesso Ateneo, già presidente del CNR e prima ancora dell'Istituto per la Ricostruzione Industriale-IRI. Nella Commissione Direttiva, a tutela di entrambi gli interessi di ricerca, fondamentale e applicata, furono nominati[2] tre fisici, Amaldi, Ferretti e Medi, e tre ingegneri, Vittorio De Biasi, consigliere delegato della Edison principale finanziatore del CISE, Modesto Panetti, docente al Politecnico di Torino, e Arnaldo Angelini, vicepresidente di Finelettrica, oltre a un alto dirigente del Ministero dell'Industria e al geologo Felice Ippolito[3]. A causa delle diversità di vedute tra i due enti e di una scelta che Silvestri definì "fatale" per la successiva evoluzione della politica nucleare italiana (Silvestri, 1968, p. 102), i rapporti tra CNRN e CISE si deteriorarono presto. Il CISE era espressione di un gruppo di aziende industriali,

in maggioranza con sede nel nord Italia, che non faceva mistero di voler investire in ricerca nucleare per poter presidiare il nascente mercato della nuova forma di energia In sostanza un investimento a scopo di lucro che al CNRN non piaceva perché, assecondando le volontà del CISE i soldi pubblici destinati alla ricerca avrebbero avvantaggiato soltanto alcune aziende (Paoloni, 1992b). I ricercatori del CISE avevano in animo di progettare e costruire un proprio particolare tipo di reattore, alimentato a uranio naturale, moderato ad acqua pesante e raffreddato a nebbia[4], chiamato CIRENE-CIse REattore a NEbbia, con l'obiettivo ultimo di porre le basi per una futura industria nucleare italiana non vincolata a licenze estere. A dispetto di quest'aspettativa, il CNRN decise nel 1955 di acquistare dagli Stati Uniti un reattore di ricerca alimentato a uranio arricchito, moderato e raffreddato ad acqua pesante. Fu questa la scelta fatale secondo Silvestri, perché i fondi della ricerca applicata dovevano servire ad acquisire le conoscenze per realizzare un reattore e non a comprare un reattore già pronto. Secondo il CNRN, invece, il reattore una volta installato sarebbe stato immediatamente utilizzabile per le esperienze di fisica con un enorme risparmio di tempo. I punti di vista erano abbastanza inconciliabili. Per ospitare il reattore americano fu costruito il nuovo Centro di ricerche di Ispra, sul lago Maggiore, e man mano che questo assumeva forma le relazioni tra CISE e CNRN peggiorarono fino a interrompersi del tutto. Il CISE si divise tra chi rimase fedele a oltranza all'originaria idea di progettare un reattore autonomamente, grazie ai contratti di ricerca stipulati con la neonata Commissione Europea per l'Energia Atomica-Euratom, e chi si trasferì al CNRN per lavorare sul nuovo reattore, tra questi Salvetti che divenne il primo direttore del Centro di Ispra (Silvestri, 1968).

L'INFN, da parte sua, aveva l'obiettivo primario di realizzare una macchina acceleratrice per riprodurre in maniera sistematica quegli eventi che fino ad allora erano stati raccolti in maniera accidentale attraverso i raggi cosmici e, grazie agli sforzi finanziari del CNRN, riuscì nell'impresa di costruire un elettrosincrotrone da 1 GeV nel nuovo centro di ricerche di Frascati.

Parallelamente gli Stati europei si stavano accordando per costituire il Consiglio Europeo per la Ricerca Nucleare-CERN, cui l'Italia partecipava sempre attraverso il CNRN, con lo scopo di costruire un grande acceleratore, che nessun Paese europeo avrebbe mai potuto realizzare da solo: un protosincrotrone da quasi 30 GeV che, a differenza del sincrotrone di Frascati, non accelerava elettroni ma protoni.

Il CNRN di Focaccia (1956-1958) e il problema della ricerca applicata

A giugno 1956 Giordani si dimise da Presidente del CNRN e al suo posto fu nominato l'ingegner Basilio Focaccia; anche la Commissione Direttiva fu rinnovata con la conferma di Amaldi, Angelini, Ferretti, Medi e Ippolito e il nuovo ingresso del fisico Antonio Carrelli, dell'ingegnere Franco Castelli e del chimico Vincenzo Caglioti[5]. Fino ad allora, il CNRN aveva investito il 41% dei suoi fondi in ricerca

fondamentale, compresa la costruzione del sincrotrone, e il 30% in ricerca applicata, compreso l'acquisto del reattore di Ispra (Ippolito, 1965). Gli scopi principali del CNRN erano elencati nell'articolo 2 del decreto istitutivo: «Il Comitato ha lo scopo: 1) di effettuare studi, ricerche e sperimentazioni nel campo della fisica nucleare; di promuovere il coordinamento delle iniziative che potranno sorgere nello stesso campo di studi e ricerche, di attuare eventualmente tale coordinamento nell'ambito delle leggi vigenti; 2) di promuovere e incoraggiare lo sviluppo delle applicazioni industriali dell'energia nucleare»[6]. La fisica nucleare e le applicazioni industriali non erano sullo stesso piano: il CNRN doveva occuparsi direttamente della ricerca fondamentale di fisica, limitandosi solo a «promuovere ed incoraggiare» la ricerca applicata svolta da altri enti o aziende, come ad esempio il CISE.

Le Ricerche nucleari, da cui derivava il nome del Comitato, dovevano quindi vertere più sulla fisica che sull'ingegneria, sulla ricerca fondamentale più che sulla ricerca applicata. Secondo questa asimmetria, le fasi di assimilazione tecnica, di formazione del *know-how*, e a maggior ragione di sviluppo ingegneristico dei sistemi per la produzione e lo sfruttamento dell'energia nucleare non erano considerate di competenza diretta del CNRN. L'addestramento del personale del CNRN impiegato nella ricerca applicata era finalizzato a saper far funzionare e a saper utilizzare un reattore, non a saperlo costruire. Tra gli obiettivi sottostanti all'acquisto del reattore di ricerca di Ispra, l'attenzione era posta sullo «studio dei problemi tecnologici, che si presenta[va]no nei reattori destinati a produrre energia per usi industriali» (CNRN, 1958, p. 8), più che sull'apprendere come gestire quei problemi a monte, nella fase di ingegnerizzazione e progettazione.

A ogni modo l'interruzione dei rapporti con il CISE precluse al CNRN la possibilità di ottemperare al secondo scopo del decreto istitutivo, perché nessun altro ente italiano era in grado di occuparsi delle applicazioni industriali del nucleare. Focaccia, senatore e ingegnere, e la nuova Commissione Direttiva si accorsero di questa difficoltà (CNRN, 1958, p. VII) ed erano coscienti che «mentre nel campo delle ricerche fondamentali di fisica nucleare l'Italia [aveva] sempre potuto dire la sua parola, grazie ai nuclei di studiosi raccolti attorno ai centri di studio del CNR prima e dell'INFN dopo, nel campo della ricerca applicata ben poco si [era] fatto» (CNRN, 1958, p. 51). La Commissione Direttiva decise così di preparare un piano quinquennale per potenziare la ricerca applicata, con l'obiettivo di sviluppare un reattore prototipo nazionale.

Il sincrotrone di Frascati divenne operativo nel febbraio 1959 (Cicognetti, 1992) e nello stesso anno anche la grande macchina europea del CERN entrò in funzione, cosicché, alla fine degli anni '50, i fisici nucleari italiani avevano a disposizione ben due acceleratori, uno per elettroni e uno per protoni, potendo così considerare conclusa la fase della "ricostruzione" (Amaldi, 1979).

La ricerca applicata, invece, poteva contare solo sul Centro di Ispra. Un Centro in fase di allestimento, con i canali di irraggiamento del reattore, critico da marzo 1959,

utili soprattutto alla ricerca di fisica delle basse energie, ma ancora privo di laboratori per esperienze tecnologiche e di ingegneria del reattore.

Ciononostante nel 1959 il CNRN decise di cambiare strategia: cedere il Centro di Ispra a Euratom, che aveva la necessità di organizzare la propria attività di ricerca in Centri comuni, e costruirne uno nuovo nei pressi di Roma, alla Casaccia. La decisione provocò moltissimi malumori tra cui le dimissioni di Salvetti e il disappunto dei rappresentanti dell'industria, perché l'Italia si privava di un Centro di ricerca applicata, situato vicino alle grandi realtà industriali del nord, per realizzarne un altro più lontano con un nuovo esborso di risorse.

Il CNEN di Ippolito (1960-1963) e il "patto tra ingegneri e fisici"

Nel 1960 il CNRN fu trasformato in Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare-CNEN[7]. Il cambio della finalità nel nome, da Ricerche Nucleari a Energia Nucleare, era indicativo del principale compito cui esso era chiamato e infatti, tra i vari scopi assegnati, il primo era stato così ampliato: «Il CNEN, ai fini delle applicazioni pacifiche della energia nucleare, ha lo scopo: 1) di effettuare e promuovere studi e sperimentazioni curandone l'opportuno coordinamento nel campo: a) della fisica, della chimica, della matematica, della biologia, della medicina e della ingegneria nucleare e relative applicazioni; b) della ricerca e preparazione dei minerali, delle materie grezze e delle materie fissili speciali, delle materie radioattive e della produzione di esse». Il CNEN doveva quindi occuparsi direttamente di tutte le discipline inerenti l'applicazione pacifica dell'energia nucleare, includendo esplicitamente non soltanto l'ingegneria nucleare ma anche il ciclo del combustibile. Per assicurare il controllo diretto della politica sulla nuova fonte di energia, la presidenza del CNEN era affidata al Ministro dell'Industria mentre i componenti della Commissione Direttiva erano quasi tutti provenienti dal CNRN, Amaldi, Ferretti, Angelini, Focaccia, Caglioti e Ippolito; gli unici nuovi membri erano i dirigenti ministeriali e Salvetti[8].

La legge istitutiva attribuì al CNEN anche un finanziamento pluriennale sulla base del piano quinquennale preparato dal CNRN di Focaccia. Presero così forma i primi consistenti programmi di ricerca applicata legati alla produzione di energia, su tutti il Programma Reattore Organico-PRO, designato a diventare il reattore nazionale italiano, e i progetti per il trattamento e la rifabbricazione degli elementi di combustibile, oltre alla costruzione del nuovo Centro della Casaccia, dove si sarebbe realizzata la maggior parte delle esperienze. La relativa abbondanza di fondi fece nascere anche nuovi grandi progetti a sostegno della fisica fondamentale come l'anello di accumulazione, che sfruttava l'idea di far collidere un fascio di elettroni con un fascio di positroni per aumentare l'energia complessiva dell'urto tra particelle: prima il prototipo, Ada, e poi la macchina vera e propria, Adone, da 1,5 GeV. La realizzazione di Ada nel 1961 fu di per sé un risultato storico che confermava l'eccezionale livello della ricerca fondamentale italiana nel campo delle alte energie. Fu in questa

fase che Ippolito, incaricato di curare l'attuazione del piano nel ruolo di segretario generale, acquisì sempre più potere ergendosi a garante di un «patto tra ingegneri e fisici delle alte energie» (Paoloni, 1992a, p. 48). La distribuzione media dei finanziamenti negli anni 1960-1963 si attestò al 24% per la ricerca fondamentale e al 45% per la ricerca applicata (CNEN, 1963). Un sensibile riassestamento in favore della ricerca applicata dovuto a quel "patto" che, per usare le parole di Ippolito, «non era proprio un patto, piuttosto un tacito accordo sull'uso di quei finanziamenti» (Paoloni, 1992a, p. 48). Ippolito, schierandosi dalla parte degli ingegneri e di chi voleva che il CNEN si occupasse maggiormente dello sviluppo dell'energia nucleare, era riuscito a trovare un equilibrio tra le esigenze della ricerca applicata e l'attenzione alla ricerca fondamentale. Egli si considerava un ingegnere-geologo che aveva capito i problemi dei fisici e dato che «c'era bisogno dei fisici» (Paoloni, 1992a, p. 48) era sempre andato «incontro ai loro desideri, nei limiti del possibile».

Ippolito fu destituito nell'agosto 1963 e arrestato l'anno successivo.[9] Durante le vicende processuali i fisici gli riservarono sempre una grande riconoscenza; oltre 200 fisici, tra docenti universitari e ricercatori, firmarono un appello in suo sostegno (Barrese, 1981, p. 10) perchè, dal loro punto di vista, aveva fatto in modo che il CNEN si sostituisse agli organismi competenti nel finanziare la ricerca in fisica delle alte energie, il settore scientifico che aveva dato maggior lustro all'Italia nel mondo, implicitamente ammettendo, dal punto di vista degli ingegneri, la diversione di altrettanti finanziamenti dalle ricerche per l'ingegneria nucleare e le relative applicazioni.

Il CNEN di Salvetti (1963-1971) e la separazione tra fisica e ingegneria nucleare

L'arresto di Ippolito paralizzò il CNEN per un paio di anni, durante i quali emersero molti problemi irrisolti tra cui il riordino dell'INFN e l'insoddisfazione dei ricercatori delle basse energie, che si sentivano discriminati perché i grandi investimenti erano stati destinati prevalentemente a macchine e strumenti per le alte energie.

Il riordinamento dell'INFN, previsto dalla legge istitutiva del 1960, durante la gestione di Ippolito non era mai stato nemmeno discusso nella Commissione Direttiva; evidentemente lo stato di fatto, che garantiva i finanziamenti del CNEN grazie al «patto tra ingegneri e fisici» (Paoloni, 1992a) e, nello stesso tempo, una sufficiente autonomia amministrativa dell'INFN per gestirli, era gradito a tutti. Con la nuova gestione l'eccessivo peso della ricerca fondamentale emerse come uno dei principali problemi del Comitato. Era pertanto «opportuno per il futuro correggere una situazione che da un lato [aveva] visto la spesa destinata dal CNEN alla ricerca fondamentale forse in una misura percentualmente più ampia di quanto destinato da similari enti atomici stranieri, dall'altro [aveva] visto il CNEN concentrare gli sforzi nel campo della ricerca fondamentale per la realizzazione di grandi mezzi strumentali e in ricerche non tutte strettamente attinenti ai programmi e ai compiti di istituto del CNEN stesso» (Malfatti *et al*., 1964, p. 5).

Nel 1965 la Commissione Direttiva fu quasi totalmente rinnovata. A parte la presidenza, ancora in capo al Ministro dell'Industria e quindi soggetta alla variabilità governativa, Ippolito fu sostituito da un funzionario ministeriale e Amaldi, Ferretti e Focaccia dal fisico Antonio Rostagni e dagli ingegneri Giulio Battistini e Riccardo Levi. Completavano la Commissione il chimico Quilico, altri due dirigenti ministeriali e i confermati Angelini e Salvetti[10], quest'ultimo nominato vicepresidente, che divennero la figure di riferimento del nuovo CNEN.

Il piano quinquennale, promosso da Focaccia e curato da Ippolito, si era concluso nel 1963 e la prima occupazione della nuova Commissione fu rivedere la programmazione della ricerca applicata e le sue modalità di finanziamento, perché i costi di realizzazione di un qualsiasi reattore prototipo di nuova concezione esorbitavano le potenzialità di un ente di ricerca italiano. Il CNEN iniziò così a contemplare la possibilità di una compartecipazione dell'industria, sia pubblica sia privata, ai vari programmi. Se al tempo di Giordani l'industria era quasi boicottata, con l'accrescimento dei costi diventò sempre più un elemento di valutazione importante per la fattibilità di un progetto, fino a diventare una *conditio sine qua non* per la sua prosecuzione. Il prezzo da pagare era la rinuncia a quei programmi di ricerca che non avevano un tempo di rientro dell'investimento ragionevole o ancor peggio che non lo avevano affatto, come nel caso della ricerca fondamentale nelle alte energie.

La revisione dei programmi di ricerca applicata aveva permesso al CNEN di riallacciare le relazioni con il CISE e di coinvolgere i suoi esperti nelle commissioni di revisione, che convennero di promuovere il reattore CIRENE a principale programma del CNEN, a scapito del PRO, il reattore a fluido organico ideato in precedenza per diventare il reattore nazionale italiano. L'esperienza acquisita dagli ingegneri del CISE avrebbe colmato la carenza di attività di ricerca in quel tipo di reattore. Fu così varato il secondo piano quinquennale del CNEN per gli anni 1965-1969, incentrato non più sul reattore a fluido organico ma sul CIRENE e in generale sulla ricerca tecnologica di base attuata in ambito ingegneristico. Lo sfruttamento dell'energia nucleare e il supporto dell'industria nazionale divennero i principi guida per indirizzare i finanziamenti del CNEN (CNEN, 1966), e si fece sempre più strada la necessità (CNEN, 1964, p. 9) di ridimensionare la quota di risorse destinata alla ricerca fondamentale, cui avrebbero potuto contribuire altri enti come le Università e il CNR (Salvetti, 1966).

In questo clima, proprio con il CNR accadde un incidente istituzionale quando, nella "Relazione annuale sullo stato della ricerca scientifica e tecnologica" il presidente Caglioti, già membro della Commissione Direttiva del CNEN, scrisse: «Per quanto riguarda le attività di ricerca del CNEN si raccomanda vivamente che si continui a dare il maggiore impulso possibile alle ricerche fondamentali e a quelle relative alle applicazioni delle radiazioni» (Caglioti, 1966, p. 15). L'affermazione contrastava nettamente con la direzione che il CNEN stava prendendo, perché, sebbene

la linea di Salvetti non fosse unanimemente condivisa, era comunque largamente maggioritaria in Commissione Direttiva. Era Rostagni, in particolare, a manifestare contrarietà e a insistere per una maggior salvaguardia della ricerca fondamentale, come negli anni precedenti avevano fatto Amaldi e Caglioti stesso, supportati dal livello di eccellenza che la fisica italiana delle alte energie aveva raggiunto. Il tema della priorità della ricerca fondamentale tra le attività del CNEN venne poi ripreso incidentalmente anche dal Governo nel "Programma di sviluppo economico per il quinquennio 1966-1970": «L'attività del CNEN riguarderà principalmente la ricerca fondamentale nel campo della fisica nucleare affidata all'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare»[11]. Se quest'ultima svista poteva essere considerata involontaria, o direttamente dipendente dalla prima, diverso valore aveva la considerazione di Caglioti, che ben conosceva la materia. La sua forzatura tendeva a enfatizzare il ruolo dell'INFN nell'ambito della totalità delle ricerche nucleari, poichè la «graduale separazione che si [era] verificata negli ultimi anni tra ricerca fondamentale (INFN) e ricerca applicata e orientata del CNEN» (CNEN, 1967, p. 13) era fonte di preoccupazione non solo per l'Istituto di fisica nucleare ma anche per il CNR. Probabilmente perchè, in vista del prossimo riordinamento dell'INFN, non vi erano ancora garanzie sulla continuità dei finanziamenti e sulla modalità per l'utilizzo dei laboratori di Frascati.

La pressione politica in parte funzionò perché quando nel 1967 l'INFN fu riordinato, come ente di diritto pubblico ma ancora senza personalità giuridica, ottenne che il suo contributo annuale fosse deciso direttamente dal Governo, quindi svincolato dal bilancio del CNEN e dalle linee programmatiche della Commissione Direttiva, che aveva ormai rivisto l'impostazione dei propri finanziamenti. Inoltre il CNEN fu obbligato a cedere all'INFN il controllo scientifico del centro di Frascati.

Alla fine degli anni '60 era ormai evidente che lo sviluppo del nucleare aveva portato a una specializzazione tale che la convivenza di ricerca nucleare pura e applicata nello stesso organismo era problematica. Il quinquennio 1965-1969 si era aperto con la necessità di mantenere una «interdipendenza fra ricerca pura e applicata» (Medici, 1964, p. 11), perché «la ricerca [era] una sola, e ogni distinzione [aveva] carattere provvisorio ed occasionale», in contrapposizione al maggiore peso dato nei precedenti cinque anni alla fisica rispetto all'ingegneria nucleare, e si concluse con la constatazione di Salvetti: «l'evoluzione delle tecnologie nucleari in questi anni trascorsi, ha portato come conseguenza un sempre maggiore distacco della ricerca applicata dalla ricerca fondamentale nel settore nucleare. D'altra parte anche la ricerca fondamentale, tesa a obiettivi di conoscenza pura dell'intima costituzione della materia, si è andata sempre più specializzando anche a causa della complessità dei mezzi strumentali impiegati per la sperimentazione» (CNEN, 1971, p. 6).

La tendenza a dividere la ricerca fondamentale da quella applicata, la fisica nucleare dall'ingegneria, era quindi sempre più spinta e sentita; la separazione formale

si compì alla fine del 1971 con la legge di riforma del CNEN[12] che stabiliva la completa indipendenza dell'INFN. L'Istituto venne dotato di personalità giuridica e bilancio autonomo e acquisì dal CNEN i beni patrimoniali funzionali allo svolgimento dei suoi compiti di ricerca, in particolare i laboratori di Frascati, avviandosi su una nuova strada indipendente ma altrettanto ricca di successi scientifici.

Conclusioni

All'inizio dell'era nucleare, sotto il grande cappello della fisica nucleare venivano considerate anche tutte le sue possibili applicazioni e con ricerche nucleari si intendeva qualsiasi tipo di ricerca che avesse attinenza con i nuclei. Figlio di quel periodo era anche il decreto istitutivo del CNRN, che lasciava aperte diverse interpretazioni sulla funzione del Comitato. Da una parte Bolla e il CISE, secondo cui il decreto «confondeva ricerca fondamentale ed energia nucleare, presumibilmente secondo i desideri di Amaldi e Ferretti, mentre avrebbe dovuto occuparsi esclusivamente di quest'ultima, poiché la prima era di competenza del Consiglio delle ricerche» (CNEN, 1964, p. 8), e dall'altra l'INFN che si considerava il principale interlocutore del CNRN.

Nei primi anni di vita del CNRN prevalse nettamente quest'ultima perchè, secondo l'impostazione data da Giordani, la ricerca applicata consisteva principalmente nell'eseguire esperienze con i fasci di particelle provenienti dai reattori di ricerca, e l'idea di acquisire il *know-how* per costruire un reattore per lo sfruttamento industriale dell'energia nucleare era molto lontana dai suoi intendimenti (Curli, 2000, p. 155). Con la trasformazione del CNRN in CNEN, il Comitato cambiò non solo il nome ma anche lo scopo e i dirigenti del CNEN presero coscienza della necessità di aumentare gli investimenti in ricerca applicata per permettere l'«evoluzione del processo tecnologico al fine di rendere il costo dell'energia nucleare competitivo con quello dell'energia tradizionale» (Ippolito, 1965, p. 32). Grazie all'intesa tra ingegneri e fisici nucleari, impersonata dalle due volitive personalità di Ippolito e Amaldi, l'Italia poté procedere nell'esecuzione di un vero programma nucleare. La fisica fondamentale rimaneva comunque un compagno di strada dispendioso per l'ingegneria nucleare, perché per mantenere le sue ricerche a un elevato livello internazionale aveva bisogno di macchine acceleratrici sempre più potenti e laboratori per analisi dei dati sempre più avanzati.

In Italia la fisica nucleare è stata storicamente dominante, non solo rispetto agli altri settori della fisica, ma anche rispetto alle altre branche scientifiche (Cambrosio, 1985) e l'ingegneria nucleare, una disciplina nuova, senza un *background* e senza nemmeno dei corsi di laurea attivi, faticò a emergere. Questo fu uno dei motivi per cui l'Italia rimase indietro rispetto ad altri Paesi nella capacità di proporre una tecnologia nucleare propria. La soluzione per recuperare terreno fu quella di concentrare tutti gli sforzi economici in pochi specifici progetti sulla produzione di energia e il CNEN non poté più garantire alla fisica fondamentale uno spazio adeguato, così, nonostante alcune resistenze interne, l'INFN fu separato e dotato di mezzi e risorse proprie.

I primi fondi investiti dal Governo italiano nel nucleare furono destinati alla fisica fondamentale. Grazie a quei fondi vennero raggiunti risultati importanti che richiamarono altre risorse, che a loro volta, visti gli sviluppi dell'ingegneria nucleare furono usati anche per quest'ultima. Quando l'attenzione del CNEN si concentrò più sull'ingegneria, i fondi dedicati alla fisica fondamentale sembrarono sottratti alla ricerca applicata, nonostante il loro ammontare fosse stato determinato anche dai risultati ottenuti dalla fisica. Nei primi vent'anni di storia nucleare italiana, è quindi difficile stabilire quanto i fondi destinati alla ricerca fondamentale siano stati sottratti alla ricerca applicata, da quanto i risultati della ricerca fondamentale abbiano attratto fondi da destinare anche alla ricerca applicata, ma la situazione creatasi, nel CNRN e nei primi anni di vita del CNEN, era certamente un'anomalia italiana che caratterizzò lo sviluppo del nucleare in quel ventennio.

Bibliografia

Alvarez L. 1968. Recent developments in particle physics. Nobel Lecture. Science, New Series, 165(3898), 1071-1091.

Amaldi E. 1979. Gli anni della Ricostruzione. Scientia, 114, 29-50, 421-438.

Barrese O. 1981. *Un complotto nucleare: Il caso Ippolito*. Roma: Newton Compton.

Battimelli G., De Maria M., Paoloni G. 2001. *L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Storia di una comunità di ricerca*. Roma-Bari: Laterza.

Battocchio A., Lalli R. 2024. Carlo Salvetti, un fisico teorico prestato all'ingegneria nucleare. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Caglioti V. 1966. Relazione generale sullo stato della ricerca scientifica e tecnologica-1966. Atti Parlamentari - Camera dei Deputati - IV Legislatura Doc. XV N. 3-bis.

Cambrosio A. 1985. The Dominance of Nuclear Physics in Italian Science Policy. Minerva, 23(4), 464–484.

Cicognetti C. 1992. I Laboratori Nazionali di Frascati. In: *Energia, ambiente, innovazione: Dal Cnrn all'Enea* (a cura di G. Paoloni). 209-217. Roma-Bari: Laterza.

CNEN. 1963. Consuntivo finanziario 1959/60-1962/93. Archivio ENEA. Busta 1426 - Doc. CNEN (63) 108.

CNEN. 1964. Verbale della diciannovesima riunione della Commissione Direttiva del CNEN (21/02/1964). Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo CNEN - Serie 2.

CNEN. 1966. Osservazioni in merito alla «Relazione generale sullo stato della ricerca scientifica e tecnologica 1966». Archivio ENEA. Busta 1440 - Doc. CNEN (66) 395.

CNEN. 1967. Verbale della 127^ riunione della Commissione Direttiva del 11 maggio 1967 della Commissione Direttiva del CNEN. Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo CNEN - Serie 2.

CNEN. 1971. Le attività del CNEN nel quinquennio 1965-1969. Roma: CNEN.

CNRN. 1958. Un piano quinquennale per lo sviluppo delle ricerche nucleari in Italia. Roma: Tipografia Pio X.

Curli B. 2000. *Il progetto nucleare italiano (1952-1964)*. Soveria Mannelli: Rubbettino.

Ippolito F. 1965. *La politica del CNEN (1960-1963)*. Milano: Il Saggiatore.
Malfatti F., Ferretti B., Marinone F., Salvetti C. 1964. Relazione della Commissione Consultiva per lo studio e la predisposizione dei provvedimenti da adottare per la riorganizzazione della struttura del CNEN. Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo personale - s.6, f. 50.
Medici G. 1964. Rapporto sull'energia nucleare in Italia. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.
Paoloni G. 1992a. A colloquio con F. Ippolito. In: *Energia, ambiente e innovazione: Dal Cnrn all'Enea* (a cura di G. Paoloni). 44-52. Roma-Bari: Laterza.
Paoloni G. 1992b. Dal Cnrn al Cnen. 1952-1960. In: *Energia, ambiente, innovazione: Dal Cnrn all'Enea*. (a cura di G. Paoloni). 5-44. Roma-Bari: Laterza.
Salvetti C. 1966. Appunto per S. E. il Presidente. Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - sez. CNEN - s. 2 f. 10.
Sebastiani L. 1995. *Il caso Ippolito*. Tesi di Laurea. Università di Roma Sapienza.
Silvestri M. 1968. *Il costo della menzogna: Italia nucleare 1945-1968*. Torino: Einaudi.

Note

[1] «Modern particle physics started in the last days of World War II, when a group of young Italians, Conversi, Pancini, and Piccioni, who were hiding from the German occupying forces, initiated a remarkable experiment» (Alvarez, 1968).

[2] DPCM 27 giugno 1952, «Composizione del Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari per il triennio 1952-1955», 8 luglio 1952.

[3] Ippolito era anch'egli laureato in ingegneria civile ma si dedicò fin da subito alla geologia, disciplina di cui divenne docente presso l'Università di Napoli.

[4] Il raffreddamento a nebbia era in realtà ad acqua leggera in cambiamento di fase all'interno di tubi in pressione.

[5] DPCM 24 agosto 1956. Modifica della composizione del Comitato Nazionale Ricerche Nucleari. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 17 settembre 1956.

[6] DPCM 26 giugno 1952. Istituzione del Comitato nazionale per le ricerche nucleari. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 8 luglio 1952.

[7] Legge 11 agosto 1960 n. 933, Istituzione del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana Serie Generale 6 settembre 1960.

[8] DPCM 1 ottobre 1960. Costituzione della Commissione Direttiva del Comitato Nazionale Energia Nucleare. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 10 novembre 1960.

[9] Sarebbe troppo lungo e dispersivo soffermarsi anche solo sinteticamente sulla vicenda processuale di Ippolito, per approfondimenti si rimanda alla letteratura esistente (Barrese, 1981; Curli, 2000; Sebastiani, 1995).

[10] DPCM 29 dicembre 1964. Ricostituzione della Commissione Direttiva del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 2 febbraio 1965.

[11] Legge 27 luglio 1967 n. 685. Approvazione del programma economico nazionale per il quinquennio 1966-1970. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 14 agosto 1967 S.O. n. 2030. Vedasi comma 122 dell'allegato.

[12] Legge 15 dicembre 1971 n. 1240. Norme relative alla ristrutturazione del Comitato nazionale per l'energia nucleare (CNEN). Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana 24 gennaio 1972.

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale

Naples, 2024 June 13th-14th

Volume II

Editors

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

Cuzzolin

First edition: June 2024
Prima edizione: giugno 2024

© 2024 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 979-12-81558-38-0

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

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

Editorial Office / Redazione:
Maurizio Cuzzolin

Printing / Stampa: Giannini - Napoli

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (President)
Gennaro Annunziata
Michele Brigante
Mario Como
Edoardo Cosenza
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Luciano De Menna
Giulio Fabricatore
Franz Graf
Giovanna Greco
Emanuela Guidoboni
Osama Hamdan
Elena Manzo
Luigi Marino
Vittorio Marchis
Raffaele Mauro
Dieter Mertens
Antonio Moccia
Gioconda Moscariello
Lia Maria Papa
Antoine Picon
Giuseppe Riccio
Angelo Domenico Perrini
Luciano Rosati
Bruno Siciliano
Andrea Silvestri
Raffaele Tarateta
Giuliana Tocco
Carlo Viggiani
Armando Zambrano

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

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
Rete Professioni Tecniche e Scientifiche

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

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e i Consigli degli Ordini degli Ingegneri delle Province di Napoli e Salerno partecipano, fin dalla prima edizione, alla organizzazione di questo importante evento di grande interesse scientifico e culturale, giunto alla decima edizione. Da quest'anno è con AISI anche la Rete Professioni Tecniche e Scientifiche.

Al Comitato Scientifico, al Comitato Organizzatore, ai Relatori, a tutti gli Ospiti 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. Domenico Angelo Perrini

Il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
ing. Gennaro Annunziata

Il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
ing. Raffaele Tarateta

Il Coordinatore della Rete delle Professioni Tecniche e Scientifiche
ing. Armando Zambrano

Summary / Sommario

Volume I

Preface: Twenty years of History
Prefazione: Venti anni di Storia
Salvatore D'Agostino *XIX*

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali
The birth of Engineering for Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 3

Gli strumenti di misura per l'igrometria dal XV al XX secolo
The measuring instruments for hygrometry from 15th to 20th century
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 13

Continuità e innovazione tecnologica nelle strutture e infrastrutture di Caulonia tra la fine dell' VIII e il II sec. a.C.: alcune evidenze
Continuity and technological innovation in the structures and infrastructures of Caulonia between the end of the 8th and the 2nd century BC: some evidence
Maria Teresa Iannelli, Lucia Lepore 25

Verso la ricostruzione del meccanismo della fontana sonora, che attirò l'attenzione di Leonardo a Rimini nel 1502
Toward the reconstruction of the singing fountain mechanism, which captured the attention of Leonardo visiting Rimini in 1502
Pier Gabriele Molari 37

Guglielmo da Parigi e la torre dell'orologio di Castel Nuovo a Napoli
Guglielmo from Paris and the clock tower of Castel Nuovo in Naples
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 49

…e poi fu CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana). Una storia del calcolo numerico elettronico
…and then there was CEP (Pisan Electronic Calculator). A story of the electronic numerical calculation
Lucia Barsanti, Mario Calamia, Monica Gherardelli 61

Le tecniche costruttive antisismiche "spontanee" attraverso i documenti d'archivio: il caso della città di Cosenza
"Spontaneous" anti-seismic building techniques through archival documents: the case of the city of Cosenza
Federica Castiglione, Francesca Bilotta, Brunella Canonaco 73

Le capriate in legno della Reggia di Caserta
The wooden trusses of the Caserta Royal Palace
Giorgio Frunzio, Luigi Massaro, Luciana Di Gennaro 85

Peter Nicholson e il metodo pratico-descrittivo per la costruzione degli archi obliqui nell'Inghilterra dell'Ottocento
Peter Nicholson and the Practical-Descriptive Method for the Construction of Oblique Arches in Nineteenth Century England
Stefano Chiarenza, Barbara Messina 95

Teoria e prassi. Per una storia degli errori nell'ingegneria delle costruzioni
Theory and practice. For a history of errors in construction engineering
Luca Guardigli, Davide Prati 107

Le problematiche strutturali del sottosuolo napoletano nel corso della storia attraverso le memorie di antiche cave greche
The structural problems of the Neapolitan underground throughout history
Clemente Esposito 119

L'avvio della telegrafia elettrica in Italia. Il contributo di Francesco Zantedeschi (1797-1873)
The start of electric telegraphy in Italy. The contribution of Francesco Zantedeschi (1797-1873)
Lucia De Frenza 131

Le ricostruzioni e i restauri di Notre Dame dal XIX al XXI secolo, ovvero l'ingegneria in Francia da Rondelet e Violet le Duc fino ai giorni nostri
The reconstructions and restorations of Notre Dame from the 19th to the 21st centuries or engineering in France from Rondelet and Violet le Duc to the present day
Carlo Blasi 143

Breve Storia del Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio monumentale dal rischio sismico del Ministero dei Beni Culturali
A Brief History of the National Committee for the Prevention of Monumental Heritage Risk from Earthquakes of the Ministry of Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 155

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le fortificazioni liminali d'Oltremare in epoca Crociata: esperienze costruttive a confronto
The Overseas border fortifications at the time of the Crusades: constructive experiences compared
Basema Hamarneh, Luigi Marino 171

L'architettura delle tende nere beduine
The architecture of the Bedouin black tents
Luigi Marino 183

Il progetto PROTECT. Primi passi verso un protocollo operativo per la lettura archeosismologica speditiva dei centri storici
The PROTECT project. First steps towards an operational protocol for the light archaeoseismological analysis of historical
Andrea Arrighetti, Marco Repole 195

Breve storia della qualità dell'aria negli ambienti confinati
A short history of Indoor Air Quality
Gian Vincenzo Fracastoro 207

The Trochotron Beam-Switch Counter Arturo
Il contatore numerico Trochotron
Emilio Ciardiello 219

Tecniche antisismiche storiche nelle aree interne abruzzesi
Historical anti-seismic techniques in the internal areas of Abruzzo
Maurizio D'Antonio 231

Criteri costruttivi e tecniche antisismiche premoderne
Construction criteria and pre-modern anti-seismic techniques
Giovanni Cangi 243

La concezione dell'andamento plano-altimetrico delle strade: dal modello ferroviario a quello odierno
The plano-altimetrical road alignments: from the railway model to today's model
Raffaele Mauro, Anna Maragno 257

La costruzione di architetture centriche a inizio Cinquecento: geometria sottesa e dettagli costruttivi nelle cappelle Caracciolo di Vico e di Caterina Pignatelli
The construction of central plan architecture in the early 16th century: underlying geometry and construction details in the Caracciolo di Vico and Caterina Pignatelli chapels
Maria Teresa Como 269

Il pavimento a fiori nella biblioteca del palazzo ducale di Urbino, ripreso nel palazzo ducale di Gubbio: solo un esercizio grafico di Francesco di Giorgio?
The flowered floor in the library of the ducal palace of Urbino, reproduced in the ducal palace of Gubbio: just a graphic exercise by Francesco di Giorgio?
Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari 281

La strategia difensiva di Archimede nella fortezza di Siracusa
The defensive strategy of Archimedes in the Syracuse fortress
Umberto di Marco, Pier Gabriele Molari 293

La Grande Diga sul Fiume Jato in Sicilia. Promozione, progetto e costruzione
The Large Dam on the Jato River in Sicily. Promotion, Design, and Construction
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli, Vincenzo Canzoneri 305

Il progetto del grande ospedale di Napoli di Camillo Guerra e Girolamo Ippolito
The project of the great hospital of Naples by Camillo Guerra and Girolamo Ippolito
Arturo Armone Caruso 317

La produzione della carta in Costiera amalfitana
The production of paper in the Amalfi Coast
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 329

Le cartiere di Vietri sul mare: una breve storia
The paper mills of Vietri sul Mare: a brief history
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 341

La cartiera dell'Auso e l'antica turbina
The paper mill of Auso and the ancient turbine
Fabiana d'Ambrosio, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Giovanni d'Ambrosio, Pietro d'Ambrosio 351

Le indagini preventive e il supporto documentale per la corretta definizione degli interventi di restauro: il caso della Basilica inferiore del Duomo di Salerno
The preventive studies and documentary research for the correct definition of restoration interventions: the lower Basilica of the Salerno Cathedral
Gennaro Miccio 363

Nanocompositi e nanomateriali: una scoperta recente con radici lontane
Nanocomposites and nanomaterials: a recent discovery with distant roots
Andrea Sorrentino, Vittoria Vittoria 375

Una nuova analisi sismica delle strutture in muratura
A new seismic analysis of masonry structures
Simona Coccia, Mario Como 387

Lo sviluppo dell'illuminazione pubblica a Napoli
The development of public lighting in Naples
Roberta Gambardella 399

L'illuminazione pubblica a Napoli, concessioni e progetti dall'Unità d'Italia al Piano di risanamento e ampliamento della città di Napoli del 1885
Public lighting in Naples, concessions and projects from the Unification of Italy to the 1885 Plan of risanamento e ampliamento della città di Napoli
Federica Fiorillo 411

Le Supercinghie di Paolo Magaldi
Leather driving belts by Paolo Magaldi
Francesco Caputo, Paolo Magaldi Jr 421

Dalle miscele cementizie alle superfici architettoniche in pietra. Applicazioni con biossido di titanio tra storia recente ed evoluzione
From cement mixtures to architectural stone surfaces. Titanium-dioxide applications between recent history and evolution
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 431

La statica delle volte, alla prova delle bombe
The statics of bomb-proof vaulted structures
Cesare Tocci, Edoardo Piccoli 445

On Greek sphere-making
Sulla sferopea greca
Alessandro Amabile 457

Factories, bridges and steam engines: G.S. Poli, C. Lippi and the technological renovation in the Kingdom of Naples between the end of the 18th and the beginning of the 19th century
Fabbriche, ponti e macchine a vapore: G.S. Poli, C. Lippi e il rinnovamento tecnologico nel Regno di Napoli tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo
Salvatore Esposito 469

Trasporti urbani tra storia e prospettive per la transizione ecologica e sostenibile
History and prospects of urban transport for the ecological and sustainable transition
Antonio Coppola 481

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Il distretto industriale della Media Valle del Liri
The industrial district of the Liri Media Valley
Arturo Gallozzi, Michela Cigola, Marcello Zordan, Chiara Caira 495

Ingegneria ed Economia
Engineering and Economics
Riccardo Gallo 507

Historical industrial roots of management engineering: from the organization of work in the factory to the management of complex systems
Storiche radici industriali dell'ingegneria gestionale: dall'organizzazione del lavoro in fabbrica alla gestione dei sistemi complessi
Marcello Lando, Massimiliano M. Schiraldi 519

La formazione degli ingegneri a Modena dal Settecento a oggi. L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri e l'Università
The engineers education in Modena from XVIII century until today. The Institute of Pioneer Mathematical Cadets and University
Elena Corradini, Angelo Marcello Tarantino, Stefano Orlandini, Marco Zucchi 531

Agli albori dell'Ingegneria Chimica nell'Università di Napoli
At the dawn of Chemical Engineering at the Naples University
Carmine Colella 543

From Invisibility to Recognition: First Women Engineers at Politecnico di Torino
Da invisibili a protagoniste: le prime donne ingegnere del Politecnico di Torino
Margherita Bongiovanni, Mariya Shcherbyna (Maria Shcherbina), Francesca Gervasio 557

L'Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino
Nuclear Engineering at Politecnico di Torino
Vittorio Marchis, Bruno Panella 569

La fisica e l'ingegneria nucleare tra il CNRN e il CNEN
Nuclear Physics and Engineering between CNRN and CNEN
Andrea Battocchio 581

Volume II

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

Pier Luigi Nervi e la Nervi e Bartoli in Calabria. Progetti e realizzazioni (1957-1975)
Pier Luigi Nervi and Nervi and Bartoli in Calabria. Projects and realizations (1957-1975)
Laura Greco, Andrea De Luca, Valentina Guagliardi, Francesco Spada 595

Il progetto e la costruzione dei grandi collettori bassi delle fogne di Roma (1882-1925)
Design and construction of the modern collector sewers in Rome (1882-1925)
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 607

La Funivia del Gran Sasso d'Italia: un caso significativo di impianto a fune in Italia e in Europa
The Gran Sasso d'Italia cable car: a significant case of ropeway in Italy and Europe
Marco Paolucci, Ceren Ekinci, Simonetta Ciranna, Francesco D'Annibale 621

Necropoli Ellenistica di Neapolis. Ipogeo delle Colonne. Nuove osservazioni sulla tecnica costruttiva del prospetto monumentale
Hellenistic Necropolis of Neapolis. Hypogeum of the columns. New observations on the construction technique of the monumental façade
Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo, Giuseppe Piccolo 635

Decodificare per riscrivere la storia del patrimonio tecnico. Il caso Anic di Pisticci
Decode to rewrite the history of technical heritage. The Anic case of Pisticci
Mariangela Bellomo, Antonella Falotico 645

Migrazione di saperi dall'Italia all'Argentina. Gli ingegneri Luigi Luiggi (1856-1931) e Cesare Cipolletti (1843-1908)
Migration of knowledge from Italy to Argentina. The engineers Luigi Luiggi (1856-1931) and Cesare Cipolletti (1843-1908)
Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori 657

Anton Flettner e l'effetto Magnus
Anton Flettner and the Magnus effect
Massimo Corradi, Claudia Tacchella 669

«Stability and elegance»: the British Petroleum suspended structure in Antwerp (1959-1963)
«Stabilità ed eleganza»: la struttura sospesa della British Petroleum ad Anversa (1959-1963)
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 683

L'Ingegnere Vittorio Bonadé Bottino e l'albergo di Campo Imperatore
The Engineer Vittorio Bonadé Bottino and the Campo Imperatore Hotel
Vincenzo Di Florio, Alessandra D'Ovidio, Marco Felli 695

I progetti di Carmelo Sciuto-Patti per lo "Spedale medico per la città e mandamento di Giarre" (1866)
The projects of Carmelo Sciuto-Patti for the 'Medical hospital for the city and district of Giarre' (1866)
Federica Scibilia 705

Giuseppe Cigni e il rapporto tra ingegneria e architettura. Progetti e scritti di un progettista del secondo Novecento
Giuseppe Cigni and the link between engineering and architecture. Works and writings of a designer of the second half of the 20th century
Giovanni Bellucci 717

Affreschi di vita benedettina nel chiostro del Platano a Napoli: interventi novecenteschi per la risoluzione del problema dell'umidità
Benedectine life's frescoes in Chiostro del platano in Naples: twentieth-century interventions to solve the problem of damp
Giuliana Ricciardi 729

Adriano Olivetti, la costruzione dell'urbanistica italiana e due visioni contrapposte dello spazio urbano
Adriano Olivetti, the built of Italian urban planning and two different way of understanding urban space
Marialuce Stanganelli 741

Sperimentazioni strutturali del secondo Novecento: il nuovo mattatoio di Torino
Structural experimentations in the second half of the 20th century: the new slaughterhouse in Turin
Marika Mangosio 753

Il progetto ottocentesco della Stazione di Perugia-Fontivegge e sua ricostruzione virtuale
The nineteenth century project of the Perugia-Fontivegge Station and its virtual reconstruction
Chiara Mommi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andrea Migliosi 765

L'ingegnere Pasquale Amodio e l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli
The engineer Pasquale Amodio and the Aeronautical Academy of Pozzuoli
Lia Maria Papa 777

La storica questione dell'acqua potabile in città. Il caso dell'acquedotto di Salerno
The historical issue of drinking water in the urban context. The case of Salerno's aqueduct
Federica Ribera, Anna Gallo 789

Gli studi storico artistici dell'ingegnere Michele De Angelis
The historical and artistic studies of engineer Michele De Angelis
Annarita Teodosio 801

Emmanuele Rocco: un ingegnere nella Belle Èpoque e un protagonista del Risanamento a Napoli
Emmanuele Rocco: an engineer in the Belle Époque and a protagonist of the Redevelopment in Naples
Andrea Lizza 813

Breve biografia di Alfredo Cottrau: un pioniere delle costruzioni metalliche di fine Ottocento
Short biography of Alfredo Cottrau: a pioneer of late 19th century metal construction
Andrea Lizza 821

Da terme a cisterna: le cosiddette "Stanze di Venere" nel Parco archeologico delle terme romane di Baia
From baths to tank: the so called "Stanze di Venere" in the Archaeological Park of the roman baths of Baia
Daniele De Simone 827

Materiali e tecniche nella ricostruzione dell'ospizio del Pio Monte della Misericordia a Casamicciola
Materials and techniques in the reconstruction of the Pio Monte della Misericordia hospice in Casamicciola
Monica Esposito 837

Ingegneri e governance: note intorno a Gian Giacomo Plantery decurione
Engineers and governance: notes on Gian Giacomo Plantery decurione
Elena Gianasso 849

Modelli digitali delle architetture dell'acqua. Il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti
Digital models of water architectures. The Alviggi Mill-Ironworks in Sant'Agata de' Goti
Giuseppe Antuono 861

I Centri di Preparazione Olimpica di Roma e Formia: da impianti per lo sport di alto livello a beni architettonici di interesse culturale
The Olympic Preparation Centers in Rome and Formia: from high-level sports facilities to architectural heritage
Damiano Santillo 873

L'acquedotto ipogeo di Aesernia
The underground aqueduct of Aesernia
Damiano Santillo, Federico Capriuoli 887

Ingegneria al servizio dell'archeologia: il progetto CAST applicato alle grotte di Pertosa-Auletta
Engineering at the service of archaeology: the CAST project applied to the Pertosa-Auletta caves
Andrea Di Meo, Federico Capriuoli, Antonella Minelli 901

La fabbrica della Perugina a Fontivegge: ricostruzione di un luogo identitario della storia
The Perugina factory in Fontivegge: reconstruction of a historical identity place
Andrea Migliosi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Chiara Mommi 913

La Casa della Giovane Italiana a L'Aquila
The Italian Youth House in L'Aquila
Alessandra Bellicoso 925

Carlo Vanvitelli e il caso della scala di Palazzo d'Avalos a Procida
Carlo Vanvitelli and the Palazzo d'Avalos' staircase in Procida
Maria Rosaria Cocozza 937

"Gli ingegneri degli architetti": dal gruppo Structures3 al sodalizio tra Ove Arup & Partners e Renzo Piano (1971-1981)
"The engineers of architects": from Structures3 group to the partnership between Ove Arup & Partners and Renzo Piano (1971-1981)
Elisa Boeri, Michela Pilotti 947

Il Piano di Conservazione come strumento di tutela dell'architettura del XX secolo. Una sperimentazione per l'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano
The Conservation Plan as a tool for protecting 20th century architecture. An experiment for Pier Luigi Nervi's Hangar in Pontecagnano
Federica Ribera, Pasquale Cucco, Giulia Neri 959

Carlo Salvetti, un fisico teorico prestato all'ingegneria nucleare
Carlo Salvetti, a theoretical physicist lent to nuclear engineering
Andrea Battocchio, Roberto Lalli 967

William Thomson tra macchine termiche e spiritualismo
William Thomson between thermal machines and spiritualism
Mariano Bonaccorsi, Giuseppe Ruta 979

Il grande incendio del Palazzo Reale di Napoli del 1837 e la direzione tecnica delle operazioni di spegnimento della Compagnia dei Pompieri
The Great Fire of the Royal Palace of Naples in 1837 and the technical direction of firefighting operations by the Civic Fire Company
Michele Maria La Veglia, Clemente Esposito 991

A fili di ferro: il contributo di Marc Seguin allo sviluppo dei ponti sospesi in Italia
With iron wires: the contribution of Marc Seguin in the development of suspension bridges in Italy
Alessandra Tosone, Renato Morganti, Alessia Panepucci, Matteo Abita, Danilo Di Donato 997

Acciaio e fabbrica nel Mezzogiorno d'Italia. Architetture industriali del Secondo Novecento
Steel and factories. Industrial architecture of the second half of the twentieth century
Danilo Di Donato, Matteo Abita, Renato Morganti, Alessandra Tosone 1011

Contraddire l'archetipo. Potenzialità dell'acciaio nell'architettura di Julio Lafuente
To deny the archetype. Steel potential in Julio Lafuente's architecture
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 1023

L'alluvione del 1949 a Benevento
The Benevento 1949 flood
Vittorio Bovolin 1035

Borghi abbandonati: il caso di Roscigno e la sua lunga storia, dall'antichità a oggi
Abandoned villages: The case of Roscigno and its long history, from antiquity to today
Giovanna Greco 1047

THE STRAIT OF MESSINA BRIDGE
IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA

The evolution of super-long span bridge decks, from Tacoma to Messina
L'evoluzione degli impalcati nei ponti di grandissima luce, dal Tacoma al Messina
Giorgio Diana, Filippo Calamelli 1061

Most recent developments in large bridge aerodynamics (2013-2024)
Alcuni recenti sviluppi in aerodinamica dei ponti di grande luce (2013-2024)
Fengying Wu, Lin Zhao, Yaojun Ge, Claudio Borri 1071

L'evoluzione storica del progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, dalle idee primordiali al quinquennio decisivo, 2001-2006
The historical evolution of the project of the Strait of Messina Bridge, from the primordial ideas to the decisive quinquennium 2001-2006
Pietro Lunardi 1085

Analisi storica della mancata realizzazione del Ponte sullo Stretto
Historical analysis of the failure to construction of the Messina Strait Bridge
Giovanni Mòllica 1097

Evolution of viscoelastic dissipative models for structural systems crossed by moving loads
Evoluzione dei modelli dissipativi viscoelastici per sistemi strutturali attraversati da carichi mobili
Mario Di Paola, Giuseppe Muscolino 1109

L'area dello Stretto di Messina: analisi dei rischi geologici dopo il terremoto del 1908
The Messina Straits area: an overview of geological risks following the 1908 earthquake
Alberto Prestininzi, Gianluca Valensise 1121

Interaction between structural model and aerodynamics effects in the aeroelastic stability of suspension bridge
Interazione fra modello strutturale e aerodinamica nella stabilità aeroelastica dei ponti sospesi
Piero D'Asdia, Fabio Rizzo 1133

Le strutture del ponte sullo Stretto, dalle prime proposte al progetto definitivo
The structures of the bridge on the Strait, from the first proposals to the final design
Fabio Brancaleoni 1145

I cavi portanti dei ponti sospesi, passato e presente
The main cables of suspension bridges, past and present
Fabio Brancaleoni 1159

MEMORIES
RICORDI

Per una storia dell'Elettrotecnica a Napoli: il prof. Scipione Bobbio
For a history of Electrotechnics in Naples: professor Scipione Bobbio
Luciano De Menna 1175

Mario Raffa: Uno dei padri dell'Ingegneria Gestionale a Napoli e in Italia
Mario Raffa: One of the founding fathers of Management Engineering in Naples and Italy
Emilio Esposito 1187

Ricordo di Salvatore Di Pasquale
Memory of Salvatore Di Pasquale
Salvatore D'Agostino 1199

In memoria di Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
In memory of Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
Claudio Alessandri, Silvia Briccoli Bati, Giovanni Di Pasquale 1201

Salvatore Di Pasquale - Pubblicazioni 1958-2008
Salvatore Di Pasquale - Papers 1958-2008
Giovanni Di Pasquale 1213

Salvatore Di Pasquale e la cupola del Brunelleschi
Salvatore Di Pasquale and the Brunelleschi Dome
Mario Como 1229

Maria Letizia Conforto (1940-2024): una Architetta Archeologa
Maria Letizia Conforto (1940-2024): an Architect Archaelogist
Salvatore D'Agostino 1241

Author Index
Indice degli Autori 1253

Volume III

Presentation
Presentazione
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano 1259

SUMMARIES
SOMMARI

Proceedings of 1st National Conference
Atti del 1° Convegno Nazionale - 2006 1265

Proceedings of 2nd National Conference
Atti del 2° Convegno Nazionale - 2008 1275

Proceedings of 3rd National Conference
Atti del 3° Convegno Nazionale - 2010 1287

Proceedings of 4th National Conference
Atti del 4° Convegno Nazionale - 2012 1297

Proceedings of 1st International Conference
Atti del 5° Convegno Nazionale - 2014 1305

Proceedings of 2nd International Conference
Atti del 6° Convegno Nazionale - 2016 1315

Proceedings of 3rd International Conference
Atti del 7° Convegno Nazionale - 2018 1323

Proceedings of 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale - 2020 1333

Proceedings of 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale - 2022 1341

Proceedings of 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale - 2024 1353

GENERAL INDEX OF AUTHORS
INDICE GENERALE DEGLI AUTORI 1369

Salvatore D'Agostino

Preface

Twenty years of History

This adventure began in 2004, inspired by the need to understand one's past and promote a broader culture of Engineering, recognizing its meaningful contribution to society's development in a vision that increasingly appears interdisciplinary.

Over the first two years, meetings and discussions with various Engineering faculties and the Conference of Deans occurred. Efforts were made to raise awareness among Architecture faculties, which share so much cultural heritage with Engineering ones. Finally, the Engineer Associations of Naples and Salerno were involved, along with the National Engineers Council (CNI), who immediately showed interest in AISI, its purposes, and its initiatives. These two years of cultural commitment culminated in the first National Conference held at the Conference Centre of the University of Naples Federico II in 2006. It was a success beyond all expectations with the publication of the Proceedings in two volumes with more than 1100 pages and 100 contributions from scholars from 25 universities.

Then, this process continued relentlessly in all subsequent Conferences, and with the current conference, twenty volumes will have been published, totaling over 12,000 pages, available on the AISI website (www.aising.eu).

These have been exciting years, and such demanding work has been made possible by the essential contribution of several colleagues whom I want to thank here with affection and gratitude: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Lia Papa*, and *Boris Palella* who replaced Giulio in the demanding role of Treasurer. It is also appropriate to mention *Maurizio Cuzzolin*, the publisher, for his fundamental contribution. From the beginning, there has been with him a perfect harmony witnessed by the publication of the elegant volumes of the Conference Proceedings.

Meanwhile, increasingly involved in the Association and, therefore, in the History of Engineering, was *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, Full Professor of Building Physics and Building Energy Systems at the University of Salerno. Her passionate and qualified cultural and organizational commitment, increasingly developed over time, naturally led Francesca to assume the role of president of AISI in 2020. Since 2020, under her presidency, AISI has strengthened and expanded, among other things, its relationship with the National Engineers Council.

Since 2020, AISI and CNI have promoted numerous seminars of high interdisciplinary value, disseminated through the CNI's web platform with hundreds and hundreds of participants. Guided tours of relevant cultural sites have been arranged, and new relationships with other associations have been established.

The propulsive activity of the Conferences continues to this day with unchanged success. Therefore, I am proud of this long journey that I am sure will be further developed with tenacity and cultural awareness by the President and the entire Board, with effectiveness and punctuality.

I cannot forget the dear *Luciana Sepe*, who handled AISI with affection and dedication since its inception, giving so much to the Association. Luciana is missed by me and by all of us.

Finally, thanks to *Giuseppe Miranda* and *Anna Natale*, who continue to be by our side.

I, therefore, hope, confidently, for AISI a bright future crowned by a widespread History of Engineering in our country.

Salvatore D'Agostino

Prefazione

Venti anni di Storia

Un'avventura iniziata nel 2004, ispirata dalla necessità di conoscere il proprio passato e promuovere una più vasta cultura dell'Ingegneria, nella consapevolezza del Suo poderoso apporto allo sviluppo della società, in una visione che si prospetta sempre più interdisciplinare.

In principio, in due anni, si svilupparono incontri e confronti con diverse Facoltà di Ingegneria e con la Conferenza dei Presidi, si cercò di sensibilizzare le Facoltà di Architettura, che tanto patrimonio culturale condividono con le Facoltà di Ingegneria, e, infine, si coinvolsero gli Ordini Provinciali degli Ingegneri di Napoli e Salerno, che, come anche il Consiglio Nazionale Ingegneri, si mostrarono immediatamente partecipi all'AISI, ai suoi scopi e alle sue iniziative. Furono due anni di impegno culturale che culminarono con il primo Convegno Nazionale, a Napoli nel 2006, nella sede del Centro Congressi della Università Federico II. Fu un successo, al di là di ogni previsione, con la pubblicazione degli Atti in due Tomi, per oltre 1100 pagine e oltre cento contributi di studiosi provenienti da venticinque Università.

Questo processo è poi proseguito inarrestabile in tutti i Convegni successivi e con l'attuale convegno saranno stati editi venti volumi, per oltre 12.000 pagine, disponibili sul sito AISI (www.aising.eu).

Sono stati anni esaltanti e un così impegnativo lavoro è stato reso possibile dall'essenziale contributo di diversi colleghi che qui voglio ringraziare con affetto e gratitudine: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Lia Papa* e *Boris Palella* che ha sostituito Giulio nell'impegnativa funzione di Tesoriere. È qui opportuno anche ricordare, per il suo fondamentale contributo, l'editore *Maurizio Cuzzolin* con il quale, sin dall'inizio, si è sviluppata una perfetta sintonia, concretizzatasi nella pubblicazione degli eleganti cofanetti degli Atti dei Convegni.

Intanto, era sempre più attivamente interessata all'Associazione, e, quindi, alla Storia dell'Ingegneria, *Francesca Romana d'Ambrosio*, professoressa ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale presso l'Università di Salerno. Il suo appassionato e qualificato impegno culturale e organizzativo, sempre più intensamente sviluppatosi nel tempo, ha reso quindi naturale che Francesca ricoprisse dal 2020 il ruolo di Presidente dell'AISI. Dal 2020 a oggi, sotto la sua presidenza, l'AISI ha rafforzato e ampliato, tra l'altro, il rapporto con il Consiglio Nazionale Ingegneri.

Dal 2020 AISI e CNI hanno insieme promosso numerosi seminari di alto valore interdisciplinare, diffusi dalla piattaforma nazionale del CNI, con molte centinaia di ascoltatori; sono state organizzate visite guidate a importanti siti culturali ed è stata sviluppata una serie di rapporti con altre Associazioni.

L'attività propulsiva dei Convegni continua a tutt'oggi con immutato successo.

Sono quindi orgoglioso di questo lungo percorso che sono certo sarà ulteriormente sviluppato con tenacia e consapevolezza culturale dalla Presidente e dal Consiglio Direttivo tutto, con efficacia e puntualità.

Non posso non ricordare la carissima *Luciana Sepe*, che ha seguito con affetto e dedizione l'AISI dalla sua nascita e che ha tanto dato all'Associazione: Luciana manca a me, a tutti noi.

Infine, grazie a *Giuseppe Miranda* e a *Anna Natale*, che continuano a esserci accanto.

Auspico, allora, fiducioso, per l'AISI un luminoso futuro coronato da un vasto diffondersi della Storia dell'Ingegneria nel nostro Paese.

WORKS AND PROTAGONIST BETWEEN ANCIENT AND MODERN

LAVORI E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Laura Greco, Andrea De Luca, Valentina Guagliardi, Francesco Spada

Pier Luigi Nervi e la Nervi e Bartoli in Calabria. Progetti e realizzazioni (1957-1975)

Pier Luigi Nervi and Nervi and Bartoli in Calabria. Projects and realizations (1957-1975)

Sommario

Questo contributo è parte di una ricerca in corso sugli sviluppi della prefabbricazione in Calabria e presenta i primi esiti relativi al ruolo giocato dalla Nervi e Bartoli in questo ambito, analizzando i tentativi di ammodernamento delle pratiche costruttive promossi da una delle maggiori imprese italiane del Novecento in un contesto produttivo e tecnologico arretrato rispetto al resto del Paese. Il lavoro della Società Ingg. Nervi e Bartoli in Calabria è documentato su un arco temporale esteso. A una prima stagione fanno riferimento i progetti per le piscine coperte CONI a Reggio Calabria e a Crotone (1956-57) e quello per la sistemazione del lido comunale Ammiraglio Genoese Zerbi a Reggio Calabria (1960-64). A una seconda fase, sviluppatasi a cavallo degli anni Sessanta-Settanta dello scorso secolo, appartengono i progetti e i cantieri maggiori della Nervi e Bartoli in Calabria: la Banca d'Italia a Catanzaro (1968-70), la Nuova stazione ferroviaria di Cosenza (1970-75) e il progetto di concorso per l'Università degli studi della Calabria a Cosenza (1972-74). In questi casi è evidente la relazione con la cornice culturale e professionale romana, grazie alla presenza di personaggi come Saul Greco nel progetto della Banca d'Italia a Catanzaro, e di Sara Rossi in quelli della stazione ferroviaria e della nuova università della Calabria a Cosenza. In questa seconda fase si privilegiano procedimenti in opera con episodi di prefabbricazione a piè d'opera. Le soluzioni per la sede della Banca d'Italia a Catanzaro e per la stazione di Cosenza si rifanno in larga parte agli approcci sviluppati da Nervi e Bartoli negli anni Cinquanta-Sessanta nei cantieri italiani più noti, e solo nel progetto del campus si osserva una proposta di industrializzazione. In ogni caso, l'analisi finora condotta sulle singole opere testimonia un'attuazione segnata da difficoltà esecutive e, talvolta, da ritardi.

Abstract

This study is part of an ongoing research project on the development of prefabrication in Calabria; it presents the first results related to the analysis of the role played by Nervi and Bartoli in the use of prefabricated techniques and components.

It investigates attempts to evolve construction techniques promoted by one of the largest Italian companies of the last century in a technologically underdeveloped context compared to the rest of the country. The work of Nervi and Bartoli in Calabria is documented over an extended period of time. The projects for the CONI indoor swimming pools in Reggio Calabria and Crotone (1956-57) and that for the redevelopment of the Ammiraglio Genoese Zerbi municipal lido in Reggio Calabria (1960-64) refer to an early phase. Their major projects and construction sites in Calabria belong to a second phase, which developed between the 1960s and 1970s: the Banca d'Italia in Catanzaro (1968-70), the new railway station of Cosenza (1970-75) and the competitive project for the University of Calabria in Cosenza (1972-74). In these cases, the relationship with the Roman cultural and professional background is evident, testified by the presence of persons such as Saul Greco in the project of the Banca d'Italia in Catanzaro, and of Sara Rossi in those of the railway station and the new University of Calabria in Cosenza. In this second phase, on-site techniques with few prefabricated building parts were favoured. The headquarters of the Banca d'Italia in Catanzaro and Cosenza railway station were largely based on the approaches developed in the 1950s and 1960s by Nervi and Bartoli in the most famous Italian construction sites, and only in the campus project an industrialized solution was. In any case, the analysis conducted so far on the Calabrian works highlights construction difficulties and, sometimes, delays.

Introduzione

Gli sviluppi professionali di Pier Luigi Nervi sono connessi a quelli della Società Ingg. Nervi e Bartoli, impresa fondata nel 1932 dall'ingegnere italiano con il cugino Giovanni Bartoli dopo gli anni di formazione nella SACC -Società Anonima per Costruzioni Cementizie di Attilio Muggia, dal 1913 al 1923, e l'esperienza della Società Ing. Nervi e Nebbiosi, dal 1923 al 1932. Nervi è presidente e amministratore delegato della Nervi e Bartoli fino al 1975, quando cede la guida al figlio Vittorio, e ne segna l'identità con l'autorevolezza della sua figura per l'intero periodo, saldandone l'attività a quella dello Studio Nervi.

L'ufficio di progettazione nasce nel 1954 con la denominazione "Studio di Architettura e Tecnica Edilizia" e base a Roma, come già l'impresa. In una prima e breve fase lo studio è guidato da Antonio Nervi, figlio del maestro, e da Sergio Musmeci, mentre Pier Luigi ricopre il ruolo di consulente. Ben presto la proprietà passa al capofamiglia e ad Antonio, e nel 1960 lo studio, nel quale sono a questo punto impegnati anche gli altri due figli dell'ingegnere, Mario e Vittorio, cambia la sua ragione sociale in "Studio Nervi. Architettura e Tecnica Edilizia". In questi trent'anni si struttura una mappa chiara e puntuale di competenze e responsabilità distribuite tra la sezione ideativa e quella esecutiva; una filiera nella quale progettazione architettonica, calcoli statici ed economico-estimativi, progetto esecutivo, direzione e

consulenza sui lavori e realizzazione dell'opera, sono ambiti di un dominio operativo ampio, che assicura il controllo del processo progettuale-esecutivo secondo gli standard e i protocolli stabiliti dal maestro.

Il lavoro della filiera Nervi si distingue in una cornice nazionale nella quale matura l'evoluzione del cantiere, con procedure di artigianato evoluto e protoindustrializzazione delle tecniche, ambito al quale il gruppo romano si dedica con la tipizzazione degli elementi e dei procedimenti costruttivi fin dagli anni Trenta per liberare le potenzialità delle strutture in calcestruzzo armato dai costi e dai vincoli delle tradizionali casseforme lignee, introducendo procedure singolari, gestite in un regime di costante e proficua cooperazione tra l'ingegnere e la sua impresa. La sperimentazione condotta nei cantieri maggiori è trasferita dalla Nervi e Bartoli in commesse di minor rilievo e in aree periferiche del Paese, grazie all'applicazione di procedure esecutive sperimentate e collaudate, familiari ai progettisti e alle maestranze, e divenute marchio di garanzia del gruppo Nervi. L'attività dello studio e dell'impresa in Calabria è una parte, poco nota, di queste vicende, su cui si concentrano queste note[1].

Pier Luigi Nervi e la Società Nervi e Bartoli in Calabria

Il lavoro di Nervi e Bartoli in Calabria è documentato su un arco temporale esteso, all'interno del quale gli eventi si concentrano in due frangenti, corrispondenti, nel panorama costruttivo italiano, a periodi altrettanto diversi del percorso di avanzamento dei concetti di tipizzazione prima, e di industrializzazione poi. A una prima stagione, concomitante nel quadro nazionale con la progressiva meccanizzazione del cantiere, la tipizzazione e la prefabbricazione a piè d'opera degli elementi costruttivi, fanno riferimento i progetti per le piscine coperte CONI a Reggio Calabria e a Crotone (1956-57), curati in particolare da Antonio Nervi e legati a un programma nazionale di insediamenti simili; all'alba del nuovo decennio risale il progetto per la sistemazione del lido comunale Ammiraglio Genoese Zerbi a Reggio Calabria (1960-64). Alla seconda fase, sviluppata a cavallo degli anni Sessanta-Settanta, e coincidente nello scenario italiano con il periodo maturo dell'industrializzazione edilizia e con il passaggio dall'importazione dei sistemi esteri di prefabbricazione pesante all'assemblaggio per componenti, appartengono i progetti e i cantieri maggiori della Nervi e Bartoli in Calabria: la Banca d'Italia a Catanzaro (1968-70), la Nuova stazione ferroviaria di Cosenza (1970-75), i progetti di concorso per l'Università degli studi della Calabria (1972-74) e per il palazzetto dello Sport a Cosenza (1975). Episodi che raccontano, con intensità e compiutezza diverse, una vicenda nella quale confluiscono indirizzi e consuetudini professionali maturate nello scenario nazionale sulle tracce della pluridecennale esperienza del progettista e della sua impresa, e contingenze locali, che pongono la compagine romana a contatto con personaggi ed eventi propulsori del programma di infrastrutturazione della regione e delle sue principali aree urbane negli anni Sessanta-Settanta. I fattori nazionali si

riferiscono a una filiera ormai consolidata, nella quale non è semplice rintracciare i confini tra i ruoli del maestro, dello studio Nervi e dell'impresa nella definizione dei processi progettuali e costruttivi.

La prima stagione si conclude con la complessa vicenda del piano per il lido Genoese Zerbi. Esiti più evidenti si leggono successivamente. Nel secondo e più ricco periodo della Nervi e Bartoli in Calabria si privilegiano procedimenti in opera con episodi di prefabbricazione in cantiere, lontani dalle vicende nazionali segnate dall'impiego di sistemi e componenti industrializzati. Infatti, le soluzioni introdotte per la sede della Banca d'Italia a Catanzaro e per la stazione di Cosenza si rifanno in larga parte al sicuro repertorio di approcci progettuali e schemi di lavorazione dispiegati nei cantieri più noti della filiera Nervi degli anni Cinquanta-Sessanta, e solo nel progetto per il campus universitario si rileva un approccio industrializzato alla costruzione, certificato dalla collaborazione con Cogefar e Nuovo Pignone. In ogni caso, come l'analisi di alcuni aspetti dei singoli casi testimonia, l'attuazione dei progetti si rivela faticosa e condizionata da aggiustamenti definiti in corso d'opera.

La vicenda calabrese mette in luce relazioni tra la realtà regionale e l'*humus* culturale e professionale romano sulle quali si innesta l'attività della Nervi e Bartoli, segnalando, nonostante l'arretratezza tecnologico-produttiva del contesto, una stagione di vivacità costruttiva che segna la storia regionale di quegli anni e ribadisce l'esistenza, in quel frangente, di una linea di continuità tra il polo romano e la Calabria, di cui Pier Luigi Nervi e la sua impresa sono una delle espressioni visibili nell'impronta costruttiva del tempo e le cui tracce si leggono in episodi rilevanti per gli sviluppi moderni delle città di Catanzaro e di Cosenza. Nervi e Bartoli, infatti, interagisce in Calabria con personaggi di spicco del panorama culturale e professionale romano come Saul Greco e Sara Rossi, legati ciascuno, per ragioni differenti, al contesto calabrese, ai cui sviluppi contribuiscono entrambi, seppure con intensità e rilevanza differenti.

Saul Greco, di origini catanzaresi, quando firma il progetto per la sede della Banca d'Italia ha già contribuito a segnare il volto moderno della città con la palazzina ANAS, la sede dell'Enel e il teatro comunale, oltre a interventi nel resto della regione, che fanno della produzione di Greco «il patrimonio più cospicuo e capillarmente diffuso» di opere di architettura moderna in Calabria (Sestito, 2007). Nel 1968 l'architetto catanzarese vive a Roma, dove è Preside della Facoltà di Architettura, al culmine di una carriera universitaria sviluppata tra Napoli, Cagliari e Bari.

Nel contesto romano si forma anche il profilo culturale e professionale di Sara Rossi, progettista architettonico della stazione di Cosenza e componente del gruppo di concorso, guidato dallo studio Nervi, che partecipa alla selezione internazionale per la sede dell'Università degli studi della Calabria a Cosenza e di quello formato dalla stessa impresa e da Cesare Tropea per l'appalto concorso per il Palazzetto dello sport di Cosenza. Trasferitasi nel 1951 nella capitale dopo un periodo di studi all'I-

stituto Universitario di Venezia, Rossi si laurea in architettura nel 1956 nella sede di Valle Giulia, dove ha tra i suoi maestri Pier Luigi Nervi; lavora nello studio di Ugo Luccichenti, poi è impegnata nell'Istituto Nazionale di Urbanistica e collabora alla rivista L'Architettura. Gli anni Settanta sono marcati dalla libera docenza in Urbanistica a Roma e da un periodo di intenso lavoro professionale, cui appartiene il progetto per la stazione ferroviaria di Cosenza e, più tardi, la serie di incarichi nella regione: il nuovo piano regolatore di Cosenza, da metà Ottanta-inizi Novanta, un nuovo complesso universitario a Catanzaro, dal 1988 al 1992, la sistemazione di siti archeologici nel centro urbano di Reggio Calabria e di aree più estese a Bova Marina (RC), la consulenza per il piano quadro del centro storico di Cosenza nel 1997.

Il lavoro di Greco e di Rossi si inserisce in una fase di infrastrutturazione del territorio regionale, coordinato dall'allora Ministro dei LL. PP. Giacomo Mancini e sostenuto dalla costruzione del tratto calabrese dell'autostrada Salerno-Reggio Calabria, dal processo di industrializzazione della Valle del Crati nel cosentino mai attuato compiutamente, dall'incremento di attrezzature e servizi nell'area catanzarese. Questa contingenza offre dunque lo spunto per rinsaldare in quel frangente la relazione tra la Calabria e la cornice culturale e professionale romana, sulla scia di contatti tra le due realtà, leggibili a più riprese dagli anni Trenta, al dopoguerra, con la lenta ricostruzione, e agli anni Cinquanta-Sessanta con l'espansione delle nuove aree urbane, nei quali sono coinvolti progettisti come Mario Ridolfi e Mario De Renzi e ingegneri come Riccardo Morandi.

I progetti e i cantieri calabresi testimoniano vicende poco note della filiera edilizia guidata da Pier Luigi Nervi, arricchendo la storia dell'impresa con annotazioni sul trasferimento in aree periferiche del proprio *modus operandi*. L'analisi di alcuni aspetti delle vicende progettuali e costruttive delle opere realizzate e di quelle rimaste sulla carta evidenzia le procedure privilegiate, le difficoltà e le circostanze che hanno talvolta determinato la mancata realizzazione e, in altre occasioni, condizionato l'esecuzione.

La nuova sede della Banca d'Italia a Catanzaro

La Società Nervi e Bartoli realizza l'opera per conto della filiale di Catanzaro della Banca d'Italia su progetto di Saul Greco. L'impianto planimetrico è organizzato intorno al grande atrio centrale del piano terra. Il volume dell'edificio è articolato in tre corpi di fabbricati di cui due si elevano per cinque piani fuori terra e uno per sei.

Il sistema formale e costruttivo è dettato dal modulo di 120 cm, che scandisce il disegno dei fronti e si conferma nella trama strutturale, multipla del canone base. L'apparecchio costruttivo è organizzato su strutture intelaiate in opera, solai laterocementizi con spessore pari a 35 cm e, nelle zone di luce maggiore a copertura dell'atrio, su una soletta gettata in opera con travi di 25 cm · 55 cm con un interasse di 120 cm, come mostrato in Figura 1, e sovrastante soletta di calcestruzzo.

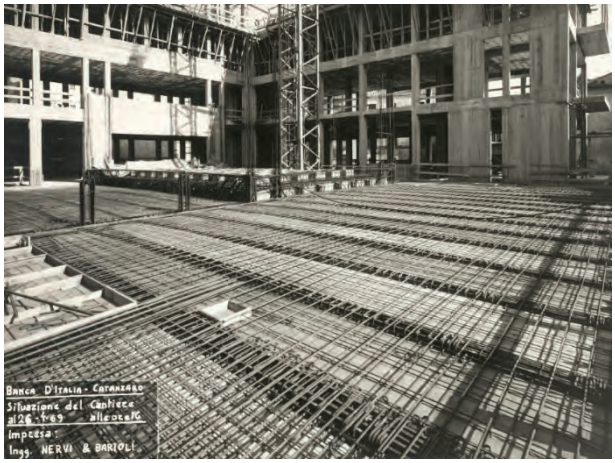


Fig. 1 - Il solaio di copertura dell'atrio della banca in esecuzione (MAXXI Museo nazionale delle arti del XXI secolo, Roma. Collezione MAXXI Architettura, Archivio Pier Luigi Nervi, d'ora in poi MAXXI).

La vicenda si sviluppa nel biennio 1968-70, mentre il gruppo romano è impegnato con il progetto e la realizzazione della Cassa di Risparmio di Venezia (1963-75). La cronaca dei fatti documenta la difficoltà a trasferire con efficacia nell'episodio catanzarese i principi di filiera e le metodiche costruttive più consuete per la Nervi e Bartoli che si cimenta, in questo caso, nell'inconsueto status di ditta esecutrice di un progetto concepito al di fuori del microcosmo Nervi. Il cantiere si rivela oggetto di diverse varianti in corso d'opera, dovute ad adeguamenti architettonici e strutturali, che determinano il prolungarsi dell'esecuzione. Una delle modifiche, emersa dall'analisi finora condotta, riguarda l'esecuzione delle lesene previste da Greco su tre dei fronti su strada e sulla corte interna per scandire le aperture. Nei disegni architettonici e costruttivi si prevede di realizzare le lesene sia con «la formazione di pilastri cavi costituiti da tavelline tipo Perret»[2], sia con «una rincocciatura dei pilastri pieni in C.A. eseguita con il sistema dei pilastri sopraddetti» (Nervi, b. AP88). Nel gennaio del 1968 la ditta fa presente i rischi di infiltrazioni di acqua all'interno dei pilastri cavi connessi a questa soluzione tecnica e derivanti, più precisamente, da «inevitabili distacchi e piccolissime lesioni che si potevano formare nella fase di posa in opera, sia per minimi movimenti del fabbricato di natura anche termica, sia per ritiri»; sono segnalate altre possibili problematiche, come il «cambiamento di colore dei pilastri cavi rispetto a quelli facenti parte delle strutture», e la «difficoltà di collegamento, senza imperfezioni estetiche, della parte cava alla parte piena» (Nervi, b. AP88). La stessa ditta propone di realizzare le lesene con strutture piene in calcestruzzo armato, a faccia vista, evidenziando che questa opzione avrebbe però determinato una revi-

sione dei calcoli statici dell'edificio. Per ovviare a queste complicazioni, Saul Greco dà la propria disponibilità a rivedere l'organizzazione dei prospetti pervenendo a una soluzione compatibile con l'impostazione statica già definita. Alla fine di luglio 1968 viene consegnata la nuova versione dei prospetti su via Gironda e Piazza Serravalle. Alla fine di agosto la committenza dà incarico alla Nervi e Bartoli di procedere allo studio della variazione costruttiva.

La nuova stazione ferroviaria a Cosenza

Si tratta dell'opera più nota e studiata della Nervi e Bartoli in Calabria (Mornati, 2009), esito dell'appalto concorso del 1971-72 cui la società partecipa, peraltro come unico concorrente, aggiudicandosi il progetto e la realizzazione del complesso comprendente il fabbricato viaggiatori della nuova stazione delle Ferrovie dello Stato e dei relativi corpi accessori e il fabbricato viaggiatori delle Ferrovie Calabro-Lucane, in Figura 2. Il progetto è l'esito della collaborazione di Nervi e Bartoli, che cura le parti strutturale e impiantistica e lo sviluppo dei dettagli architettonici e costruttivi, quest'ultimo con Sara Rossi, Cesare Tropea e Richard Moore, responsabili del progetto architettonico.

Per Nervi e Bartoli si tratta di un nuovo episodio di architettura dei trasporti, dopo l'edificio viaggiatori della stazione di Napoli[3] (1954-59) e la nuova stazione ferroviaria di Savona, realizzata dalla stessa impresa romana (1958-61). Il confronto tra l'opera calabrese e il complesso ligure rivela le specificità del caso meridionale. Le due esperienze sono, per un verso, accomunate dalla medesima visione urbana, che fa della stazione una parte di un disegno più generale; per un altro verso, sul piano costruttivo, emergono le differenze, anche se in entrambi i casi è adottata la struttura in calcestruzzo armato. La stazione di Savona si distingue per un meccanismo strutturale nel quale campeggiano le grandi figure dei pilastroni a sezione sagomata per raccordare il fusto con le travi di copertura a sezione scatolare, secondo un'iconografia cara a Nervi. La stazione di Vaglio Lise, complice l'impostazione data da

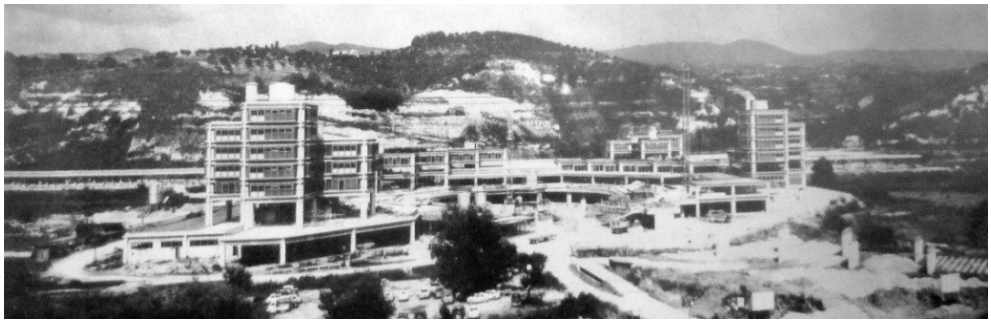


Fig. 2 - Il cantiere della nuova stazione ferroviaria a Cosenza (Nervi & Bartoli, 1972).

Sara Rossi, è invece una composizione articolata, il cui profilo è scandito dal volume circolare dei vani scala, segno evidente della mano di Rossi, che richiama altri progetti dell'architetto, come i concorsi per una scuola media a Bologna e per il teatro comunale a Cagliari (1959-64), e quello per l'ospedale di Pietralata (1968). In questo disegno la struttura è orchestrata su un registro modulare, la maglia quadrata 10 m ·10 m, ridotta a una scala più minuta dal canone edilizio di 125 cm · 125 cm, su cui sono impostate l'impaginazione delle facciate e il reticolo secondario dei travetti del solaio dell'atrio.

Nel libro-catalogo delle sue realizzazioni, la Nervi e Bartoli avverte che «data la varietà dei manufatti costituenti l'insieme strutturale dell'opera, completamente in c.a., si sono usati i metodi costruttivi che di volta in volta meglio si adattavano alle varie lavorazioni, così si sono utilizzate casseforme in fiberglass, legno, acciaio, elementi prefabbricati» (Nervi, 1972). In effetti, nel complesso cantiere della stazione si ritrovano, tra l'altro, le condizioni ottimali per l'applicazione del procedimento per solai a campata regolare che Nervi introduce nel 1949 nel cantiere della Manifattura Tabacchi di Bologna, basato sull'uso di casseforme prefabbricate montate su ponteggi mobili.

A Vaglio Lise, la campata 10 m · 10 m, circoscritta dalle travi principali è suddivisa in 16 campi da travetti secondari disposti con un passo di 2,50 m e collegati dalla soletta superiore (Mornati, 2009). Per ogni campata è necessario l'impiego di 16 casseforme, prefabbricate a terra da stampi matrice di tre differenti dimensioni, su cui vengono disposti gli strati di rete metallica che fungono da armatura e poi applicati sottili spessori di malta cementizia. In realtà, ragioni operative hanno poi suggerito l'impiego di casseforme tradizionali per il getto del solaio dell'atrio, evidenziando anche in questo caso l'adozione di un correttivo in corso di esecuzione (Mornati, 2010). Anche i tamponamenti sono realizzati con tecniche molteplici: parti più tradizionali in laterizio con intercapedine isolata, parti prefabbricate con finestre a tutt'altezza e altre risolte con lastre in Glasal[4] con strato termoisolante (Mornati, 2010). Un episodio a sé è la cappella ricavata nel fabbricato viaggiatori della stazione delle Ferrovie dello Stato; in questo caso, il volume, completamente in calcestruzzo armato a vista, ha una pianta circolare con un diametro di 12,70 m e una copertura costituita da un piano inclinato con intradosso nervato. La realizzazione sfrutta la pluridecennale esperienza della Nervi e Bartoli nel campo della prefabbricazione strutturale, procedimento messo a punto da Nervi per governare in maniera originale la realizzazione di coperture complesse in calcestruzzo armato attraverso la scomposizione del sistema in elementi semplici, prefabbricati a terra e ricomposti in opera con l'uso di getti di collegamento. Nella cappella di Vaglio Lise sono previsti undici stampi per realizzare, in cantiere, i diversi elementi che compongono il disegno del solaio di copertura; una volta montati i componenti prefabbricati e disposte le armature delle nervature e della soletta, la sezione è completata con il getto in opera (Mornati, 2010).

La stazione di Vaglio Lise è, tra le opere realizzate in Calabria, l'esperienza in cui il ricorso alla tipizzazione degli elementi costruttivi è più netto. Un modo di costruire, finalizzato alla prefabbricazione in cantiere di casseri a perdere e di parti strutturali da assemblare in opera, su cui Nervi e la sua impresa hanno basato il successo di decenni e con cui hanno segnato il panorama costruttivo italiano. L'applicazione calabrese arriva però tardivamente, quando si è già consumata la crisi della costruzione artigianale evoluta di cui la Nervi e Bartoli è stata protagonista fino all'alba degli anni Sessanta. La stazione, entrata in funzione nel 1987, patisce oggi un evidente degrado, che interessa in particolare le parti in calcestruzzo a vista; infatti, solo l'ala delle Ferrovie dello Stato è stata interessata, nei primi anni 2000, da un intervento di risanamento.

I progetti non realizzati tra visioni urbane e industrializzazione edilizia

Due episodi, seppure non realizzati, meritano un'annotazione specifica utile a completare il quadro sul lavoro di Nervi e Bartoli in Calabria. Il primo riguarda la sistemazione del Lido Genoese Zerbi, commissionata a Nervi nel 1960 (Nervi, b. P34-1). Il progetto rimane sulla carta e testimonia la faticosa interazione tra la committenza e lo studio Nervi, protagonista della proposta. La vicenda si rivela da subito complessa per lo studio dell'ingegnere, con arresti e ripartenze del processo progettuale che la corrispondenza tra il gruppo romano e la committenza documentano. Il maestro coinvolge da subito il figlio Antonio del quale nel marzo del 1961, a circa nove mesi dalla lettera d'incarico, annuncia al sindaco di Reggio, Giuseppe Quattrone, l'arrivo sullo stretto per «il primo sopralluogo» (Nervi, b. P34-1), giustificando la sua impossibilità a partecipare personalmente all'incontro. Nel volgere di tre mesi una prima versione del progetto viene consegnata al Comune; la proposta è presentata da Nervi in una lettera a Quattrone come «un'impostazione promettente» (Nervi, b. P34-1), in cui lo studio romano esordisce con una visione urbana del tema progettuale che estende l'impronta dell'intervento al rapporto con il lungomare Giacomo Matteotti. I disegni, datati 12 giugno 1961, restituiscono un impianto segnato alla grande scala dalla viabilità veicolare, risolta con due viadotti e un sistema di sottopassaggi pedonali e carrabili, raccordati con aree di parcheggio (Nervi, b. P34-2). L'impatto della proposta sull'amministrazione comunale non è dei più confortanti: il salto di scala determinato dai viadotti sul tessuto urbano esistente viene considerato non coerente con le aspettative della committenza, preoccupata anche dei costi. Nel gennaio 1962 lo studio Nervi, non è chiaro se nella persona di Pier Luigi o del figlio Antonio, scrive a Quattrone annunciando che ha iniziato a lavorare alla sistemazione del lido alla luce «delle ultime notizie raccolte nei giorni scorsi» (Nervi, P34-1) in occasione di una visita a Reggio Calabria. Una nuova versione documenta l'aggiornamento del progetto, che recepisce un primo ridimensionamento suggerito dalle osservazioni della committenza e si impianta su una *promenade* pedonale posta in

continuità con il lungomare Matteotti, interpretata dai progettisti come «la spina dorsale di tutta la zona Lido», attrezzata con aree di riposo e studiata «in modo da contenere nei due piani sottostanti tutte le cabine degli stabilimenti balneari» (Nervi, P34-1). Nel febbraio 1962 l'amministrazione reggina definisce il piano di Nervi come una soluzione con «i requisiti indispensabili per una pratica graduale attuazione», necessaria per consentire il reperimento delle risorse finanziarie. L'attuazione del piano è affidata, a partire dal 1964, allo studio reggino di Elisa Laface e Vincenzo Ziparo, pervenendo a realizzazioni parziali.

All'inizio degli anni Settanta risale un altro progetto non realizzato, sviluppato dallo studio romano in collaborazione con la Costruzioni Generali Farsura-Cogefar S.p.A. e la Nuovo Pignone S.p.A. in occasione del concorso internazionale per la nuova Università degli studi della Calabria, bandito il 20 luglio 1972. Il gruppo che si forma per il bando di concorso comprende lo studio Nervi, impegnato nella progettazione con un team appositamente formatosi, nel quale spiccano i nomi di Antonio Nervi e Sara Rossi, e le imprese Cogefar e Nuovo Pignone, che «posseggono una notevole esperienza nel campo della prefabbricazione» (Nervi, b. P88), e i cui sistemi costruttivi sono alla base della proposta per il campus calabrese. Il bando di concorso riguarda la realizzazione dei dipartimenti e delle relative attrezzature e servizi, che vanno ad aggiungersi al primo gruppo di strutture del campus, all'epoca già in fase di realizzazione. Il progetto del gruppo Nervi-Cogefar-Nuovo Pignone, in Figura 3, prefigura un impianto a sviluppo lineare, in cui si distinguono macro-unità primarie che ospitano i servizi e le attrezzature collettive, sistemate su una griglia formale e costruttiva modulare, e un sistema minore, riservato alle residenze, che riproduce alla piccola scala la geometria quadrata dell'apparato maggiore. Da un punto di vista costruttivo, considerata la natura del gruppo formatosi, la proposta si fonda sull'im-

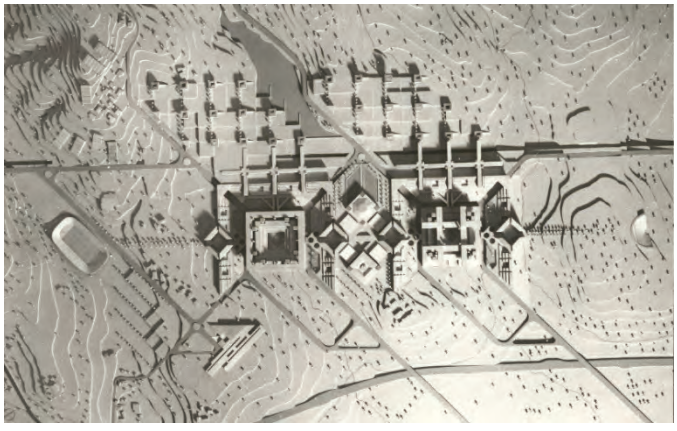


Fig. 3 - Progetto per l'Università della Calabria, vista del modello (MAXXI).

piego di sistemi di prefabbricazione pesante, che chiariscono anche la rigidità formale dell'impianto complessivo. La corrispondenza tra i soggetti del gruppo di concorso dà conto di un sopralluogo compiuto da incaricati della Cogefar nell'autunno 1972, i cui esiti evidenziano che «l'andamento altimetrico del terreno è favorevole all'impiego della prefabbricazione pesante» in ampie zone, e che sarà comunque necessario valutare per alcune parti l'impiego dei sistemi pesanti in relazione all'andamento delle curve di livello, che «la rete stradale esistente non è adatta, in generale, al traffico con mezzi pesanti», che l'area è «intensamente coltivata ed abitata» e che di ciò si dovrà tener conto nell'utilizzo dei terreni nella fase di costruzione (Nervi, b. P88). Il progetto per il campus di Cosenza, pur se non selezionato dalla giuria, è utile per mettere in luce nell'esperienza del gruppo romano in Calabria alcuni aspetti non ricorrenti nell'operato della filiera Nervi, abituata, almeno nei suoi primi trent'anni di attività, a controllare l'intero processo ideativo e costruttivo delle sue commesse.

Conclusioni

I risultati della ricerca, ancora in corso, consentono al momento di osservare approcci diversi nell'attività dell'impresa in Calabria. Giova ricordare, per delineare il quadro operativo, che a partire dai primi anni Sessanta del secolo scorso Pier Luigi Nervi, forte di uno studio nel quale ha al suo fianco i tre figli, ha rivolto all'estero una parte importante dell'attività, mentre la Nervi e Bartoli ha visto ridimensionare l'impronta della sua presenza sulla scena interna, causa le mutate condizioni economiche e tecnologiche del Paese che hanno reso non più competitivi i procedimenti di prefabbricazione strutturale su cui si era modellata la fortuna dell'impresa nei decenni precedenti.

Un primo tratto dell'attività calabrese è legato all'impiego dei procedimenti in opera, come testimonia il cantiere della Banca d'Italia a Catanzaro. Un secondo elemento distintivo emerge dal progetto di concorso per la nuova università della Calabria a Cosenza: la proposta appartiene a una stagione specifica del lavoro della compagine romana, avviatasi alla metà degli anni Sessanta e consolidatasi negli anni successivi. La fama raggiunta grazie alle opere italiane degli anni Quaranta-Cinquanta e il palcoscenico internazionale conquistato con gli interventi per le Olimpiadi romane e l'esposizione Italia '61 di Torino hanno fatto del gruppo Nervi un riferimento coinvolto in consulenze e progettazioni localizzate nei cinque continenti. Questa circostanza, insieme al progressivo avanzare dell'industrializzazione e all'incremento del costo della manodopera, ha imposto un cambiamento di approccio profondo nell'operato del microcosmo Nervi, il cui esito più immediato sono state l'impossibilità di controllare, attraverso la combinazione studio di progettazione-impresa, l'intero processo progettuale-costruttivo e la necessità di aprire a collaborazioni con altri attori, con la conseguente ibridazione delle procedure e delle tecniche originariamente privilegiate. La cooperazione con Cogefar e Nuovo Pignone è un

esempio di questo approccio mutato, che ha portato lo studio Nervi ad abbandonare nei progetti i procedimenti di prefabbricazione in opera, in favore di soluzioni industrializzate sulle quali orchestrare il sistema formale e funzionale della proposta. D'altra parte, in quello stesso frangente, nel cantiere della stazione ferroviaria di Cosenza, un piccolo ma prezioso episodio, la cappella del complesso, conserva i segni del modo di costruire della filiera Nervi, episodio tra gli ultimi, e purtroppo dimenticato, dell'atteggiamento più identitario della Nervi e Bartoli.

Nel complesso, i primi riscontri dell'analisi condotta sui singoli casi, ha messo in evidenza la difficoltà a trasferire in condizioni di efficienza economico-costruttiva le procedure collaudate dall'impresa in altre aree del Paese, come testimonia il caso della stazione ferroviaria a Cosenza.

Risorse archivistiche

Roma, Museo delle Arti del XXI secolo, Pier Luigi Nervi, b. P34-1.
Roma, Museo delle Arti del XXI secolo, Pier Luigi Nervi, b. P34-2.
Roma, Museo delle Arti del XXI secolo, Pier Luigi Nervi, b. AP88.
Roma, Museo delle Arti del XXI secolo, Pier Luigi Nervi, b. P88.

Bibliografia

Mornati S. 2009. P.L. Nervi a Cosenza: il fabbricato viaggiatori della nuova stazione ferroviaria in contrada Vaglio Lise. L'Industria delle costruzioni, 406, 110-111.

Mornati S. 2010. Il magistero di Pier Luigi Nervi nella stazione ferroviaria di Vaglio Lise a Cosenza. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 3° Convegno Nazionale*, II, 1109-1118. Napoli: Cuzzolin Editore.

Nervi & Bartoli. 1972. *Ingg. Nervi & Bartoli. Società per azioni.* Roma: Ingg. Nervi e Bartoli.

Red. 1962. Prefabbricazione. Domus, 395, 52.

Sestito M. (a cura di). 2007. *Saul Greco. Lo scatto angolare*. Catanzaro: Grafiche Simone.

Note

[1] Lo studio delle opere della Nervi e Bartoli in Calabria è in corso e gli esiti presentati in questo scritto parziali. Esso è parte del Progetto di rivelante interesse nazionale (PRIN 2022) "La prefabbricazione leggera: conoscenza, monitoraggio e riqualificazione del patrimonio architettonico del secondo Novecento nelle regioni Calabria e Lazio", finanziato dall''Unione europea – Next Generation EU. L'analisi è basata in larga parte su materiale degli archivi Nervi, conservati presso il Museo delle Arti del XXI secolo (MAXXI) a Roma e il Centro Studi e Archivio della Comunicazione (CSAC-Università di Parma). Molti dei disegni riguardanti le opere conservati nell'archivio CSAC al momento di stesura di queste note non sono consultabili.

[2] Tavella di laterizio di spessore ridotto (3-4 cm).

[3] Progetto di concorso con G. Vaccaro e M. Campanella.

[4] Il Glasal, utilizzato per pannelli di facciata in combinazione con strati isolanti, è un materiale a base di cemento amianto con una delle facce trattata con smalto minerale per aumentarne la durabilità (Red, 1962).

Ilaria Giannetti, Stefania Mornati

Il progetto e la costruzione dei grandi collettori bassi delle fogne di Roma (1882-1925)

Design and construction of the modern collector sewers in Rome (1882-1925)

Sommario
L'inalveazione del fiume Tevere, condotta nell'ultimo trentennio dell'Ottocento, a difesa della città dalle periodiche inondazioni è una grandiosa opera di ingegneria moderna. Parte integrante del progetto di difesa idraulica sono i grandi collettori bassi delle fogne cittadine: ampie gallerie sotterranee in muratura che, correndo parallele alle nuove sponde murarie, per una lunghezza totale di 30 km, accolgono le acque della rete fognaria e quelle provenienti dalle fontane, scaricandole nel fiume Tevere, a valle della città. Il progetto dei collettori, datato 1882, è firmato da Giacomo Zucchelli, ingegnere capo dell'Ufficio Speciale per la Sistemazione del Tevere: la proposta definisce il percorso, le sezioni tipo, i dettagli del rivestimento delle gallerie e le tipologie architettoniche e costruttive dei manufatti di scarico e di incrocio. I cantieri si avviano nel 1883 e si concludono nel 1925, dopo 33 anni di lavori per il collettore destro e 42 anni per il sinistro. Il presente contributo racconta la storia del progetto e della lunga costruzione di questa straordinaria infrastruttura idraulica, attraverso lo studio dell'inesplorata documentazione di archivio, consistente in disegni, relazioni e fotografie di cantiere, prodotta dall'Ufficio Speciale per la Sistemazione del Tevere e oggi conservata presso l'Archivio di Stato di Roma.

Abstract
In the last thirty years of the 19th Century, canalizing the Tiber River to defend the city of Rome from flooding was a daring work of modern engineering. The design of a novel sewage system was significant to the hydraulic defence project as a substantial part of the river embankment. The structure consisted of two large underground masonry tunnels, which, running parallel to the retaining walls, collected the waters of the ancient sewage network, discharging them downstream of the city. The project of the collector sewers, dated 1882, was signed by Giacomo Zucchelli, Chief Engineer of the so-called "*Ufficio speciale per la Sistemazione del Tever*e" within the "*Genio Civile di Roma*." The Zucchelli proposal defined the path, the standard sec-

tions, the construction details of the underground tunnels, and the architecture of the drainage and crossing structures. Works began in 1883: building the right path of the collector sewer took over 33 years; the left path over 42. The present paper focuses on the project's history and the construction site of this monumental hydraulic infrastructure by studying the archival documents - drawings, reports, and photographs - produced by the former "*Ufficio speciale per la Sistemazione del Tevere."*

Introduzione

Il 28 dicembre 1870, pochi mesi dopo l'annessione di Roma al Regno d'Italia, una straordinaria piena del fiume Tevere allaga il centro della città. Il 1° gennaio 1871 il Governo affida a una Commissione d'ingegneri idraulici l'incarico di «studiare e proporre i mezzi per rendere le piene del Tevere innocue alla città di Roma, migliorandone anche le condizioni igieniche ed edilizie» (Atti Commissione, 1872). La Commissione, presieduta da Carlo Possenti (1806-72) e composta da undici tecnici, si accorda sulla proposta di Raffaele Canevari (1828-1900): il progetto prevede la regolarizzazione dell'alveo del fiume nel tratto urbano, realizzando una imponente struttura d'argine composta da "insommergibili" muri di sponda, i "Muraglioni", ampie banchine di approdo e canali collettori sotterranei.

I collettori sono considerati parte integrante della difesa idraulica della città in quanto l'inefficienza del sistema fognario contribuisce a peggiorare gli effetti dannosi delle inondazioni: le acque rigurgitano dalle fogne «irrompendo negli abitati da essi sottopassati», con malefici effetti sulla salubrità del centro abitato (Baccarini, 1875; Carcani, 1875, p. 69). Prima dell'avvio dei cantieri, la proposta di Canevari è oggetto di una sostanziale modifica nel disegno dell'argine che rende indipendenti le gallerie dei collettori dalla struttura del muro.

Il progetto dei collettori: caratteri generali (1876-78)

Inizialmente concepiti nella proposta Canevari come strutture accessorie dei muri di sponda, in Figura 1, i collettori sono definiti "infrastruttura indipendente", con voto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 19 novembre 1875 (Canevari, 1901). Il progetto, che sviluppa la proposta di adeguamento delle fogne cittadine elaborata nel 1874 dall'Ingegnere Capo della Divisione Idraulica Municipale Angelo Vescovali (1826-1895), è reso esecutivo nel 1877 con la nomina, da parte del sindaco di Roma Pietro Venturi, di una Commissione di tecnici presieduta dall'ingegnere Raffaele Pareto (1812-1882), Ispettore del Genio Civile, e composta da sette tecnici[1], tra i quali lo stesso Vescovali (Corsetti, 1925). La proposta della Commissione prevede la completa indipendenza delle gallerie dei collettori, in Figura 2, dalla struttura dei muraglioni e si articola su due punti fondamentali: i collettori devono servire tutta l'area all'interno delle mura[2], costituendo al contempo un sistema di smaltimento delle acque piovane, e la rete si compone di due grandi condotti prevalentemente

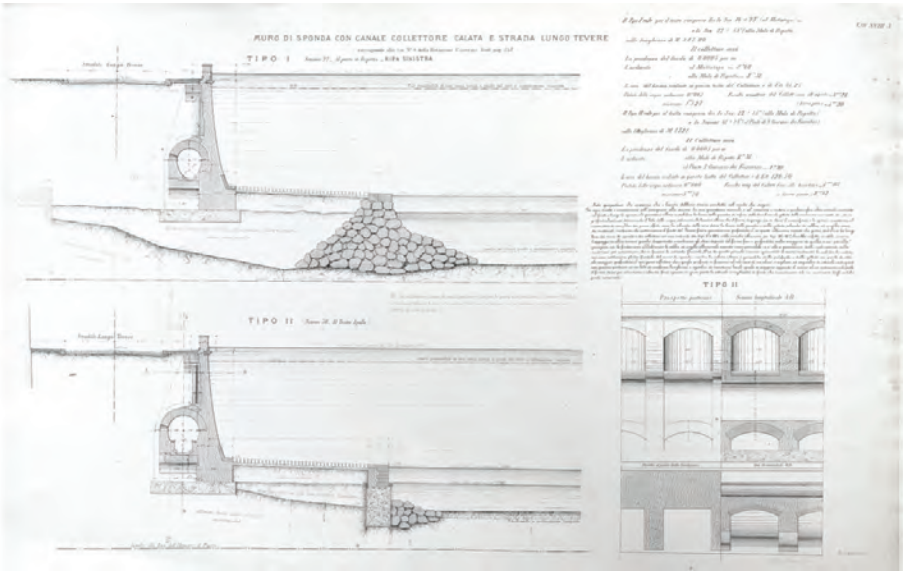


Fig. 1 - R. Canevari: profilo dell'argine, composto da muraglione, banchina e collettore, 1871 (Archivio di Stato di Roma, Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano).

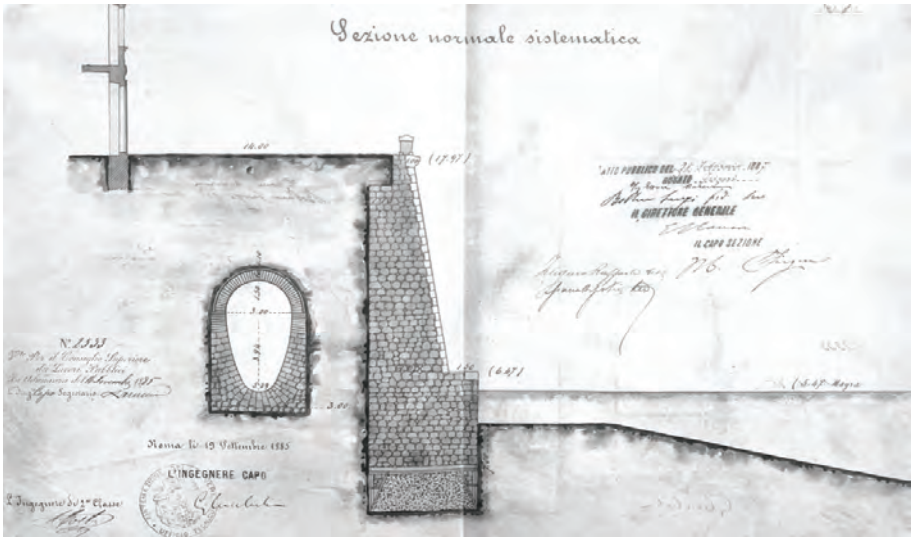


Fig. 2 - Ufficio Speciale per la Sistemazione del Tevere, profilo del muraglione e del collettore, 1885 (Archivio di Stato di Roma, Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano).

ipogei, detti “collettori bassi”, che seguono il percorso degli argini fluviali scaricando nel fiume a valle della città e di ulteriori condotti, detti “collettori medi o alti”, che scaricano nei primi o direttamente nel fiume.

La sezione trasversale delle gallerie ipogee è ovale, continua, e senza banchine interne, mentre la sezione dei tratti fuori terra è caratterizzata da uno speco murario con sponde inclinate; tutti i condotti presentano una pendenza costante non inferiore al 0,5‰ considerando la quota di sbocco non inferiore a quella delle acque del fiume in condizioni di magra.

Il progetto esecutivo di Giacomo Zucchelli (1882)

Nel frattempo, il 28 gennaio 1876, è istituito l’Ufficio Tecnico Speciale per la sistemazione del Tevere, una sezione autonoma del Corpo Reale del Genio Civile di Roma cui è interamente demandato il coordinamento tecnico e amministrativo della costruzione delle strutture di inalveazione del fiume, compresi i nuovi collettori. Tra il 1877 e il 1886, l’Ufficio è diretto dall’ingegnere Giacomo Zucchelli (De Meo *et al*., 2022).

Nel 1882, Zucchelli è incaricato di sviluppare il progetto di massima per la realizzazione dei collettori sulla base della proposta della Commissione Pareto. Il progetto considera tre aspetti fondamentali: l’andamento planimetrico dei nuovi condotti, in termini di origine, percorso e bacino tributario; il loro andamento altimetrico, definito in base alle quote di piena del fiume Tevere e al livello delle fogne esistenti; la determinazione delle sezioni corrispondenti ai diversi tronchi dei condotti[3]. In particolare, la definizione dell’andamento planimetrico dei collettori, sulle due sponde, è oggetto di lunghe discussioni tra Zucchelli e la Giunta Municipale, vista la necessità di accordare il percorso e lo sviluppo dei condotti alle imponenti e continue trasformazioni edilizie e urbane. Ad esempio, in riva sinistra Zucchelli caldeggia il prolungamento del collettore a nord, fino ai cosiddetti Sassi di S. Giuliano, in vista dell’espansione edilizia prevista nella pianura Flaminia, mentre la Giunta Municipale, su parere di Vescovali, riteneva sufficiente l’inizio del condotto alla porta del Popolo.

Il progetto si attesta, poi, su una soluzione intermedia che prevede in riva sinistra l’inizio del condotto al cosiddetto fosso della Rondinella e l’attraversamento dei terreni compresi tra il fiume e la pianura Flaminia, allora ancora adibiti a orti e vigne. Superata la porta del Popolo, il collettore si accosta alle sponde del fiume fino alla Piazza Bocca della Verità, poi, distaccandosi nuovamente, attraversa il Monte Aventino per ricongiungersi all’argine oltre il quartiere Testaccio; infine, dopo avere attraversato, lungo la Via Ostiense, i corsi d’acqua dell’Almone, della Marrana di Grotta Perfetta e di quella delle Tre Fontane, scarica nel fiume alla risvolta di Mezzocammino, come mostrato in Figura 3. In riva destra, invece, il progetto di Zucchelli prevede l’origine del condotto presso il Viale delle Milizie, l’attraversamento del quartiere e l’avvicinamento agli argini nei pressi di Castel Sant’Angelo, da dove costeggia il fiume fino al Ponte Garibaldi; poi, sottopassando il piazzale della ferrovia

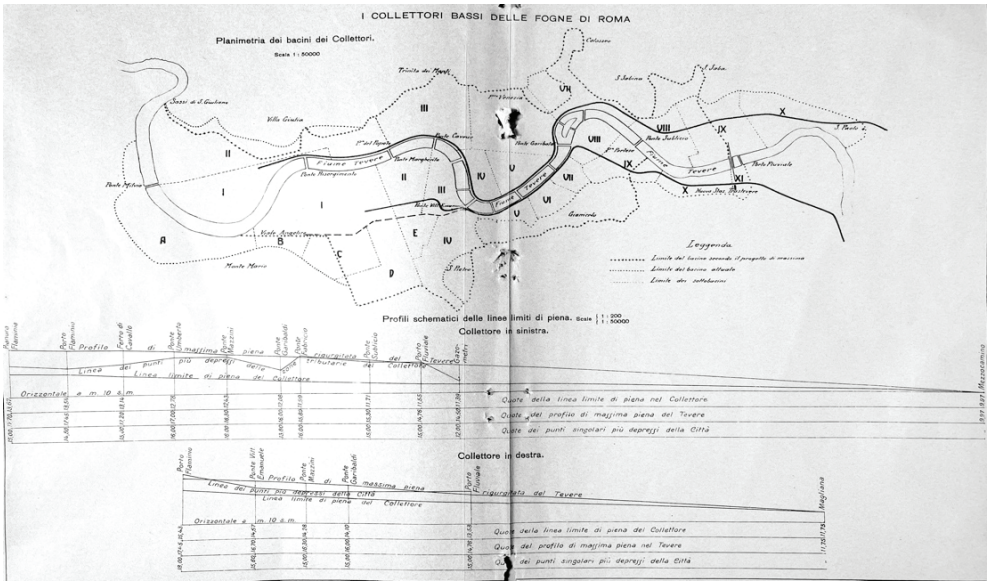


Fig. 3 - Planimetria e profilo del percorso dei collettori con identificazione degli 8 bacini tributari, delle quote e delle pendenze (Corsetti, 1925).

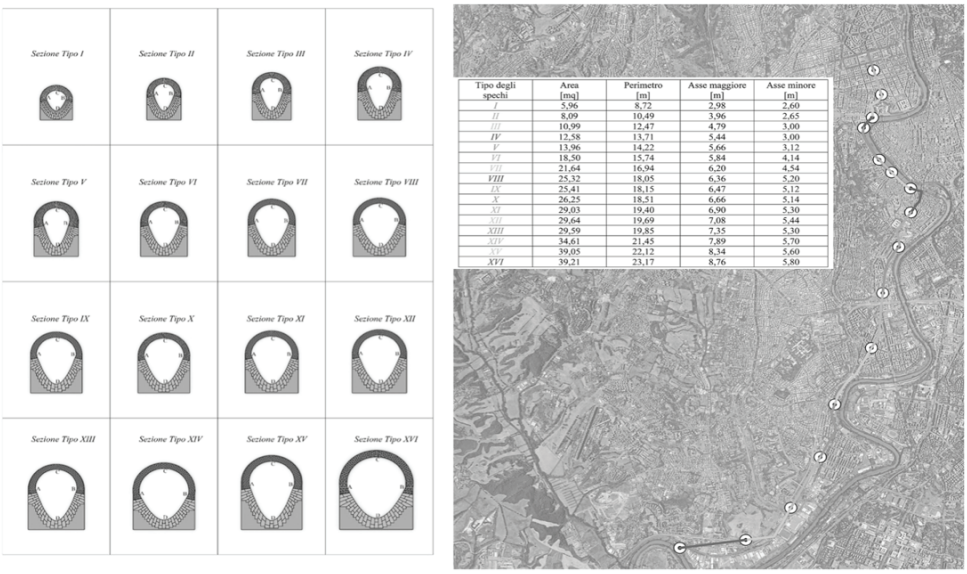
di Trastevere e attraversando nuovamente la via ferrata, raggiunge i piedi del Colle di Santa Passera oltre il quale prosegue, con canale scoperto, fino alla Magliana, dove sfocia nel fiume, come mostrato sempre in Figura 3.

Alla luce del nuovo assetto planimetrico, il profilo altimetrico previsto dalla Commissione può essere rispettato solo per il collettore destro. In riva sinistra, infatti, per rispettare l'intersezione con le fogne già esistenti nelle zone più basse della città, tra cui la fogna della Bella Giuditta, quella dell'Olmo e la Cloaca Massima, è possibile rispettare una pendenza di solo 0,4‰ rispetto al previsto 0,5‰, fissando la quota di sbocco nel fiume a 1 metro sotto il livello di magra, si veda Figura 3.

Il progetto di Zucchelli si concentra, poi, su un accurato studio della geometria e dei dettagli costruttivi dei condotti.

La sezione ovale proposta dalla Commissione si trasforma in una curva che, composta dall'unione di due archi parabolici, presenta diametri crescenti dall'origine fino allo sbocco del condotto nel fiume. Le dimensioni sono desunte applicando un'unica legge che tiene conto, per ciascun tratto, della distanza lineare dall'origine del condotto, oltre che del contributo del bacino tributario delle fogne esistenti, suddiviso in 8 sottobacini: in questo modo sono definiti, per entrambi i collettori, 16 trochi di dimensione crescente dall'origine allo scarico, in Figura 4.

Per i condotti in galleria, la parte inferiore dello speco si realizza in muratura di tufo, con grandi blocchi a cuneo allettati in malta di calce e pozzolana, e la volta in



Tipo degli specchi	Area [mq]	Perimetro [m]	Asse maggiore [m]	Asse minore [m]
I	5,96	8,72	2,98	2,60
II	8,09	10,49	3,96	2,65
III	10,99	12,47	4,79	3,00
IV	12,58	13,71	5,44	3,00
V	13,96	14,22	5,66	3,12
VI	18,50	15,74	5,84	4,14
VII	21,64	16,94	6,20	4,54
VIII	25,32	18,05	6,36	5,20
IX	25,41	18,15	6,47	5,12
X	26,25	18,51	6,66	5,14
XI	29,03	19,40	6,90	5,30
XII	29,64	19,69	7,08	5,44
XIII	29,59	19,85	7,35	5,30
XIV	34,61	21,45	7,89	5,70
XV	39,05	22,12	8,34	5,60
XVI	39,21	23,17	8,76	5,80

Fig.4 - Ricostruzione della geometria e georeferenziazione dei XVI tronchi del condotto in galleria del collettore destra (GIS e disegni di S. Campioni).

muratura di mattoni; un intonaco di malta cementizia riveste internamente la parte inferiore del condotto, fino al livello di massima piena, mentre la calotta presenta un intonaco di calce e pozzolana, come visibile in Figura 5. Per i condotti scoperti, il canale, di forma trapezoidale con raccordo circolare, è realizzato in muratura di tufo, con blocchi squadrati e allettati con malta di calce e pozzolana, e protetto da due argini in terra, ancora in Figura 5.

Manufatti accessori

Oltre il condotto, il collettore si compone di opere sussidiarie: i manufatti di ispezione, di incrocio e di attraversamento dei corsi d'acqua, di scarico.

I manufatti di scarico, così come quelli di incrocio, sono muniti di dispositivi meccanici e paratoie metalliche che non permettono l'entrata di acque esterne nel condotto principale, si veda la Figura 6. I manufatti di attraversamento caratterizzati da sistemi idraulici più complessi, sono 6 in sponda destra per l'attraversamento della Marrana Mariana, del Torrente Almone, della Marrana di Grottaperfetta e dei Fossi delle Tre Fontane, di Tor di Valle, e del Torraccio, e 3 in sponda sinistra, per l'attraversamento della Marrana del Gelsomino, del fosso di Pozzo Pantaleo e dei fossi di Papaleone e di Affogalasino. Oltre ai due manufatti di sbocco nel fiume sono previsti manufatti di scarico provvisorio, necessari alla segmentazione della rete dei condotti in fase di costruzione e di manutenzione. Per la realizzazione delle opere

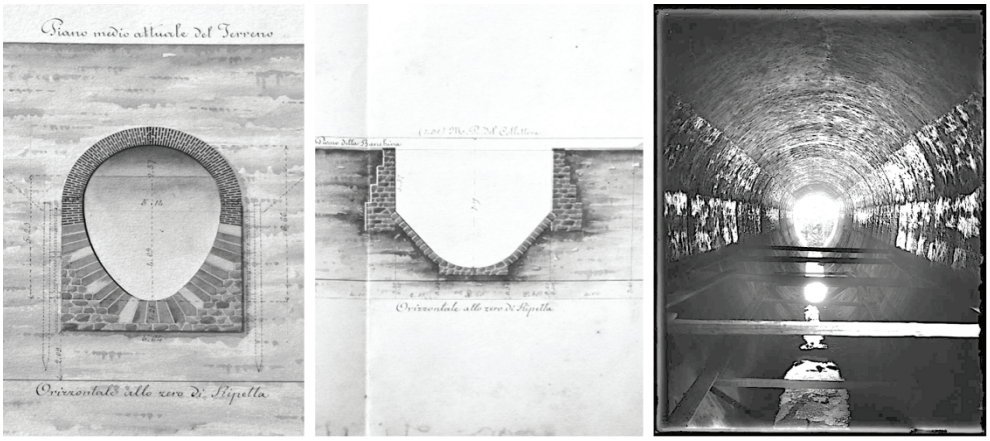


Fig.5 - Sezione delle gallerie e dei condotti scoperti, 1882, a sinistra e al centro, e interno di una galleria, s.d. [presumibilmente anni '20 del Novecento], a destra (Archivio di Stato di Roma, Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano).

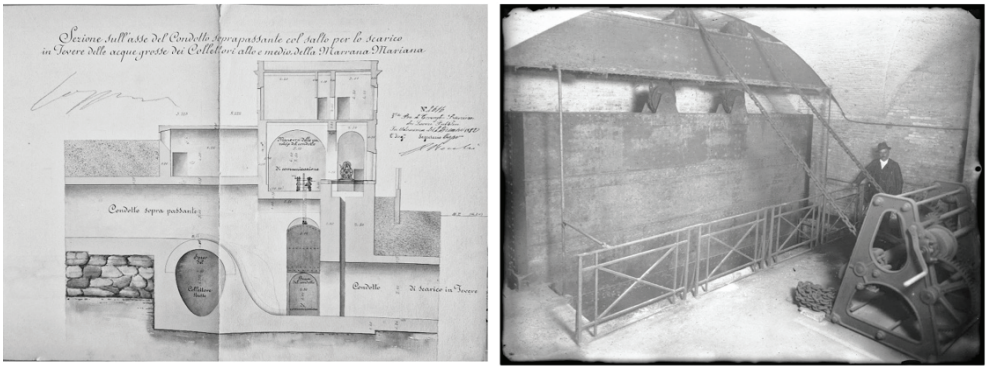


Fig.6 - Sezione e interno del manufatto di attraversamento della Marrana Mariana (Archivio di Stato di Roma, Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano)

fuori terra dei manufatti sussidiari è definito un solo tipo edilizio, caratterizzato da muratura di elevazione in blocchi di tufo, solai misti con putrelle di ferro e voltine in mattoni e facciate esterne scandite da elementi decorativi in pietra, in Figura 6.

Il cantiere dei collettori

I lavori, avviati in sponda sinistra nel 1883 e a destra nel 1884, si svolgono nell'arco di un trentennio e vengono completati tra il 1923 e il 1925.

Per le gallerie che corrono parallele alle sponde, il cantiere si uniforma a quello della costruzione dei muraglioni al fine di sfruttare un unico scavo di fondazione, realizzato con l'impiego di aria compressa. La costruzione delle gallerie prevede tre fasi: realizzato lo scavo, puntellato o a pareti inclinate, di larghezza pari alla distanza dei piedritti della volta, si costruiscono le opere in muratura di tufo, il basamento e i piedritti della volta, si allestiscono le centine lignee e si passa alla posa della calotta in mattoni; in Figura 7 sono riportate alcune immagini relative alla costruzione.

I lavori avanzano di tronco in tronco, non necessariamente da monte a valle, sfruttando una serie di manufatti di scarico provvisori, poi impiegati per la manutenzione dell'opera. Sono caratterizzati da una minuta frammentazione dei lotti e dalla molteplicità degli attori coinvolti: in accordo alla dimensione delle imprese locali, molte delle quali già impegnate nella costruzione dei muraglioni, il cantiere del collettore in sponda destra è suddiviso in 22 lotti, affidati a 12 diverse imprese, il cui elenco è riportato in Tabella 1, mentre in Tabella 2 compaiono le 14 imprese cui vengono affidati i 24 lotti del collettore in sponda sinistra. Tra le imprese si distingue la svizzera Zschokke e Terrier che, già coinvolta per la costruzione di un ingente lotto dei muraglioni comprendente le sponde in corrispondenza dell'Isola Tiberina, è proprietaria di mezzi d'opera necessari alla realizzazione degli scavi in aria compressa, altrimenti non reperibili in Italia (Giannetti e Mornati, 2022).

La segmentazione del cantiere è finalizzata, da un lato, all'accorpamento dei lotti che comprendono le gallerie parallele alle sponde con quelli dei rispettivi tratti di muraglione, al fine di ottimizzare le operazioni di scavo in presenza di acqua (Commissione Vigilanza, 1882) e, dall'altro, a isolare i lotti che presentano lavorazioni più difficili. In questo senso, particolarmente complessi si rivelano gli scavi per le gallerie poste al di sotto del tessuto edilizio storico, come nel tratto del collettore

Fig. 7 - Scavo indipendente e realizzazione della volta in mattoni della galleria del collettore (Archivio di Stato di Roma, Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano).

Tab. 1 - Lotti e imprese coinvolte nella costruzione del collettore destro.

n.	Indicazione delle opere	Impresa costruttrice	Data contratto	Costo lavori [£]
1	Tratto da Viale delle Milizie a Ponte Elio	Attilio Magnani	25 luglio 1884	307.752,43
2	Attraversamento argine Stazione Trastevere	Zschokke Corrado	2 ottobre 1886	84.373,99
3	Tratto adiacente al ponte S. Giovanni dei Fiorentini	Ettore Basevi	28 febbraio 1887	31.500,00
4	Tratto di 115 m a valle della Stazione Trastevere	Domenico Vitali	25 aprile 1888	128.412,98
5	918m tra ponte Garibaldi e la Stazione Trastevere	Domenico Vitali	15 ottobre 1888	76.479,96
6	Tratto da S. Giacomo alla Lungara a ponte Sisto	Domenico Granieri	17 dicembre 1888	297.001,67
7	Tratto dalle mura Settimiane a ponte Garibaldi	Domenico Vitali	11 febbraio 1891	432.274,60
8	Tratto di 400 m a valle della Stazione Trastevere	in economia	28 febbraio 1892	320.567,20
9	Tratto di 100 m a valle del precedente	Società Cooperativa Braccianti Ravenna	19 giugno 1893	70.762,20
10	Tratto di 90 m a valle del precedente	Società Coperativa Vitruvio	25 agosto 1893	73.024,95
11	Tratto di 70 m a valle del precedente	Società Cooperativa Braccianti Ravenna	14 settembre 1893	73.195,80
12	Tratto di 120 m a valle del precedente	Società Cooperativa Braccianti Ravenna	4 giugno 1891	73.145,32
13	Tratto di 140 m a valle del precedente	Società Coperativa Vitruvio	8 febbraio 1895	73.746,87
14	Tratto di 125 m a valle del precedente	Società Cooperativa Braccianti Ravenna	29 novembre 1895	67.893,52
15	Tratto di 46,5 m sotto ferrovia Roma-Pisa	Società Mediterranea	4 maggio 1896	60.970,50
16	Tratto di 118,92 m a valle del tratto al n°14	Società Coperativa Vitruvio	23 giugno 1896	47,194,07
17	Tratto da ferrovia Roma-Pisa a fosso Pantaleo	Giulio Mazzetti	18 dicembre 1897	443.512,39
18	Tratto dal fosso pozzo Pantaleo ai Grottoni	Domenico Vitali	23 febbraio 1898	367.216,10
19	Tratto tra il ponte S. Giovanni dei Fiorentini a S. Giacomo alla Lungara	Domenico Vitali	16 dicembre 1899	250.141,00
20	Da ponte Elio a ponte S. Giovanni dei Fiorentini	Ugo Allegri	24 marzo 1909	233.935,00
21	Tratto da Grottoni a fosso Papaleone	Emilio Zambini	28 ottobre 1909	1.324.788,73
22	Tratto da fosso Papaleone allo sbocco in Tevere	Angelo Mazzantini	7 agosto 1912	1.603.476,80

Tab. 2 - Lotti e imprese coinvolte nella costruzione del collettore sinistro.

n.	Indicazione delle opere	Impresa costruttrice	Data contratto	Costo lavori [£]
1	Tratto tra vicolo dello Struzzo a ponte Rotto	Zschokke & Terrier	4 aprile 1883	1.621.317,45
2	Tratto tra ponte Rotto e l'alberata di San Paolo	Angeletti Aristodemo	27 giugno 1885	4.750.776,09
3	Tratto tra ponte Elio e vicolo dello Struzzo	Basevi Ettore	28 febbraio 1887	737.250,00
4	Tratto tra il Mattatoio e ponte Elio	Medici Luigi	24 novembre 1887	591.094,00
5	Tratto retroposto al porto fluviale Flaminio	Medici Luigi	21 dicembre 1889	149.325,00
6	Tratto dall'origine a porto Flaminio	Vitali Domenico	6 marzo 1894	895.307,65
7	Passaggio torrente Almone	Vitali Domenico	17 aprile 1895	186.030,60
8	Tratto tra l'alberata S. Paolo e Grottaperfetta	Vitali Domenico	16 gennaio 1897	660.725,68
9	Tratto tra Grottaperfetta e fosso tre Fontane	Vitali Domenico	30 marzo 1891	1.162.482,31
10	Spurgo tra Bozza della Verità e S. Paolo	Soci Cop Braccianti Ravenna	6 marzo 1891	82.619,68
11	Tratto da Tre fontane alla progressiva 12713,90	Cappelli Raffaele	21 febbraio 1902	870.748,38
12	Tratto tra le progressive 12893,90 e 13073,90	Unione Coperativa Edilizia	12 marzo 1902	77.766,49
13	Tratto tra le progressive 13233,90 e 13412,90	Unione Coperativa Edilizia	28 ottobre 1903	76.871,55
14	Tratto tra le progressive. 12713, 90 e 12893,90	Coperativa Vitruvio	23 giugno 1903	70.610,45
15	Da via Ostiense al fosso di Grottaperfetta	Boretta Ing. Guido	19 agosto 1903	17.686,05
16	Tratto tra le progressive 13073,90 e 13233,90	Cooperativa Costituzionale Muratori	26 settembre 1903	84.700,34
17	Tratto tra le progressive 14664,90 e 14894,00	Coperativa Vitruvio	3 gennaio 1907	179.138,14
18	Tratto tra le progressive 15632,71 e 15910,71	Coperativa Italia	3 ottobre 1908	322.751,27
19	Tratto tra le progressive 14894,90 e 15188,45	Coperativa Previdente	26 ottobre 1908	133.116,01
20	Tratto tra le progressive 14410,96 e 14665,90	Coperativa Previdente	25 febbraio 1910	165.698,01
21	Vasca a valle del sifone dell'Almone	Società Cementi Armati Gabellini e C.	13 settembre 1913	15.857,19
22	Tratto tra le progressive 15910,70 e lo sbocco a fiume	Consorzio edile Italiano	6 novembre 1913	5.161.605,85
23	Tratto tra le progressive 15188,45 e 15632,71	Serafini Attilio	24 maggio 1914	513.513,86
24	Tratto tra le progressive 13413,90 e 14410,96	Serafini Attilio	23 marzo 1915	6.137.249,96

sinistro sottostante il colle Aventino e in quello del collettore destro che fiancheggia l'argine del fiume, in corrispondenza della villa della Farnesina (Commissione Vigilanza, 1882), e la realizzazione dell'ultimo tratto del collettore sinistro, compreso il manufatto di Grottaperfetta, per la particolare natura del terreno "che tendeva a franare" (Corsetti, 1925).

Ciononostante, i tempi di costruzione si dilatano notevolmente: il cantiere del collettore sinistro, lungo complessivamente 17 km, dura quarant'anni, dal 1883, anno del primo contratto d'appalto, al 1923; quella del collettore destro, lungo complessivamente 11 km, trentatré anni: il primo contratto d'appalto è stipulato nel 1884 e la costruzione si conclude nel 1917. I lavori si allungano anche a causa delle complessità del raccordo dei collettori con l'antica rete fognaria: nel caso del collettore sinistro è coinvolta anche la Commissione Archeologica per l'attraversamento della Cloaca Massima (Betocchi, 1900, pp. 9-10). In cantiere si definiscono alcune varianti del progetto esecutivo: in particolare, il collettore sinistro si realizza interamente in galleria, rinunciando al tratto scoperto previsto nel progetto in previsione dell'espansione edilizia prevista a valle della città, ed entrambi i collettori vengono dotati di una serie di opere di accesso necessarie alla manutenzione, dislocate su tutto il percorso e in numero maggiore a valle della città, per l'accesso alle barche.

Durante tutto il periodo di costruzione dei collettori sono numerosi gli ingegneri del Genio Civile che affiancano Zucchelli nella redazione degli elaborati esecutivi e nella direzione dei cantieri, contribuendo al progetto e all'esecuzione delle strutture: in particolare, tra i firmatari degli elaborati del progetto esecutivo si trovano gli ingegneri Pietro Cerruti, Giuseppe Botto, e Pio Caletti, che dirigono l'Ufficio del Genio Civile rispettivamente dal 1886 al 1888, dal 1903 al 1904 e dal 1919 al 1923; tra i direttori dei lavori, invece, ci sono gli ingegneri Eugenio Giordano, Giuseppe Fornari, Alessandro Susinno, Eugenio Vella, Paolo Salatino e Giampelino Corsetti, che si occupa dal 1915 degli ultimi tronchi del collettore in riva sinistra.

Conclusioni

I grandi collettori bassi progettati da Giacomo Zucchelli sono in uso da circa un secolo e, con minimi interventi stratificati negli anni, costituiscono ancora oggi parte significativa della rete fognaria della città.

La ricostruzione del progetto originario qui presentata, desunta dalla documentazione di archivio prodotta dall'Ufficio Speciale per la Sistemazione del Tevere, ha permesso di acquisire conoscenze specifiche riguardo al percorso dei condotti e all'ubicazione dei manufatti sussidiari, di cui sono stati individuati quelli ancora esistenti, e alla caratterizzazione della geometria e dei dettagli costruttivi dei condotti e delle opere ausiliarie, fornendo dati utili alla valorizzazione dell'opera e agli attuali interventi di manutenzione della rete da parte degli enti gestori. In questo senso, in Figura 8, sono riportate la ricostruzione 3D del manufatto sussidiario tipo e la geore-

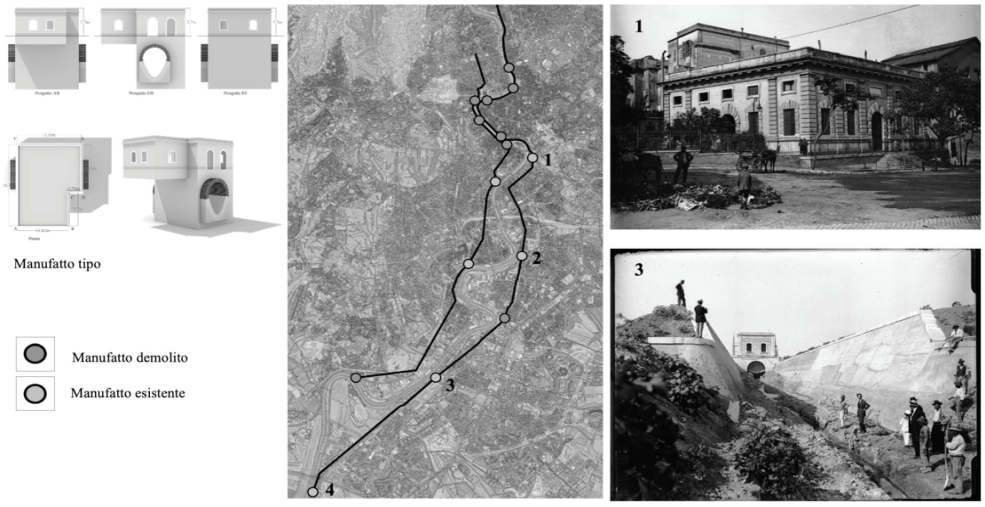


Fig. 8 - Ricostruzione 3D del manufatto sussidiario tipo, a sinistra, georeferenziazione dei manufatti sussidiari sul percorso dei collettori, con indicazione dei manufatti ancora esistenti, al centro (GIS e disegni di S. Campioni)*; immagini dei manufatti sussidiari* (Archivio di Stato di Roma, Ufficio Speciale del Genio Civile per il Tevere e l'Agro Romano)*, a destra.*

ferenziazione dei manufatti sussidiari sul percorso dei collettori con indicazione dei manufatti ancora esistenti

Inoltre, la cospicua e puntuale documentazione fotografica, prodotta a supporto della direzione dei lavori da parte dell'Ufficio, costituisce una speciale testimonianza dei processi costruttivi e delle condizioni di lavoro delle imprese locali, basate sull'impiego di ristretti mezzi d'opera.

Infine, attraverso la lettura delle carte di archivio, è stato messo in luce l'apporto fondamentale, ancora del tutto sconosciuto, degli ingegneri del Genio Civile nell'ideazione e nell'esecuzione di questa imponente infrastruttura che rappresenta un importante tassello dell'evoluzione della *forma urbis* di Roma in epoca post-unitaria, sottolineando il ruolo centrale dell'ingegneria moderna nella storia della città.

Ringraziamenti

Lo studio è condotto nell'ambito di una convenzione di ricerca tra il Dipartimento di Ingegneria Civile e Informatica dell'Università di Roma Tor Vergata, l'Archivio di Stato di Roma, per la valorizzazione del Fondo Genio Civile di Roma, e l'azienda AceaAto2, per la valorizzazione dei collettori attualmente in uso. Si ringraziano il dott. Vincenzo De Meo dell'Archivio di Stato di Roma e l'ing. Silvia Campioni che ha collaborato al presente studio nell'ambito della sua tesi di laurea.

Bibliografia

Atti Commissione. 1872. Atti della Commissione istituita con Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 1 gennaio 1871 per studiare e proporre i mezzi di rendere le piene del Tevere innocue alla citta di Roma. Roma: Tip. E. Sinimberghi.

Baccarini A. 1875. Sull'altezza di piena massima nel Tevere urbano e sui provvedimenti contro le inondazioni. Il Politecnico, 7(12).

Betocchi A. 1900. *L'isola Tiberina ed i lavori del Tevere*. Roma: Tipografia del Genio Civile.

Commissione di Vigilanza. 1882. *Relazione sui lavori del Tevere per l'anno 1881*. Roma: Tipografia della Camera dei Deputati

Corsetti G. 1925. I collettori bassi delle fogne di Roma, Annali dei Lavori Pubblici, 3.

Canevari G. 1901. *Per la storia della sistemazione del Tevere*. Roma: Tipografia Enrico Voghera.

Carcani M. 1875. *Il Tevere e le sue inondazioni, dall'origine di Roma fino ai nostri giorni*. Roma: Tipografia romana.

Cozza L. 1907. *La riattivazione del ramo del Tevere a sinistra dell'isola di San Bartolomeo*. Roma: Stabilimento tipo-litografico del Genio Civile.

De Meo V., Giannetti I., Mornati S. 2022. *La sistemazione del Tevere a Roma. 50 anni di cantiere dalle carte del Genio Civile di Roma*. Roma: Gangemi Editore.

Giannetti I., Mornati S. 2022. Fondazioni pneumatiche in Italia: sperimentazione e sicurezza in cantiere sulle sponde del Tevere. In: *Proceedings of the 5th International Conference on History of Engineering - Atti del 9° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo), II, 803-816. Napoli: Cuzzolin Editore.

Vescovali A. 1880. *Le inondazioni sotterranee di Roma e la sistemazione del Tevere*. Roma: Forzani e C. Tipografi del Senato.

Note

[1] Compongono la Commissione, oltre Pareto e Vescovali: Giovanni Battista Favero, professore della Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Roma, Pompeo Natalini, Ispettore del Genio Civile, Pietro Balestra, membro della Commissione Municipale di Sanità, Alessandro Viviani, Ingegnere Direttore dell'Ufficio Tecnico Municipale, Cesare Leonardi, Ingegnere Capo della Divisione delle nuove costruzioni municipali e Ferdinando Gerardo, Ingegnere Municipale e Segretario (Corsetti, 1925).

[2] Progetto delle opere per lo scolo delle acque di pioggia, di sorgiva, di rifiuti di fontane e delle materie luride della Città a sinistra del Tevere che si rendono necessarie all'attuazione della difesa idraulica di Roma in corrispondenza al concetto adottato dal Governo (Archivio di Stato di Roma, Fondo Genio Civile, Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano, I versamento, buste 270-271).

[3] Relazione esplicativa del progetto di massima del grande collettore basso delle fogne di Roma a sinistra del Tevere in relazione al piano della difesa idraulica di essa Città, compilata dall'Ing. Capo dell'Ufficio del Tevere cav. Giacomo Zucchelli (Archivio di Stato di Roma, Fondo Genio Civile, Ufficio Speciale per il Tevere e l'Agro Romano, I versamento, buste 259-261).

Marco Paolucci, Ceren Ekinci,
Simonetta Ciranna, Francesco D'Annibale

La Funivia del Gran Sasso d'Italia: un caso significativo di impianto a fune in Italia e in Europa

The Gran Sasso d'Italia cable car: a significant case of ropeway in Italy and Europe

Sommario
Dalla fine del 1800 gli impianti a fune hanno rappresentato una soluzione alle possibilità di trasporto, tanto negli ambienti urbani quanto in quelli naturali, e ancora oggi costituiscono un sistema sicuro, controllato, altamente ingegnerizzato, che dimostra la sua efficacia e longevità nel tempo. La Funivia del Gran Sasso d'Italia ne è un esempio significativo: costruita nel 1934, e trasformata nel corso dei suoi 90 anni, supera, in appena 7 minuti, circa 1000 metri di dislivello. Lo studio qui presentato intende restituire le fasi di realizzazione e trasformazione dell'impianto, mettendo in luce la qualità dei progetti e delle tecniche costruttive adottate, in relazione al panorama nazionale e internazionale. Ulteriore obiettivo è evidenziare come il trasporto aereo su fune, nato grazie allo sviluppo della tecnica della costruzione in acciaio e spesso destinato al turismo invernale, può emanciparsi anche come mezzo di trasporto pubblico sostenibile, soprattutto in contesti urbani caratterizzati da importanti dislivelli o da particolari condizioni ambientali. Le sue caratteristiche e recenti innovazioni, oltre a farne un mezzo più sicuro e sostenibile, permettono la gestione dei flussi antropici in un contesto soggetto alla protezione ambientale quale il Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga.

Abstract
From the end of the 19th century until the present day, cableways have been a possibility to transport choices, both in urban and natural environments, and still today constitute a safe, controlled, and highly engineered system, that proves its effectiveness and longevity. The Gran Sasso d'Italia cable car is a significant example of this. Built in 1934, and transformed over the course of its 90 years, it covers approximately 1000 meters altitude difference in just 7 minutes. The study aims to reconstruct the building and transformation phases, highlighting the quality of the projects and the techniques adopted in construction phase, compared to the national and international panorama. A further aim is to highlight how aerial cableway trans-

port, which has emerged thanks to the development of steel construction technology and is often intended for winter tourism, can also emancipate itself as a sustainable means of public transport, especially in urban contexts characterised by significant differences in height or by special environmental conditions. Its characteristics and recent innovations not only make it a safer and more sustainable vehicle, but also allow for the management of anthropic flows in an environmentally protected context such as the Gran Sasso and Monti della Laga National Park.

Introduzione

Gli impianti a fune per il trasporto di persone sono utilizzati in Europa fin dal 1862, quando a Lione fu costruita una linea di tipo terrestre con convogli a tre carrozze per trasportare 324 persone. Nel 1907 a San Sebastian si realizzò il primo impianto aereo a funi sospese, con un sistema di funivia a "va e vieni", per permettere a 18 persone di percorrere 280 metri con 28 metri di dislivello, sul Monte Ulia, in tre minuti. Il primo impianto funiviario italiano fu costruito nel 1908 a Bolzano, portava sei persone per volta al Colle, in 14 minuti, con 800 metri di dislivello.

Il sistema a "va e vieni", chiamato anche trifune fino al 1956 (Marocchi, 1992), venne applicato nel 1934 alla Funivia del Gran Sasso d'Italia, realizzata dalla ditta Ceretti & Tanfani e inaugurata nel novembre dello stesso anno[1]. Con la funivia del Gran Sasso nacque anche l'azienda municipalizzata del Centro Turistico del Gran Sasso, che dal 2000 è diventata una Società per Azioni, ancora detenuta al 100% dal Comune di L'Aquila: unico caso in Italia di una municipalità proprietaria e gestrice di una stazione di sport invernali.

Novanta anni di funivia del Gran Sasso d'Italia

La più antica funivia dell'Appennino compie nel 2024 novanta anni. Sebbene non sia più presente nel suo stato originario, il tracciato e la tecnologia adottati al tempo permangono nell'impianto odierno. La prima funivia restò in funzione dal 1934 al 1988, quella esistente fu inaugurata nel 1989.

La prima funivia dell'Italia subalpina

Il progetto di tale impianto nasce nel contesto della "Grande Aquila" voluta dal gerarca aquilano Adelchi Serena[2] e dal governo fascista di Benito Mussolini. Essi vedevano, nella città abruzzese, il polo principale per l'incentivazione degli sport, invernali e non, e il favorito luogo di svago per i romani, che, come pubblicizzato nei manifesti in Figura 1, potevano raggiungere la vetta del Gran Sasso in sole tre ore, grazie alla ferrovia, all'automobile e all'avanzatissima funivia. Venne chiamata per progettare e realizzare l'impianto la ditta milanese Ceretti & Tanfani, all'avanguardia ed esperta nel settore: grazie a una fruttuosa collaborazione tra Giulio Ceretti, Vincenzo Tanfani e Luis Zuegg, nel 1912 la ditta aveva inaugurato l'impianto

Lana-S.Vigilio a Merano, la prima funivia al mondo con cavalletti intermedi. Stessa tecnologia costruttiva e stessi personaggi diedero vita alla funivia del Gran Sasso, il cui progetto venne affidato dalla società Zuegg all'ingegnere Gnadlingher nel 1931 (Di Giangregorio, 2011), con l'ambizione di effettuare un collegamento da Fonte Cerreto alla Sella di Pratoriscio[3], e da quest'ultima alla Sella tra Monte Aquila e Monte Portella.

Fig. 1 - Manifesti promozionali del Gran Sasso in epoca littoria[4] (ASAq, 1933).

Del progetto originario si realizzò solo il primo tronco, in località Valloni, dando vita a uno dei più estesi e innovativi impianti funiviari del tempo, grazie anche ai recentissimi studi di Zuegg per migliorare la tecnologia e la sicurezza del sistema "va e vieni"[5]. La funivia con 3.230 metri di sviluppo superava 1.006,5 metri di dislivello, dai 1.112,5 metri di quota della stazione di valle fino ai 2119,0 di quella superiore, passando per i 1.606,5 dell'intermedia (Centi-Colella e Gianfelice, 1935), si veda la Figura 2. La linea era costituita da 5 cavalletti, 3 nel tratto inferiore e 2 in quello superiore, di cui il più alto di 31 metri; la campata maggiore, tra la stazione intermedia e il cavalletto 4, raggiungeva 925 metri di sviluppo. La cabina, in lega d'alluminio anticorodal, con capacità di 21 passeggeri, viaggiando a 3,6 m/s impie-

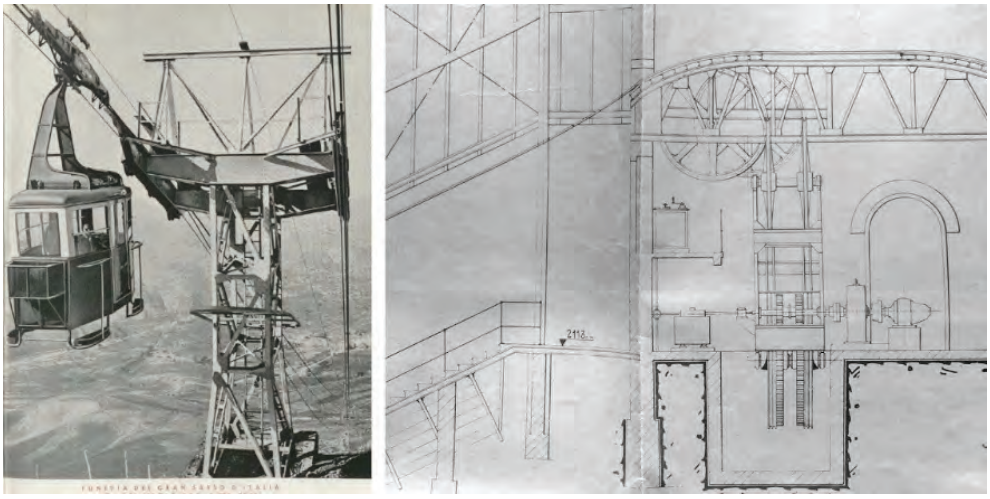


Fig. 2 - La funivia del 1934 (Ceretti, Tanfani, 1949), *a sinistra, e stralcio di progetto della stazione superiore* (ASAq b. 264,1933), *a destra.*

gava tra 16 e 18 minuti a colmare il dislivello totale, determinando una portata di circa 65 persone/h. I cavi della fune portante erano costituiti da 133 fili in acciaio di elevata qualità, con un carico di rottura a trazione di circa 190 tonnellate, peso proprio di 10,5 kg/m e diametro di 52 mm. Per la traente si aveva un diametro di 24,5 mm e un peso di 2,1 kg/m. Lo sviluppo complessivo delle funi era di circa 23.500 metri. L'ingegnere aquilano Mario Bafile diresse il cantiere, comprendente le tre stazioni, realizzate in acciaio e muratura, e cinque basamenti in cemento armato per i cavalletti da erigervisi. A portare a conclusione l'opera fu Giovanni Centi Colella, successore di Adelchi Serena. Il primo direttore d'esercizio fu probabilmente Luigi Bertolotti, che fece domanda il 3 marzo 1936, elencando tra le sue esperienze 8 anni trascorsi nella Ceretti & Tanfani e la realizzazione di funivie a Chamonix e Mosca (ASAq).

Nella costruzione si affiancò all'impianto una teleferica di servizio, destinata al trasporto di materiali, merci e combustibili da ottobre a maggio, quando la strada carrabile da Fonte Cerreto a Campo Imperatore era chiusa per neve, che restò a lungo in funzione. Nel 1959 la teleferica venne ammodernata, ricostruendola sullo stesso tracciato su progetto della società Ing. Giuseppe Rosnati & Co di Milano, con cavalletti alti 10 m, portata di 800 kg/h e funi portanti da 24 mm di diametro. Le opere furono affidate nuovamente alla Ceretti & Tanfan".

La funivia del Gran Sasso costituì il primo impianto funiviario in centro Italia, di poco antecedente a quella del Monte Terminilluccio inaugurata il 26 gennaio 1938, ancora opera della Ceretti & Tanfani, anch'essa progetto turistico-sportivo del regime fascista per il Terminillo, la così detta "montagna dei romani", che collegava i 310 metri di dislivello tra Pian de' Valli e la vetta a 1864 metri. Il turismo d'alta quota, a meno di un secolo da quando Thomas Cook aveva organizzato, nel 1863, il primo Tour Elvetico con base a Interlaken, ispirato dai viaggi nell'Oberland bernese di Goethe fin dal 1779 (Tatsos, 2023), si era diffuso in tutti i rilievi dell'Alpe, Oltralpe e dell'Appennino, fino all'Etna, che vide la realizzazione di una funivia sulle pendici del vulcano a fine anni Sessanta.

Nel 1964 la funivia fu rinnovata a opera degli stessi costruttori e la capienza della cabina arrivò a 30 passeggeri, raggiungendo una portata oraria di circa 100 persone.

Il complesso percorso verso il nuovo impianto funiviario

La controversa questione quasi decennale della nuova funivia è ricostruita in numerosi articoli di quotidiani, quali Il Tempo e Il Messaggero (ASAq, 1983).

Nel 1980 la Cassa per il Mezzogiorno aveva stanziato 4,5 miliardi di lire per un nuovo impianto funiviario. Il 2 giugno del 1982 si aggiudicò l'appalto la T.I.B.B. Nuova Agudio Conscoop, con un progetto che eliminava la stazione intermedia esistente e un importo lavori di 8 miliardi. A seguito di un tortuoso processo di validazione, l'11 maggio 1983 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici approvò il progetto, seppur con numerose prescrizioni. Per rendere attuabile l'opera, la Cassa per

il Mezzogiorno integrò il contributo con altri 7 miliardi e 381 milioni. Il termine dei lavori, previsto entro il 1985, non venne rispettato neanche per l'avvio delle opere. La mancata validazione e approvazione da parte delle amministrazioni di un piano quadro del Gran Sasso, che esisteva solo nella forma di un "piano stralcio", lasciò irrisolta un'ulteriore questione: gli usi civici. Le comunità locali di Assergi, paese a valle dell'impianto sciistico, bloccarono a tempo indeterminato l'inizio dei lavori della nuova funivia. Il progetto andò avanti e nel 1987 se ne ebbe una versione definitiva a cura del raggruppamento di imprese Agudio-TIBB[6]. Rispetto all'impianto originario, oltre alla eliminazione della stazione intermedia, si introdusse l'innalzamento di alcuni metri della stazione inferiore, al fine di spostare anche il cavalletto numero 3 più in alto, e tutta la linea di 4 metri verso monte. La nuova configurazione aveva uno sviluppo totale di 3.171,89 metri, con tre cavalletti intermedi tra la stazione di valle a 1.119 metri s.l.m. e quella di monte a 2.117 metri. La prima, conteneva elementi di rinvio e tensionamento, la seconda l'argano motore.

Nel 1988 un enorme masso cadde sulla stazione intermedia, provocando la chiusura dell'impianto. Probabilmente, date le volontà controverse manifestatesi negli anni precedenti, fu solo questo incidente a permettere che si realizzasse la nuova funivia del Gran Sasso d'Italia, per non lasciare la montagna aquilana senza tale accesso privilegiato.

Nel 1989 fu inaugurato il nuovo impianto, con portata oraria pari a 760 persone/h, quasi otto volte quella precedente, grazie alla velocità di 9 m/s e alla vettura con capienza di 101 persone, disegnata da Pininfarina, realizzata in forme lievemente diverse, e identica a quella di San Pellegrino, in Figura 3. La Agudio spa realizzò con questa opera una delle funivie a "va e vieni" in tronco unico su più sostegni più

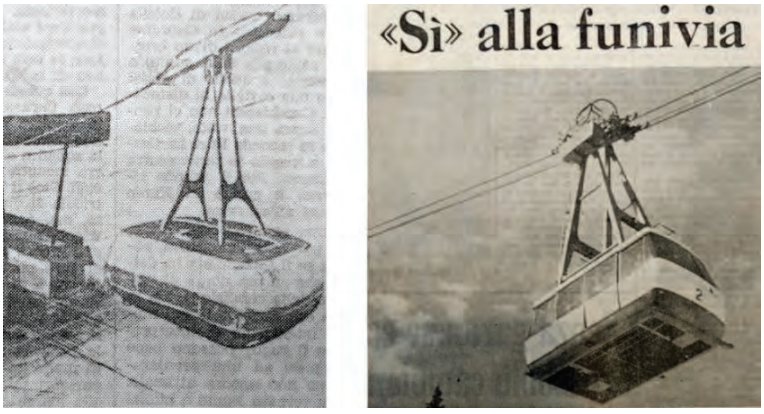


Fig. 3 - Progetto di Pininfarina per la funivia al Salone della Montagna di Torino, a sinistra, e cabina del Passo San Pellegrino, identica a quella del Gran Sasso (ASAq, 1983), *a destra.*

lunghe d'Europa, considerando che la più estesa era la funivia Boazzo-Bissina a Daone, lunga 5.096,03 metri, che conta un dislivello tra le stazioni di valle e monte di soli 557,8 metri e piccole cabine di capienza pari a 6 persone [1].

Il terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009 non danneggiò l'impianto che tuttavia, dopo venti anni dall'inaugurazione, necessitava di manutenzioni straordinarie, che furono effettuate sotto la direzione lavori dell'ingegner Marco Cordeschi, al tempo anche direttore d'esercizio. I lavori furono eseguiti nuovamente dalla Agudio Spa, con il supporto della Scamif srl della famiglia Lallini per le opere aeree su cavi e piloni. L'impianto fu reinaugurato il 29 dicembre 2010.

L'attuale direttore d'esercizio è l'ingegner Pier Paolo Grassi e le ultime manutenzioni rilevanti sono state effettuate nel 2013. Nel giugno 2023 si è svolto l'intervento di manutenzione ordinaria relativo allo scorrimento delle funi portanti di sinistra, mentre in autunno dei problemi tecnici hanno impedito l'esecuzione della stessa lavorazione sulle funi portanti di destra, rendendo nuovamente incerto il futuro della funivia, che a oggi funziona con numerose restrizioni dettate dall'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali.

Tecnologia della funivia del Gran Sasso d'Italia

La funivia del Gran Sasso d'Italia, sin dalla sua costruzione nel 1934 ha mantenuto il sistema tecnologico delle funivie a "va e vieni" con due cabine, denominate anche Aerial TramWays-ATW.

In esso i veicoli sono agganciati a una o due funi portanti e movimentati da una fune traente. L'impianto originario aveva una sola fune portante, quello attuale ne ha due, su cui poggiano i veicoli composti da carrello, sospensione e cabina. Nel carrello è presente un tamburo di ancoraggio che unisce la fune traente superiore con la fune traente inferiore. Alcuni particolari sono in Figura 4.

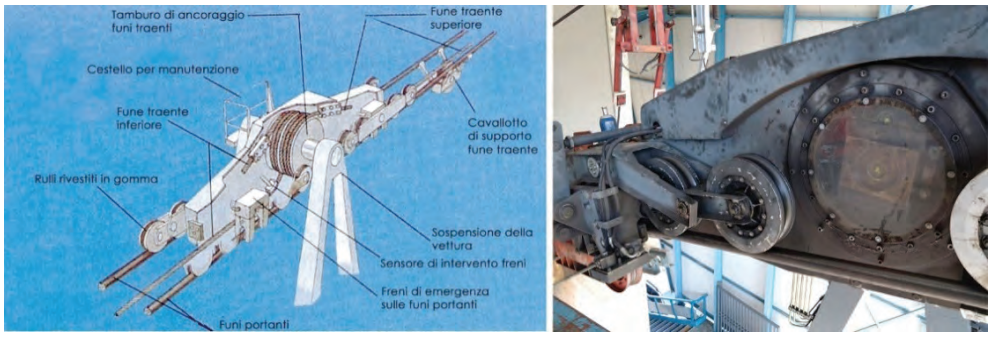


Fig. 4 - Sistema ATW: schema del carrello di sospensione, a sinistra, e carrello di sospensione della funivia del Gran Sasso, a destra.

Tab. 1 - Le caratteristiche delle funi adottate per la funivia del Gran Sasso (Agudio, 1987).

Caratteristiche	Portanti	Traente Superiore	Traente Inferiore	Soccorso da valle al cav.3	Soccorso da monte al cav.3
Diametro (mm)	57	35	33	20	10
Tipo	chiuso con 2 strati di fili a Z	Warrington Seale A 186 + PPC	Warrington Seale A 186 + PPC	Filler A 150 + PPC	Normale A 72 + PPC
Avvolgimento	----	Parallelo destro	Parallelo destro	Parallelo destro	Parallelo destro
Formazione	1+9+9+15+21+ 27+ +33+36AZ+40AZ	6(12+6/6+ +6+1)+PPC	6(12+6/6+ +6+1)+PPC	6(12+6/6+ +6+1)+PPC	6(9+3)+PPC
Anima	metallica	polipropilene	polipropilene	polipropilene	polipropilene
Cordatura	----	zz	zz	zz	zz
Diametro o spessore massimo dei fili (mm)	4.2	2.25	2.12	1.28	0.83
Sezione metallica (mm^2)	2160	498	444	164.9	38.9
Resistenza (daN/mm^2)	182 media	195	195	197	201
Carico somma (daN)	392500	97000	86400	32370	7800
Peso per unità di lunghezza (daN/mm^2)	~ 18.15	~ 4.5	~ 4.0	~ 1.49	~ 0.36

Il sistema di sospensione delle cabine si compone di 5 tipi di funi metalliche con anima in polipropilene, le cui caratteristiche principali sono riportate in Tabella 1.

Il sistema di controllo della linea, in Figura 5, fornisce in tempo reale la posizione delle due cabine, che si incrociano a metà percorso a circa 1.600 metri di sviluppo e terminano la loro corsa nelle stazioni, di valle o di monte, dopo quasi 3.200 metri di percorrenza.

Le funi portanti

Ogni via di corsa è costituita da due funi parallele distanti tra loro 700 mm, ancorate a monte per avvolgimento attorno a un tamburo per tre giri e mezzo, quindi contrastate con morsettoni; il tamburo, in cemento armato, ha un diametro di 4,5 metri ed *è rivestito da doghe in legno duro*, si veda la Figura 6. A valle, le scarpe di deviazione ai contrappesi hanno un raggio di 15 metri.

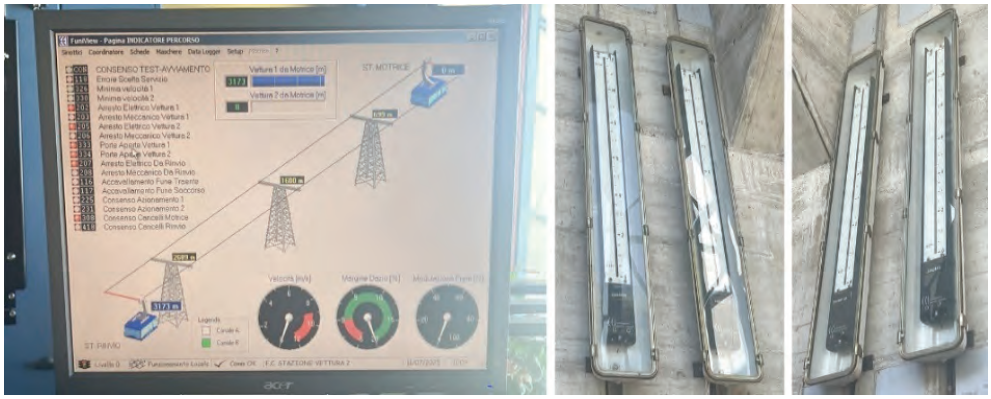


Fig. 5 - La tecnologia: sistema di gestione e controllo attuale, a sinistra, allungamento della fune zavorra, al centro, e allungamento della fune soccorso, a destra.

Nel seguito si farà breve cenno alle caratteristiche principali dell'impianto, così come esse possono essere evinte dalla relazione di calcolo strutturale.

La fune zavorra

La tensione massima della fune zavorra, di diametro 33 mm, si verifica in corrispondenza dell'attacco dei carrelli delle vetture, quando una delle cabine si trova in prossimità della stazione superiore in fase di accelerazione, in Figura 5.

Come ordine di grandezza delle forze in gioco si ha che l'azione del contrappeso è pari a 5.500 daN, la componente peso della fune a 4.008 daN e l'attrito a 200 daN.

Per le forze di inerzia, nell'ipotesi che la vettura si sia fermata immediatamente a valle della stazione superiore e che debba riavviarsi con una accelerazione valutata pari a 0,30 m/s^2, lo sforzo dinamico di avviamento, calcolato dai progettisti della Agudio, è di 15.331 daN, dato dalla somma di quelli relativi alle masse da avviare, cioè la fune zavorra, 12.631 daN, le pulegge, 2.250 daN, e i rulli, 450 daN.

La fune traente

La tensione massima della fune traente, di diametro 35 mm, si verifica con vettura carica a valle del sostegno n. 2 e in fase di avviamento. Essa risulta dalla somma dei seguenti termini: l'azione del contrappeso, 5.500 daN, la componente del peso zavorra, 2.120 daN, la componente del peso traente, 2.129 daN, la componente del peso della vettura carica, 6.911 daN, e l'attrito, 1.039 daN.

Per le forze di inerzia, nell'ipotesi che la vettura si sia fermata immediatamente a valle della stazione superiore e che debba riavviarsi con una accelerazione valutata

pari a 0,30 m/s^2, lo sforzo dinamico di avviamento è di 33.125 daN, dato dalla somma di quelli relativi alle masse da avviare, cioè la fune zavorra e traente, 13.425 daN, le pulegge, 4.500 daN, la vettura carica, 14.750 daN, e i rulli, 450 daN.

I carichi circolanti

I carichi circolanti effettivi sono suddivisi come segue. Peso del veicolo: carrello 3.170 daN, sospensione 1.650 daN, scaletta e ballatoio 78 daN, cabina 2.450 daN, apparecchiatura elettrica 152 daN, per un totale di 7.500 daN a vuoto. Carico utile: 101 persone, pari a 7.250 daN. Il peso totale a pieno carico risulta 14.750 daN.

Cenni sul calcolo e formule utilizzate

Il calcolo della singola campata scarica, qui sintetizzato nei suoi aspetti principali, consiste nella determinazione della curva catenaria da peso proprio, ovvero della configurazione assunta dalle funi portanti, traente e zavorra. Le equazioni sono:

$$\varphi_A = \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}(\alpha) - \frac{L_q}{2T_A}\right) \rightarrow h = y_A \cos(\varphi_A)$$

$$\varphi_B = \operatorname{arctg}\left(\operatorname{sen}\left(\frac{L}{h} + \operatorname{arcsen}\left(\operatorname{tg}(\varphi_A)\right)\right)\right) \rightarrow \Delta' = \frac{h}{\cos(\varphi_B)} - y_A$$

dove

$$L = h\left[\operatorname{arcsen}\left(\operatorname{tg}(\varphi_B)\right) - \operatorname{arcsen}\left(\operatorname{tg}(\varphi_A)\right)\right] \rightarrow \varphi_B$$

e dove φ rappresenta l'angolo di inclinazione della fune rispetto all'orizzontale, a valle e a monte, rispettivamente indicati con i pedici A e B, T la tensione, q il peso della fune per unità di lunghezza, L la lunghezza orizzontale della campata, Δ il dislivello della campata, α l'angolo della corda della campata rispetto all'orizzontale, Δ' il dislivello della campata valutato con la procedura numerica, h la differenza di quota tra monte e valle.

Le equazioni sopra riportate consentono di calcolare con un processo iterativo la differenza $\Delta' - \Delta$: se essa supera una tolleranza fissata, si diminuisce φ_A di una frazione opportuna e si ripete la procedura, fintanto che la differenza non sia inferiore al limite fissato.

Il calcolo viene poi esteso alle campate successive, partendo da quelle dove la fune è contrappesata e proseguendo con le altre per le quali la tensione all'estremo di valle è pari a quella a monte della campata precedente, a meno degli attriti sull'appoggio, si veda la Tabella 2. Le condizioni di carico considerate sono: linea vuota, linea con vettura vuota e carica viaggiante verso monte a 10 metri a valle di ogni campata, a metà di ogni campata, a 10 metri dal termine di ogni campata.

Tab. 2 - I calcoli della vettura in discesa e salita (V=valle, C=cavalletto, M=monte).

	Vettura vuota in discesa (valori in daN)							
	V	$C_{1,V}$	$C_{1,m}$	$C_{2,V}$	$C_{2,M}$	$C_{3,V}$	$C_{3,M}$	M
Contrappeso	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Comp. vettura carica	3.565	5.956	3.030	6.911	2.568	5.844	3.376	5.814
Comp. zavorra.	0	640	640	2.120	2.120	3.146	3.146	4.012
Comp. traente	4.515	3.794	3.794	2.129	2.129	975	975	0
Attriti	1.039	1.039	1.039	1.039	1.039	1.039	1.039	1.039
Tensione	14.619	16.929	14.003	17.699	13.356	16.504	14.036	16.365
	Vettura carica in salita (valori in daN)							
	V	$C_{1,V}$	$C_{1,m}$	$C_{2,V}$	$C_{2,M}$	$C_{3,V}$	$C_{3,M}$	M
Contrappeso	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500	5.500
Comp. vettura vuoto	1.942	2.915	1.664	3.414	1.420	2.866	1.821	2.855
Comp. zavorra.	0	640	640	2.120	2.120	3.146	3.146	4.012
Comp. traente	4.515	3.794	3.794	2.129	2.129	975	975	0
Attriti	-690	-690	-690	-690	-690	-690	-690	-690
Tensione	11.267	12.159	10.908	12.473	10.479	11.797	10.752	11.677

Il sistema esistente

Il sistema è a 7 funi, 4 portanti di 57 mm di sezione e 3,2 km di sviluppo circa, in Figura 6, due traenti e una zavorra. La fune di soccorso è totalmente indipendente. Il contrappeso è di 70 t per la traente e 130 t per le portanti. Le funi, chiuse per impalmatura, si tengono per attrito con sovrapposizione di circa 150÷200 mm, su 3 trefoli da una parte e 3 dall'altra. Ci sono due motori elettrici, ma uno è sufficiente alla movimentazione a velocità ridotte. Le revisioni sono quinquennali, con un controllo più accurato a 20 anni e lo scorrimento delle funi portanti ogni 12 anni.

Il futuro

Gli ultimi decenni hanno portato molte evoluzioni tecnologiche, tese a diminuire i consumi, aumentare la sicurezza e garantire sistemi di gestione più controllabili.

Un brevetto recente è quello "Bartholet" [2] in cui i diversi scartamenti delle cabine permettono che queste si incrocino una sopra l'altra, anziché una di fianco all'altra, cosicché sia sufficiente un'unica piattaforma d'imbarco per stazione. Il sistema è costituito da due funi portanti e due funi traenti per ogni via di corsa, come mostrato in Figura 6. Il brevetto è stato usato a Brest, dove sono stati ridotti notevolmente i costi di costruzione e l'impatto ambientale delle stazioni.

Un tema di ricerca attuale è la realizzazione di dispositivi in grado di recuperare energia dalle vibrazioni, eventualmente smorzandole con l'uso di elementi attivi in

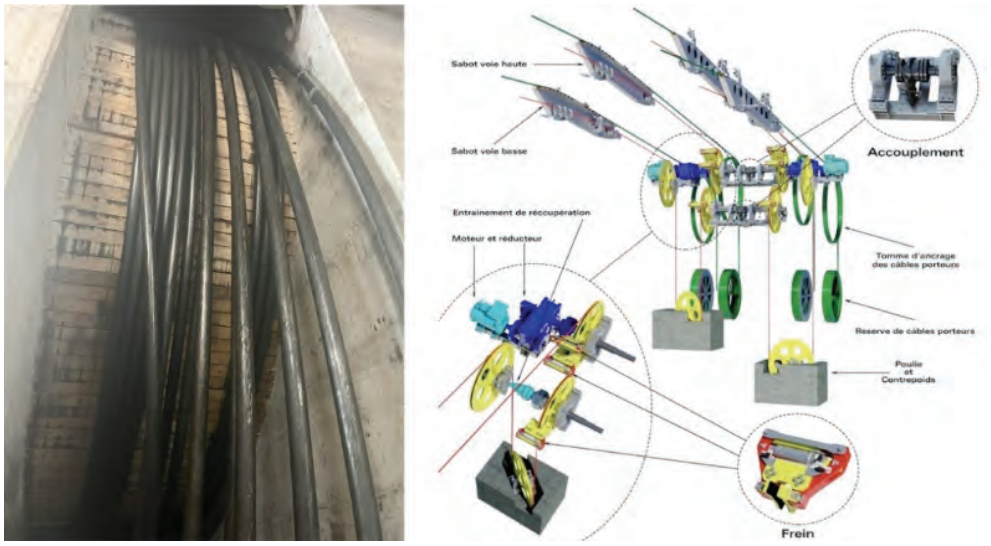


Fig. 6 - Il presente e il futuro: fune portante di 57 mm ancorata al tamburo alla stazione di monte, a sinistra, e funzionamento della funivia a sistema Bartholet di Brest [2], a destra.

grado di associare a una vibrazione meccanica la generazione di un segnale elettrico, oppure utilizzando generatori elettromagnetici. L'utilizzo degli elementi piezoelettrici per il controllo delle vibrazioni è largamente diffuso in questo ambito, grazie alla capacità di questi elementi di generare una carica elettrica quando sottoposti a delle deformazioni meccaniche e, viceversa, di deformarsi se a essi viene applicata una differenza di potenziale. L'implementazione e l'applicazione di tecnologie di questo tipo negli impianti a fune, ai fini del monitoraggio e del recupero di energia dalle vibrazioni, sembra promettente come tema di ricerca del prossimo futuro. Infatti, tali tecnologie consentirebbero, in principio, un'analisi in continuo dello stato deformativo e, eventualmente, del degrado delle funi, utile ai fini del monitoraggio dello stato di salute della struttura.

Infine, la digitalizzazione ha trasformato anche il mondo degli impianti a fune e i grandi produttori sono i fautori stessi di questa rivoluzione. È quello che avviene con il sistema "Smart Ropeway" di Doppelmayr/Garaventa. Oltre all'introduzione di analisi statistiche sugli impianti ai fini di migliorarne l'efficienza, o alla ottimizzazione del comfort degli utenti attraverso l'introduzione di rete Wi-Fi e la climatizzazione nelle cabine, le innovazioni più importanti sono quelle che riguardano la sicurezza. Si veda ad esempio il sistema di sensori intelligenti "Nexo" che garantiscono un monitoraggio costante della posizione della fune, fermando l'impianto ancora prima che questa eventualmente deragli fuori dalle scanalature.

Conclusioni

Il ridotto impatto ambientale degli impianti su fune può farne un'alternativa ad altri sistemi di trasporto pubblico, negli ambienti urbani come nei contesti naturali. Inoltre, l'automazione e la ridondanza dei livelli di sicurezza di tali impianti, evitano gli errori dovuti alla discrezionalità umana.

Nell'ambito urbano, dove nei casi di elevato congestionamento può essere affiancato ai sistemi tradizionali, sono eloquenti i recenti studi di Life Cycle Assessment che l'azienda Doppelmayr ha fatto redigere per la cabinovia realizzata nel 2014 a La Paz, in Bolivia, dai quali è emerso che il consumo di $t_{CO_{2,eq}}$ dell'intero ciclo di vita della cabinovia è meno di un quarto se confrontato al trasporto pubblico su gomma.

Nell'ambito naturalistico i principali vantaggi di un sistema a fune sospesa, a confronto con il trasporto carrabile, riguardano il ridotto consumo di suolo, grazie alla possibilità di affrontare pendenze rilevanti e di percorrere tracciati in linea retta. Di conseguenza si necessita di minori opere di contenimento, scavo e ripristino, che possono innescare processi erosivi e di dissesto idrogeologico, e vengono impermeabilizzate meno superfici. Tale considerazione è tanto più vera quanto maggiori sono i dislivelli e complessa l'orografia. Nel caso del Gran Sasso è possibile stimare che l'impronta a terra della strada carrabile di collegamento sia di circa 300.000 m^2, mentre l'impianto a fune insiste su circa 2.500 m^2.

Un ulteriore importante vantaggio nel caso della funivia Gran Sasso d'Italia, sita in un Parco Nazionale, è la possibilità di controllare i flussi antropici, aspetto che nell'utilizzo di strade pubbliche è di difficile, se non impossibile, attuazione.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano l'ing. Pier Paolo Grassi e la direttrice dell'Archivio di Stato dell'Aquila Marta Vittorini per aver facilitato la redazione di tale contributo.

Crediti

Marco Paolucci, Simonetta Ciranna: Introduzione, Novanta anni della funivia del Gran Sasso d'Italia, Conclusioni.

Ceren Ekinci, Francesco D'Annibale: Introduzione, Tecnologia della funivia del Gran Sasso d'Italia, Il sistema esistente, Il futuro, Conclusioni.

Risorse archivistiche

L'Aquila, Archivio di Stato dell'Aquila (ASAq), Deposito del Comune dell'Aquila 1986, Cat. X, cl. 7, b. 264-265, Deposito del Comune dell'Aquila 2011, Cat. X, b. 3219.

ASAq, Azienda Autonoma del Soggiorno e del Turismo dell'Aquila, Ritagli stampa 1983.

Bibliografia

Centi-Colella G., Gianfelice P. 1935. *Regolamento tecnico, Funivia del Gran Sasso d'Italia.* Aquila: Arte della stampa.

Ceretti G., Tanfani V. 1949. *Ceretti & Tanfani s.p.a.* Milano: Pizzi.

Di Giangregorio M. 2011. *Campo Imperatore: storia di una stazione invernale.* Sambuceto: Litografia Brandolini.

Marocchi D. 1992. *Trasporti a fune, Funivie-Telecabine-Seggiovie-Sciovie-Funicolari terrestri-Teleferiche,* seconda edizione. Torino: Levrotto&Bella.

Tatsos M. 2023. Belle Époque alpina, Meridiani Montagne, 120, 19-39.

Sitografia

[1] www.foglieviaggi.com

[2] www.funivie.org/web

Note

[1] Il verbale di ultimazione dei lavori è datato al 11.01.1935, l'impianto però fu riconsegnato già il 13.11.1934 per l'inaugurazione, privo di alcune opere minori (ASAQ, 1933).

[2] Adelchi Serena fu podestà dell'Aquila dal 1926 al 1934. Il progetto della "Grande Aquila" nacque tra luglio e dicembre del 1927.

[3] La Sella di Pratoriscio è oggi chiamata Campo Imperatore.

[4] Manifesto dei "Treni della Neve", organizzati dall'Opera Nazionale del Dopolavoro [1], con la possibilità di visitare L'Aquila e di ascendere con la funivia alle vette.

[5] Luis Zuegg, fondatore della Doppelmayr, aveva studiato alcune innovazioni negli anni '10 e '20 del Novecento, quali il telefono in cabina, il freno automatico, e l'uso di funi più tese per ottenere cicli di vita più lunghi e velocità maggiori. Queste innovazioni furono applicate anche alla funivia del Gran Sasso e portarono al brevetto "Bleichert-Zuegg".

[6] La stessa impresa che aveva vinto l'appalto nel 1982, ma con una forma societaria differente. La Agudio nacque nel 1861, anno dell'unità d'Italia, dall'ingegnere torinese Tommaso Agudio. Al tempo della realizzazione della nuova funivia era già partner di Leitner, nella quale è definitivamente confluita nel 2015, pur mantenendo il marchio storico. La TIBB-Tecnomasio Italian Brown Boveri, fondata nel 1863, ha chiuso nel 2021, acquistata dalla Bombardier, dopo aver subito diversi accorpamenti dal 1989.

Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo, Giuseppe Piccolo

Necropoli Ellenistica di Neapolis. Ipogeo delle Colonne. Nuove osservazioni sulla tecnica costruttiva del prospetto monumentale

Hellenistic Necropolis of Neapolis. Hypogeum of the columns. New observations on the construction technique of the monumental façade

Sommario

A Napoli, in vico Traetta n. 2, dal cortile di Palazzo de' Mari, attraverso una moderna tripla scala bonificata dai materiali di scarto sversati nel secondo dopoguerra, si può raggiungere una serie di cinque tombe a camera già menzionate da Carlo Celano nel 1692 e parzialmente pubblicate, per la prima volta, da Michele Ruggiero nel 1888. Il fronte monumentale in questione, con semicolonne, si affacciava sull'antica strada dalla quale un *dromos* chiuso da grandi blocchi consentiva l'accesso alla camera funeraria che conserva resti della decorazione parietale ad affresco. Il contributo qui presentato intende approfondire le tecniche costruttive della facciata monumentale con l'ausilio di un accurato rilievo laser scanner per perfezionare il prezioso studio pubblicato da Ida Baldassarre negli anni Novanta del secolo scorso. La facciata di questa tomba a camera, del tutto diversa dagli altri monumenti conosciuti della necropoli ellenistica di *Neapolis*, presenta un apparato decorativo in muratura a blocchi molto peculiare, che spicca nettamente tra le tombe "di facciata" per la sua particolarità. L'individuazione di un possibile modello napoletano per altri monumenti sepolcrali fornisce una nuova interpretazione di questo linguaggio architettonico: non più sperimentazione, ma solo rielaborazione di un nuovo concetto di prospetto monumentale.

Abstract

In Napoli, at 2 vico Traetta n. 2, from the courtyard of Palazzo de' Mari, through a modern triple staircase that was filled with waste materials dumped there in the post-World War II and has been removed, one can reach a series of five chamber tombs already mentioned by Carlo Celano in 1692 and partially published, for the first time, by Michele Ruggiero in 1888. The monumental façade in question, with semi-columns, overlooked the ancient road from and a *dromos* enclosed by large blocks allowed access to the burial chamber that preserves remnants of fresco wall decoration on the rear wall. This paper aims to delve into the construction techniques

of the monumental façade with the help of accurate laser scanner survey to refine the valuable study published by Ida Baldassarre in the 1990s. The façade of this chamber tomb, completely different from the other known monuments in the Hellenistic necropolis of *Neapolis*, features a very distinctive masonry decorative apparatus that stands out prominently among the "façade" tombs for its uniqueness. The identification of a possible Neapolitan model for other sepulchral monuments provides a new interpretation of this architectural language: no longer experimentation, but rather the reworking of a new concept of monumental elevation.

Introduzione

La necropoli ellenistica ubicata a nord di Neapolis, oggi sepolta dai sedimenti alluvionali, è interamente intagliata nel banco tufaceo delle colline che coronano la città. I monumenti allineati lungo la strada *extramoenia* che risaliva verso Capodimonte presentano facciate che richiamando modelli macedoni testimoniano la potente identità delle classi dominanti. Due le tipologie delle tombe: a camera doppia e a camera singola. Nel primo caso nel vestibolo superiore è ricavata una scala che permette di accedere alla camera funeraria inferiore, nel secondo la scala è ricavata in un *dromos* esterno al fronte tufaceo che immette direttamente alla camera funeraria sottoposta al livello stradale.

Il monumento n. 8, oggetto di questo contributo, è parte del complesso di tombe ellenistiche, in Figura 1, di cui si ha notizia già dal 1685 (Celano, 1692, p. 78) e che sono descritte poi, in maniera più dettagliata, da Michele Ruggiero, diventato proprietario del palazzo nel 1886. La pubblicazione di Ruggiero è infatti arricchita da quattro disegni di Giuseppe Solari, in Figura 2, che per qualità di rilevamento e minuziosa rappresentazione grafica forniscono preziose informazioni sullo stato dei luoghi a quel tempo (Ruggiero, 1888, pp. 10-14). Scrive Ruggiero: «A sinistra salendo la prima branca della scala di essa casa si vede ancora appiedi della muratura moderna qualche avanzo di opera reticolata. La presente discesa al sepolcro è in un canto del lato sinistro del cortile, per una scaletta in principio disagiata e scontorta che si dimostra chiaramente moderna. Aveva il sepolcro tre celle o

Fig. 1 - Napoli: planimetria dell'area interessata dalla necropoli ellenistica di vico Traetta e via Santa Maria Antesaecula (Capriuoli *et al*., 2020, p. 450).

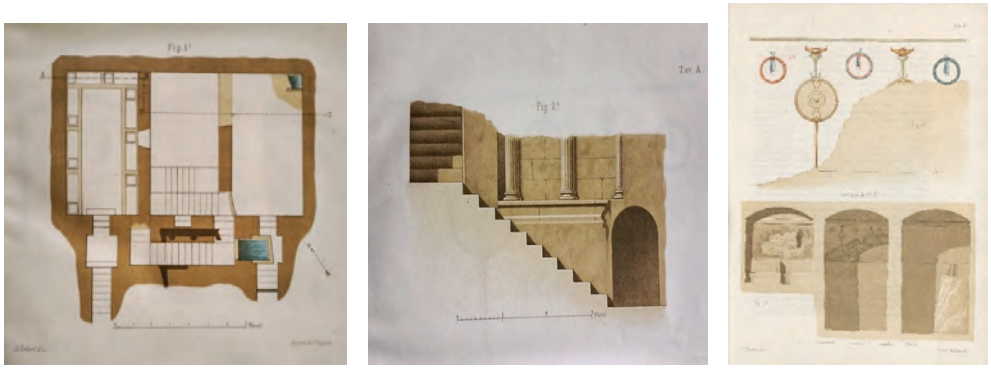


Fig. 2 - Complesso dei sepolcri di Vico Traetta: planimetria, a sinistra, prospetto dell'ipogeo delle colonne, al centro (Ruggiero, 1888, Tav. A, figg.1-2) *e sezione, a destra* (Ruggiero, 1888, Tav. B, figg. 3-4).

stanze cavate nel masso sotto tre cieli tagliati in forma di volte schiacciate con una semplice fascia d'imposta […]. Le volte, le fasce e le pareti erano coverte di stucco. Ciascuna cella avea la sua particolare entrata, come si vede chiaramente nella cella a sinistra, per una scaletta che riesce nel mezzo di uno dei lati corti, ora interrotta con un soffitto di lastroni di tufo disposti orizzontalmente che vanno a investire i successivi scalini superiori. Le mutazioni posteriori hanno anche peggio distrutte le antiche entrate degli altri due sepolcri. In quel di mezzo fu fatta una nuova scala a traverso all'antica e turati i due vani a destra e a manca; il primo con un sottile ripieno di fabbrica incerta; l'altro con quella facciatina che vi fu addossata delle tre colonne, […] il cui uso e il cui proposito non è facile investigare. All'ultimo sepolcro fu poi mozzata in tronco la scala col vano di un pozzo, lasciandone nondimeno le tracce in due lati; e questo probabilmente in tempo meno remoto, quando con l'estendersi della città o col sorgere del borgo, vi fu sopra murata e provveduta d'acqua la casa» (Ruggiero, 1888, p. 11)

Il complesso di vico Traetta

Alla fine degli anni Novanta del secolo scorso un'attenta analisi critica del complesso di vico Traetta è stata sviluppata da Ida Baldassarre che, oltre a fornire un inquadramento tipologico dell'architettura e della decorazione pittorica ha proposto alcune preliminari, ma importanti osservazioni, che qui saranno esaminate (Baldassarre, 1998, pp. 115-124).

Nel monumento, poco sopra il livello strada, fu realizzato un profondo incasso destinato a collocare un apparato decorativo a blocchi di tufo, costituito da un podio modanato su cui sono poggiate quattro semicolonne scanalate, su base attica, addossate alla muratura di fondo caratterizzata da elementi disposti a giunti sfalsati.

La semicolonna a destra, in continuità con i blocchi ai quali si appoggia, costituisce il limite dell'incasso verticale intagliato nel fronte tufaceo e costituisce l'estremità di questa fronte colonnata facilmente ricostruibile, nonostante le manomissioni e le trasformazioni successive.

L'ingresso, attraverso il *dromos*, è tagliato da una scala seicentesca e si colloca in asse esattamente sotto l'intercolumnio centrale; la facciata a semicolonne, in Figura 3, molto probabilmente sosteneva un frontone triangolare (Baldassarre, 1998). Nel prospetto appare evidente la scelta progettuale di creare una sella intagliata nel banco tufaceo, realizzata a scalpello, per sistemare la facciata costituita da blocchi di tufo lavorati fuor d'opera e riassemblati in cantiere. Sono evidenti, sia nel basamento modanato che nella muratura di prospetto a blocchi sfalsati, le sottili commessure murarie, ancor meglio evidenziate nella sovrapposizione dei rocchi delle semicolonne ioniche scanalate poggianti su base attica; le posizioni di queste ultime sono segnate con evidenti tracce di cantiere sul basamento. L'intero apparato presenta tracce

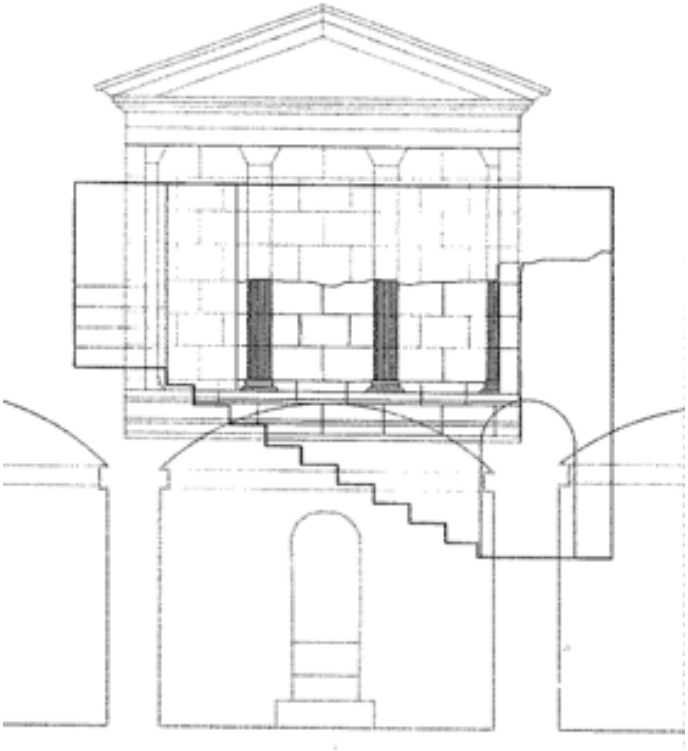


Fig. 3 - Complesso dei sepolcri di Vico Traetta: ipotesi ricostruttiva del prospetto monumentale dell'ipogeo delle colonne (Baldassarre, 1998, p. 121, fig. 17).

Fig. 4 - Complesso dei sepolcri di Vico Traetta: dettagli del prospetto monumentale dell'ipogeo delle colonne (Foto di Mauro Palumbo ©2023).

di uno scialbo con resti di pittura di colore rosso e sui blocchi sono evidenti segni di scalpello impressi sia in senso diagonale che verticale, probabilmente preparazione per la posa di un successivo intonaco, operazione quest'ultima ascrivibile a una fase al momento di difficile datazione. In Figura 4 sono riportate le foto di alcuni dettagli.

L'utilizzo delle incisioni di tracciamento, tuttavia, fornisce la più immediata forma di collegamento tra l'idea del progettista e la manualità delle maestranze, inequivocabili segni-guida, impronte tangibili di quanto programmato di eseguire (Inglese, 2000, pp. 9-11). A questo proposito, di grande rilievo appare quella che si può definire una innovazione tecnologica, che si riscontra nella lavorazione degli apparati decorativi delle membrature architettoniche. Infatti, la produzione di elementi quali capitelli, basi e fregi avveniva attraverso attente costruzioni geometriche, allo scopo di realizzare pezzi preconfezionati, basati sulla riproduzione di prototipi ben definiti. Il fuor d'opera che qui si riscontra, oltre a consentire un iter realizzativo più accurato, consentiva una precisa prefabbricazione dei blocchi e una conseguente velocità di esecuzione nella posa in opera; tutti gli elementi una volta assemblati erano rifiniti in situ. Nel nostro caso cava, officina e cantiere coincidono. Alcuni studiosi hanno ipotizzato che il completamento in muratura di questa tomba, come di quella di S. Maria

Antesaecula, anch'essa parzialmente completata in muratura nella parete ovest della camera funeraria, suppliva a una discontinuità del banco tufaceo (Vecchio, 1985, pp. 291-292; Baldassarre,1998, p. 123; Amodio, 2014, pp. 126-128); in realtà, come chiarito, il taglio del banco tufaceo è intenzionale ed è molto probabile che l'idea di poter progettare una facciata da montare sul prospetto del monumento funerario risieda appunto in un nuovo modello organizzativo del cantiere dove la perizia dei maestri muratori, che operavano con strumenti di tracciamento, tendeva a velocizzare il posizionamento dei singoli blocchi preparati fuor d'opera a differenza di quanto accadeva nelle facciate delle tombe scolpite direttamente nel banco tufaceo, che richiedevano maestranze con specializzazione ben diversa. Non sappiamo se la scelta di "scolpire" o "montare" fosse legata a precise volontà della committenza, ma in ogni caso l'obiettivo era funzionale a ottenere la migliore visibilità del monumento, importante momento di autorappresentazione delle classi agiate (Colonna, 1974, p. 253).

I confronti architettonici

Gli studiosi considerano la caratteristica tipologia funeraria napoletana quale importante funzione di mediazione e rielaborazione di modelli ellenistici sperimentati a Napoli a partire dalla fine del IV secolo e per tutto l'ellenismo.

I riferimenti immediati sono costituiti dalle tombe macedoni, con le finte facciate a semicolonne addossate: un linguaggio architettonico ampiamente diffuso in età ellenistica, quasi contemporaneamente proposto in ambito napoletano. Si pensi ai prospetti delle tombe delle palmette di Mieza, di Pella, alla tomba del giudizio di Lefkadia e alla tomba di Euridice a Vergina (D'Angelo, 2010, pp. 57-68).

Più interessante, dal punto di vista architettonico e strutturale, è ritrovare nel mondo etrusco quella che ci sembra di poter considerare un'eco piuttosto che un modello della tipologia a due livelli presenti nelle necropoli napoletane. Infatti, sempre nella tipologia dell'architettura di facciata, sono documentate a Tarquinia, dall'inizio del III secolo, tombe che si distinguono per i vestiboli posti quasi in superficie e comunque a quota più alta della camera funeraria. Sull'argomento si vedano i recenti confronti tra le tombe rupestri a facciate della Licia e quelle etrusche, in particolare la tomba rupestre a facciata in forma di tempio di Antiphellos (Dentzer, 1982, tav. 24, fig. 210) e alcune tombe della necropoli di Limira in Licia (s.a., 1990, fig. 24; Amann e Ruggendorfer, 2010, pp. 406-428).

È chiaro che singoli elementi della facciata monumentale del sepolcro n. 8 di vico Traetta sono comuni a diversi ambiti del mondo ellenistico, come il concetto stesso della falsa facciata o la mescolanza scavato-costruito; ma il podio modanato, con la sua funzione di mero sostegno delle colonne, richiama il motivo altrettanto originale del parallelepipedo modanato sotto le colonne e le paraste addossate alle porte d'ingresso del sito dei Cristallini[1]. I documenti di ambiente italico portati ad esempio di realtà architettoniche di riferimento sono tutti più tardi delle tombe

napoletane, mentre tra i precedenti greci di IV sec., che documentano una indubbia sperimentazione in questo senso, nessuno sembra riproporre un aspetto paragonabile alle facciate napoletane: non più sperimentazione, ma compiuta elaborazione di un nuovo concetto architettonico di prospetto. (Lauter, 1986, pp. 253-256).

In questa sede si propongono due termini di confronto, che possono essere spunto per ulteriori studi e discussioni: il prospetto laterale del tempietto in terracotta con Dioniso e Arianna dal deposito votivo rinvenuto presso la Porta Nord a Vulci, databile al IV-III secolo a.C. ,e il prospetto del tempio di Portuno o della Fortuna Virile, in cui ritorna nella cella il motivo delle semicolonne addossate alla muratura, come evidenziato nella ipotesi ricostruttiva dell'ipogeo di vico Traetta nelle Figure 5 e 6.

Conclusioni

Le tombe ellenistiche di Neapolis, come già ampiamente chiarito dagli studiosi, sono monumenti concepiti singolarmente e, seppur differenziati tipologicamente, documentano un omogeneo orizzonte culturale e cultuale. Le facciate, architettonicamente elaborate, aspirano a una forte rappresentatività, amplificando l'effetto scenografico del banco tufaceo.

La loro esecuzione denuncia un alto livello artigianale, sia nella grande capacità di escavare ambienti nel banco tufaceo, sia nella realizzazione di magnifiche membrature architettoniche e pittoriche. Questa progettualità incentrata anche sull'utilizzo di tracciati di cantiere era completata e resa ancor più evidente da una serie di elementi complementari: le linee guida, tratti metodologici di un sapere basato sulla trasmissione delle operazioni da effettuare e il progetto architettonico, sapientemente definito, in tutte le sue operazioni, dalla ideazione alla graficizzazione dei suoi elementi strutturali e decorativi, alla produzione, fino alla lavorazione e alla posa in opera finale.

Il tema della "standardizzazione" dei prospetti e della connessa "prefabbricazione" degli elementi costruttivi, appena tratteggiato, ci sembra di grande interesse e meritevole di approfondimenti futuri. Proporre architetture predefinite sottende ipotizzare una committenza desiderosa di scegliere con certezza un prodotto certamente non originale, sicuramente più economico ma, aspetto determinante, scevro dai rischi di scolpire un banco tufaceo che non consente ripensamenti. La serialità di produzione degli elementi peraltro necessita di modelli organizzativi che prevedono laboratori specializzati. Tali considerazioni si riflettono in modelli di strutturazione economica di straordinario interesse che ci consentono di comprendere sempre meglio l'organizzazione sociale del tempo.

Questi monumenti di eccezionale qualità non sono ancora sufficientemente studiati; un approccio pluridisciplinare porterebbe senza dubbio a ricavare elementi utili per la comprensione storica di quei gruppi sociali che nel tempo hanno utilizzato gli ipogei (Pontrandolfo, 1985, pp. 283-28; Bosso, 2020, 10, p. 352).

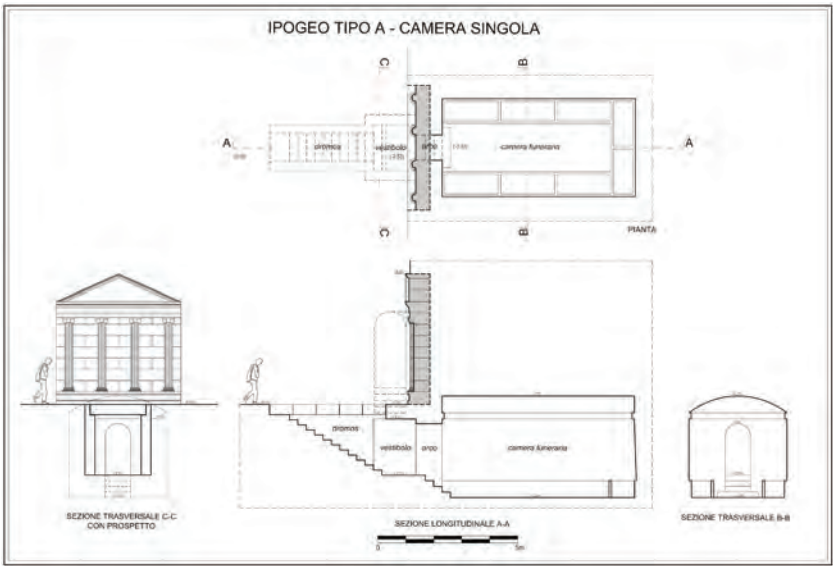


Fig. 5 - Complesso dei sepolcri di Vico Traetta: ipotesi ricostruttiva dell'ipogeo delle colonne (arch. Mauro Di Vasta, 2022).

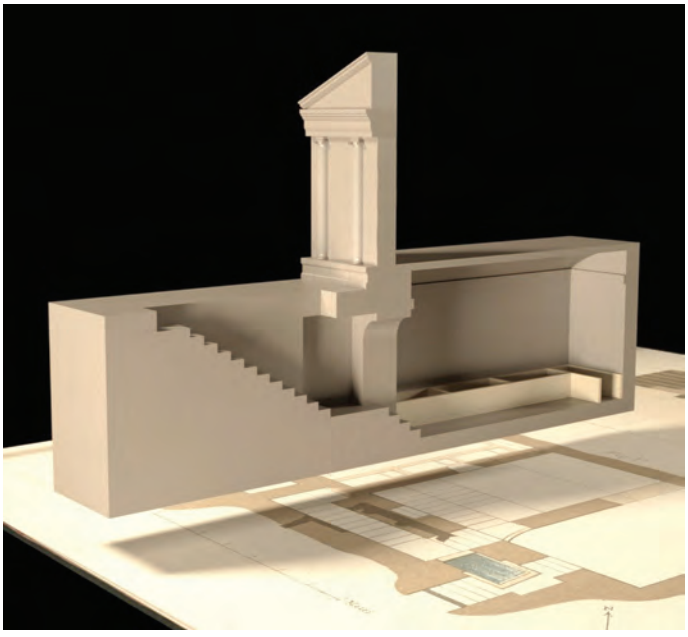


Fig. 6 - Complesso dei sepolcri di Vico Traetta: ipotesi ricostruttiva tridimensionale dell'ipogeo delle colonne (arch. Giuseppe Piccolo, 2023).

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano il prof. Salvatore D'Agostino e la prof.ssa Francesca Romana d'Ambrosio per il costante incoraggiamento a proseguire nella ricerca, Federico Capriuoli per la documentazione grafica e Mauro Palumbo per le fotografie.

Bibliografia

Amman P., Ruggendorfer P. 2014. Le tombe rupestri a facciata della Licia e dell'Etruria: un confronto. In: *L'Etruria meridionale rupestre. Atti del Convegno Internazionale "L'Etruria rupestre dalla Protostoria al Medioevo. Insediamenti, necropoli, monumenti, confronti*". Barbarano Romano - Blera, 8-10 ottobre 2010. 392-414. Roma: Palombi & Partner.

Amodio A. 2014. *Le sepolture a Neapolis dall'età imperiale al tardo-antico. Scelte insediative, tipologie sepolcrali e usi funerari tra III e IV secolo*. Napoli: Giannini editore.

Amodio M., Camodeca G., Capriuoli F., Leggieri C. *et al*. s.d. Nuovi studi sulla necropoli ellenistica a nord di Neapolis. Pittura e architettura dalla documentazione digitale alla restituzione virtuale. In: *Pareti dipinte. Dallo scavo alla valorizzazione. Atti del XIV Colloquio AIPMA-Association Internationale pour la Peinture Murale Antique* (a cura di A. Coralini), Napoli-Ercolano, 9-13 settembre 2019. In corso di stampa.

Baldassarre I. 1998. Documenti di pittura ellenistica da Napoli. In: *L'Italie méridionale et les premières expériences de la peinture hellénistique, Actes de la table ronde organisée par l'École française de Rome*. Rome, 18 février 1994. 95-159. Roma: Publications de l'École française de Rome, 244.

Bosso R. 2020. «Al mesto orror profondo». Le tombe a camera ellenistiche della Sanità, scoperte e ricerche nei secoli XVIII e XIX. In: *Archeologie borboniche La ricerca sull'antico a Capri e nelle province di Napoli e Terra di Lavoro. Atti del Convegno Internazionale di Studi* (a cura di R. Bosso, L. Di Franco, S. Foresta, R. Perrella), Capri-Anacapri, 11-12 ottobre 2019. 349-375. Roma: Quasar.

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: *Proceedings of the 4th International Conference on History of Engineering - Atti dell'8° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). II. 449-462. Napoli: Cuzzolin Editore.

Celano C. 1692. *Notitie del bello, dell'antico e del curioso della città di Napoli*. Giornata Settima: 78. Napoli: Nella Stamperia di Giacomo Raillard.

Colonna G. 1974. La cultura dell'Etruria meridionale interna con particolare riguardo alle necropolis rupestri. In: *Aspetti e problemi dell'Etruria interna, Atti del Convegno Nazionale di Studi Etruschi ed Italici*, 253-265. Orvieto, 27-30 giugno 1972. 253-265. Firenze: Olschki.

D'Angelo B. 2010. The Evolution of the Macedonian Tomb: Hellenistic Funerary Architecture Revisited. Patrimonium, 7, 57-67.

De Jorio A. 1824. *Metodo per rinvenire e frugare i sepolcri degli antichi*. Napoli: Nella Stamperia della Società Filomatica.

Dentzer J.M. 1982. *Le motif du banquet couché dans le Proche-Orient et le mond grec du VIIe au IVe siècle avant J.C.* Roma: École française de Rome.

s.a. 1990. *Götter, Heroen, Herrscher in Lykien*. Catalogo Mostra, Wien-München. Wien: A Schroll.

Greco Pontrandolfo A. 1985. Gli ipogei funerari. In: *Napoli antica*. 238-287. Napoli: Macchiaroli editore.

Inglese C. 2000. *Progetti sulla pietra*. Roma: Gangemi.

Ruggiero M. 1888. *Degli Scavi di Antichità nelle province di terraferma dell'antico Regno di Napoli dal 1743 al 1876*. Napoli: Tipografia di Vincenzo Morano nell'Istituto Casanova.

Vecchio G. 1985. Camere sepolcrali in vico Traetta. In: *Napoli antica*. 289-293. Napoli: Macchiaroli editore.

Nota

[1] Baldassarre (1988) nota le sostanziali differenze di facciata di questo sepolcro rispetto al cosiddetto ipogeo "C" del complesso di Via dei Cristallini. A via dei Cristallini si è di fronte a due camere sovrapposte, di cui quella superiore è occupata dalla scala di accesso alla camera funeraria; il prospetto dei quattro sepolcri è costituito da una facciata monumentale, scandita da colonne scolpite nel banco di tufo che ne inquadrano le aperture. Il complesso dei tre monumenti di vico Traetta è di diversa tipologia: il vestibolo superiore è assente e un *dromos* con scala permette l'accesso alla camera funeraria sottostante.

Mariangela Bellomo, Antonella Falotico

Decodificare per riscrivere la storia del patrimonio tecnico. Il caso ANIC di Pisticci

Decode to rewrite the history of technical heritage. The ANIC case of Pisticci

Sommario
Nel secondo dopoguerra, in Italia, prende il via un processo di industrializzazione che reca con sé la nascita di nuovi brani urbani, i quartieri operai. Tra questi un posto di rilievo lo occupano i quartieri dell'Anic di Enrico Mattei. Il contributo illustra il quartiere Anic di Pisticci nella provincia di Matera, proponendo una modalità di ri-lettura dei suoi caratteri fondanti in relazione alla storia di un patrimonio poco conosciuto, ma testimone importante della cultura e dello sviluppo socio-tecnico del Mezzogiorno.

Abstract
After the Second World War, in Italy, industrialization began that produced new urban areas, and the worker's neighbourhoods. Among these are the Anic residential neighbourhoods by Enrico Mattei. The contribution illustrates the Anic neighborhood of Pisticci in the Matera district, proposing a way of re-reading its founding characteristics about the history of a little-known heritage but an important witness to the culture and socio-technical development of Southern Italy.

Introduzione. Il sistema di quartieri operai nella storia dell'Italia di Mattei

Scrivere dei quartieri operai del secondo Novecento in Italia significa narrare la nascita di nuovi insediamenti urbani dovuti al processo di industrializzazione verificatosi a valle del secondo conflitto mondiale, un processo che, in molti casi, si è avvalso dell'operato di figure imprenditoriali di primo piano apparse sulla scena nazionale e internazionale.

In Italia un posto di rilievo è occupato da Enrico Mattei che, sin dal momento in cui disattese l'incarico di liquidare e privatizzare l'AGIP, ha lavorato affinché il Paese potesse avere un'impresa energetica nazionale. Dal suo intuito e dal suo operato discendono industrie, stazioni di servizio, motel, villaggi turistici, quartieri operai, città fabbrica e città amministrativo-organizzative (Deschermeier, 2008).

Le nuove *company town* irrompono nel paesaggio sostanzialmente agricolo o pastorizio per proporre nuovi luoghi dell'abitare in cui coesistono, sul piano sociale, tutti coloro che a vario titolo lavorano nei presidi industriali, operai, impiegati e dirigenti, e, sul piano funzionale, architetture per residenze, terziario e servizi.

Indagati e studiati nelle loro architetture di rappresentanza, raramente negli edifici residenziali, i quartieri operai di Metanopoli, Ravenna, Gela e Pisticci rappresentano un documento concreto della storia del costruire del secondo '900. I loro caratteri restituiscono la concretezza di un "fare" strettamente connesso a nuovi campi di ricerca che, a partire dalla lezione dei maestri del Movimento Moderno, hanno informato il dibattito in architettura nonché il pensiero tecnico dei progettisti del '900; i quartieri sono l'emblema della 'rinascita' di quegli anni e interpretano le ragioni di un atteso sviluppo e un desiderato progresso.

Metanopoli la città del metano

Nel 1952, ai primordi della storia dell'ENI, Mattei immagina di dare vita a una città da costruire ex-novo in San Donato Milanese: Metanopoli, la città del metano. L'area prescelta, di ottantamila metri quadrati, si trova alle porte di Milano, in prossimità di infrastrutture di rilievo quali l'aeroporto di Linate, l'autostrada del Sole e la via Emilia, l'arteria che connette Milano al sud del Paese.

Il masterplan di Metanopoli, progettato da Mario Bacciocchi, si fonda sulla "quadra residenziale". Si tratta di un modulo planimetrico di 120 m x 120 m che, in assenza di un piano urbano univocamente definito, restituisce carattere di riconoscibilità alla città destinata a essere centro direzionale, polo scientifico, presidio industriale, centro di formazione, quartiere residenziale e sistema di attrezzature, in un gioco sapiente tra aree pubbliche e aree private.

La città nasce con la realizzazione della stazione di servizio Agip, il cui progettista è Bacciocchi, e del Complesso industriale SNAM progettato dagli architetti Marco Bacigalupo e Ugo Ratti, per poi proseguire con la costruzione di residenze ed edifici per il lavoro.

Per le residenze, edifici in linea, si adottano strutture in calcestruzzo armato con solai in latero-cemento. Il nuovo materiale, immaginato dalla durata infinita, diventa sperimentazione di nuove strutture e nuovi codici costruttivi con i quali generare nuovi esiti figurativi: telai leggermente sporgenti rispetto al tompagno che rimandano a casa in rue Franklin di Auguste Perret, spigoli di edifici svuotati e destinati a ospitare logge o infissi, esili colonne che attraversano ampi balconi distribuiti su più piani che rimandano ai pilotis di Le Corbusier. Gli edifici progettati da Bacigalupo e Ratti costituiscono l'archetipo di quanto sarà realizzato in parte a Pisticci.

Per gli edifici di rappresentanza, oltre a utilizzare il calcestruzzo armato, si esplorano gli esiti dell'innovazione tecnica introdotta dai sistemi a secco. Il Secondo Palazzo per uffici, per esempio, presenta struttura portante in acciaio saldato e solette

latero-cementizie. L'involucro è in *curtain wall* con telai modulari in alluminio anodizzato [1]. Sono architetture che dialogano col proprio tempo: in questi stessi anni, a Milano, si costruiscono la torre Velasca e il grattacielo Pirelli, due architetture di particolare rilevanza della storia dell'architettura contemporanea, pensate in acciaio e poi realizzate, per motivi esclusivamente economici, in calcestruzzo armato [2].

È evidente che il progetto di Metanopoli interpreta la volontà di Mattei: generare la riconoscibilità delle città dei lavoratori[1] mediante tipi edilizi e costruttivi delle residenze, ripetuti e ripetibili; manifestare con gli edifici a supporto dell'industria la potenza di quest'ultima ovvero conferire a un'azienda statale, l'ENI, il ruolo di volano della rinascita dell'economia italiana connessa al settore industriale.

I quartieri Anic

I quartieri Anic di Ravenna, Gela e Pisticci, rappresentano le città del petrolchimico distribuite da nord a sud del Paese.

Dal punto di vista cronologico il quartiere di Ravenna viene realizzato in un arco di tempo compreso tra il 1957 e il 1964, quello di Gela tra il 1962 e il 1965 e quello di Pisticci tra il 1961 e il 1971. Sono gli anni della sperimentazione in Architettura di sistemi di industrializzazione leggera e pesante. Per il primo caso un esempio emblematico è il quartiere QT8 di Milano, manifesto dell'ottava triennale del 1947, nel quale fu messa in opera una serie di brevetti come, ad esempio, il sistema CGT o il sistema Gaburri[2] che prevedevano l'assemblaggio in cantiere di elementi prefabbricati; nel secondo caso ci si può riferire alla costruzione di molti quartieri residenziali degli anni '60, avvenuta mediante il ricorso ai sistemi prefabbricati importati da altri Paesi europei, ad esempio il sistema Balency, il Camus e il Coignet. Un esempio, in tal senso, è il quartiere di Gratosoglio a Milano per il quale lo Studio BBPR collaborò con gli uffici tecnici di Italcamus e Coignet.

Seguiranno i sistemi con il trasporto in cantiere di casseforme mobili per la realizzazione di setti portanti e solette, quali i sistemi a Tunnel, Banche et Table, degli anni '70, fino ad arrivare ai procedimenti costruttivi definiti per sistemi e componenti a catalogo.

Il sistema costruttivo in calcestruzzo armato gettato in opera è quello prediletto per la realizzazione degli edifici residenziali dei quartieri Anic, ciò significa che i progettisti di volta in volta incaricati si sono confrontati con la cultura industriale di quel tempo e ne hanno re-interpretato i criteri di standardizzazione, modularità, tipizzazione, serialità, rendendoli visibili nella ripetizione del "tipo" edilizio e dei caratteri figurativi del nuovo abitare.

Ravenna, Gela, Pisticci presentano, nella propria struttura insediativa, una serie di invarianti quali gli assi a scorrimento veloce, le residenze degli operai distinte da quelle dei dirigenti, gli edifici per servizi, terziario e attività ludico-sportive e le recinzioni per fissare il perimetro dell'insediamento. Tutto ciò fa sì che i quartieri

partecipino alla definizione di una matrice identitaria del Paese industriale del secondo dopoguerra e rappresentino la modernità razionalista degli ingegneri della SNAM, i quali sono preposti alla approvazione dei progetti e alla supervisione delle realizzazioni.

I quartieri sono, quindi, un documento materiale della cultura urbanistica, architettonica e tecnologica del secondo '900, configurandosi come un patrimonio tecnico, la cui rilettura necessita di uno sguardo capace di un continuo cambio di scala per far emergere, da un lato, il sistema di relazioni con il contesto ampio; dall'altro, il sistema di scelte che rendono i quartieri, al tempo stesso, unici e riconoscibili.

Nei prossimi paragrafi il contributo propone un metodo attraverso il quale decodificare, alle diverse scale, il quartiere Anic di Pisticci.

Una prima questione. Il metodo

Nel significato greco di mètodo**,** *μέθοδος*, è contenuto il termine via, *ὁδός*. Nel metodo risiede dunque la "via" per raggiungere un fine. In questo quadro il metodo, che la ricerca in tanti anni sta tentando di costruire, è rivolto alla conoscenza della struttura delle cose attraverso pratiche di de-costruzione, pratiche fondanti per il riconoscimento e la ri-significazione di strutture sistemiche. Le azioni sono riconducibili a quattro temi: riconoscimento/lettura degli schemi prodotti dal contesto, decodifica/decostruzione dell'esistente e assegnazione di codici, individuazione di un sistema di "segni"/elementi emergenti capaci di orientare, ri-configurazione/ipotesi per riscrivere la relazione uomo-natura-artefatti. Le stesse azioni sono riferibili alla grande e alla piccola scala secondo una ipotesi di ri-connessione generale che vede l'uomo in un rapporto simbiotico con la natura e gli artefatti: la prossima rivoluzione, afferma il filosofo Luciano Floridi, non sarà lo sviluppo verticale quanto piuttosto uno sviluppo orizzontale che riguarderà il connettere "tutto a tutto", *a2a, Anything to Anything* (Floridi, 2017). Una condizione che gli scienziati indicano come "effetto farfalla", propria delle trasformazioni dei sistemi dinamici per cui ogni variazione iniziale condiziona quelle successive.

È in questa tensione/relazione alle trasformazioni che risiede oggi la sfida dei paesaggi: se da un lato è necessario che il progetto sia pensato in termini trasformativi, dall'altro è necessario comprendere la relazione con i luoghi, riconoscerne la struttura, i caratteri fondanti, immutabili, resistenti, generativi, in un gioco in cui continuamente si confrontano mutamenti e permanenze per aderire a un concetto di difesa oggi più che mai necessario. E per dare significato alla storia.

La storia sta nella struttura delle cose, è la polpa attaccata alle ossa, quella parte fatta di strati, concrezioni, livelli: alcuni profondi, l'antico, altri più superficiali, il nuovo, ma indissolubilmente legati da una trama di relazioni, l'uno il supporto dell'altro. In questa relazione risiede la possibilità di individuare le componenti più resistenti, immutabili e quelle evolventi, plasmabili, mutanti e maggiormente predi-

sposte a divenire 'nuova storia'. È in questa chiave metodologica che è decodificato il quartiere Anic di Pisticci: a conclusione del suo lungo ciclo di vita, sembra necessario provare a verificare il potenziale documentale di un patrimonio che ha segnato una parte importante della Storia dell'Italia, della Lucania e del Sud.

Decodificare la grande scala. I Paesaggi di Pisticci tra struttura, architettura, tecniche

A Pisticci è possibile "contare" diversi tipi di struttura del paesaggio. Questo è scandito dalla natura del territorio, dalla storia che lo ha plasmato, dalla cultura materiale; dalla relazione tra la componente immateriale, lo spazio, e la materia, «la costruzione delle cose e della loro corporeità, tattilità e tettonica» (Gregotti, 2002, p. 90).

Il comune si identifica per la sua forma di rettangolo allungato che dalla costa jonica si spinge in profondità verso l'interno del territorio e per i due confini che, sul lato lungo, sono segnati dall'andamento parallelo di due fiumi, il Cavone e il Basento. La sezione longitudinale descrive un andamento del territorio che, dalla parte più alta su cui sorge il centro antico, degrada verso la Piana di Marconia fino a raggiungere la costa che si struttura in terrazze parallele al mare. Una tripartizione del territorio, come in Figura 1, che va dal sistema "Alto", calanchivo, erosivo, del nucleo fondativo, al sistema "Medio" caratterizzato dal pianoro voluto dai massicci interventi di bonifica degli anni '20 - '40 fino ad arrivare al sistema "Basso", scandito da terrazzi che in lievi livelli arrivano fino al mare e accolgono la matrice territoriale della Riforma agraria degli anni '50.

La tripartizione del territorio è immaginata quale strumento di de-codifica della grande scala. Il Borgo più antico, collocato in quello che abbiamo denominato sistema "Alto", fu fondato nell'XI secolo e si divide in 16 Rioni che si snodano su un suolo caratterizzato da una struttura urbana disegnata da piccole strade parallele alle curve di livello. Il più caratteristico è il Rione Dirupo risalente al XVI secolo che segna l'architettura dell'intero borgo: le casette, concentrate a schiera lungo le strade, sono formate da un unico ambiente a pianta rettangolare e dal tetto a due falde

Fig. 1 - Trame e paesaggi di Pisticci: la collina, il Paesaggio "Alto", a sinistra, la città di fondazione, il Paesaggio "Medio", al centro e la costa, il Paesaggio "Basso", a destra.

simmetriche che disegna, con il corrispondente timpano, il prospetto principale sulla strada su cui si aprono la porta e una piccola finestra alta. La struttura è in muratura portante in mattoni di laterizio a tre teste rivestita di intonaco liscio, attintato con il colore bianco. Questa tipologia è tipica dell'architettura locale e di gran parte del territorio pisticcese ma è diffusa su un'area molto più estesa dell'intera zona del materano segnando il codice dell'architettura materiale, quella che deriva dall'uso dell'argilla e dalla ricca presenza, lungo i fiumi, della canna utilizzata per la realizzazione dei "cannizzi" usati per i manti di copertura.

Differente la lettura del Paesaggio del sistema "Medio", quello che si estende nella piana di Marconia, città di fondazione fascista, opera della massiccia azione di bonifica dei terreni boschivi, paludosi e insalubri, nata come centro amministrativo della vicina colonia confinaria del Centro Agricolo. Qui, la rigida scacchiera dei lotti urbani disegna un territorio ordinato, sorto in relazione alle trasformazioni dell'economia, della cultura, della politica e del paesaggio novecentesco. Marconia, con la sua Piazza Elettra, è il nucleo fondativo intorno a cui avrebbe dovuto svilupparsi una città simile a quelle di fondazione pontine. A questo disegno, carico di valori simbolici, non corrisponderà lo sviluppo immaginato e, la più estesa frazione di Pisticci, restituisce oggi un tessuto urbanizzato disomogeneo che penetra nel territorio frammentando il suolo agricolo. Emblema del periodo è la colonia di confino di Centro Agricolo, oggi in abbandono. La tipologia delle casette, disposte a schiera su tre lati, è ancora quella tipica delle architetture rurali della piana con struttura in muratura portante e copertura lignea a falda completata con tegole marsigliesi.

Il secondo Novecento, quello che caratterizza la storia del sistema "Basso", porterà cambiamenti significativi e svolte che trasformeranno in maniera profonda il volto del territorio ridisegnando il paesaggio agricolo, le reti e i percorsi, i patrimoni. Vengono qui sanciti i nuovi luoghi dell'abitare che si innesteranno nella millenaria cultura contadina del sud divenendo emblema di nuovi linguaggi tecnici e architetture, ma anche di sperimentazioni sociali importanti. Si aprono dibattiti tra sociologi e urbanisti, tra architetti e ingegneri e la Basilicata diviene un energico laboratorio multidisciplinare.

Questo fermento fonda le radici nella Riforma Agraria degli anni '50 che darà un diverso ordine al codice identitario della Lucania prevalentemente agricola, elaborando nuove forme di insediamento e di intervento sul territorio a partire da massicce opere di sistemazione idrogeologica: il territorio viene scandito da "tessere" organizzate a formare una maglia di poderi al cui interno o ai vertici venivano collocate le casette coloniche isolate, sistema ordinatore che esce dalle maglie dell'agglomerato di vita collettiva della cultura insediativa dei borghi, mantenendo però la cultura tecnica delle costruzioni in muratura portante, tinte di bianco e coperte dal tipico tetto a due falde. Le casette erano strategicamente collegate ai nascenti borghi come Policoro, Metaponto, Scanzano, centri di servizio, organizzati intorno a un elemento centrale, la piazza, spazio di "vita comune" in cui confluivano gli edifici collettivi.

Fanno da contraltare a questo sistema "sparso" gli interventi nei Sassi e le politiche industriali dell'ENI che daranno vita ai "moderni" quartieri.

La nuova architettura dei quartieri materani, come Spine Bianche e La Martella, si farà protagonista e interprete del nuovo linguaggio tecnico dell'architettura moderna attraverso la figura emblematica di Adriano Olivetti, imprenditore illuminato che promuoverà la rigenerazione dei Sassi: il paesaggio contadino muta e accanto alle piccole architetture dei suoli agricoli sorgeranno gli edifici alti, i condomini e dunque nuovi sistemi aggregativi e sociali che però rimangono ancora fedeli alla relazione stretta con il "Paesaggio della terra". A questo si opporrà il "Paesaggio industriale" che, con forza, entrerà nelle trame consolidate ed estese del suolo agricolo. Nasce così il quartiere Anic, figlio del modello voluto da Mattei per tutti i suoi quartieri. A Pisticci l'Anic è parte del progetto ambizioso di una città di fondazione che fa da contrasto all'altra città, quella esistente nella collina bassa, a scacchiera, retta da un patrimonio di costruzioni rurali e dalla cultura materiale locale, lo spazio di intesa e del sedimento contrapposto al nuovo. Un conflitto evidente nei contrasti tra il contadino e l'operaio, tra la donna oppressa e la donna libera, tra il mulo e la macchina, tra la miseria e la ricchezza. È pur vero però che, nelle intenzioni di Mattei, quella città chiusa nella concezione di autosufficienza del recinto rappresentava terreno di riscatto, soluzione a un problema sociale, modello "estensibile" e riproducibile: l'Anic è immaginato come sistema regolatore di dinamiche territoriali e di sviluppo, alla stregua di un dispositivo capace di attivare connessioni: con le reti corte, quelle locali e con le reti lunghe attraverso l'Aviosuperficie e la Stazione di servizio. Il quartiere avrà vita breve ed è pressoché sconosciuto alla comunità scientifica: per chi scrive si qualifica perciò quale interessante laboratorio di studio di un patrimonio di rottura emblematico di una storia importante dell'Italia e del Mezzogiorno, esempio di innovazione sociale e tecnica, che arriva a noi pressoché inalterato, che sopravvive al tempo e per questo assume elevato valore testimoniale.

Decodificare la piccola scala. Il modello Anic di Pisticci: il quartiere e le residenze

Il quartiere Anic ha una storia breve. La scomparsa dell'uomo che lo ha voluto, di fatto, ha segnato la contemporanea fine del sogno industriale della Basilicata e il suo lento abbandono. Tra i quartieri Anic della nostra storia, è l'unico che arriva a noi inalterato nelle sue caratteristiche ambientali, tipologiche e tecniche. Risulta perciò interessante ri-leggerlo come un testo critico nel quale ricercare le antiche valenze perché possano essere convertite in potenziale per la sua rigenerazione e sopravvivenza.

Il quartiere

Il progetto ambizioso del quartiere Anic, che Mattei affida agli architetti Magnaghi-Terzaghi-Ratti-Bacigalupo, è stato realizzato solo in minima parte, come si osserva nella Figura 2

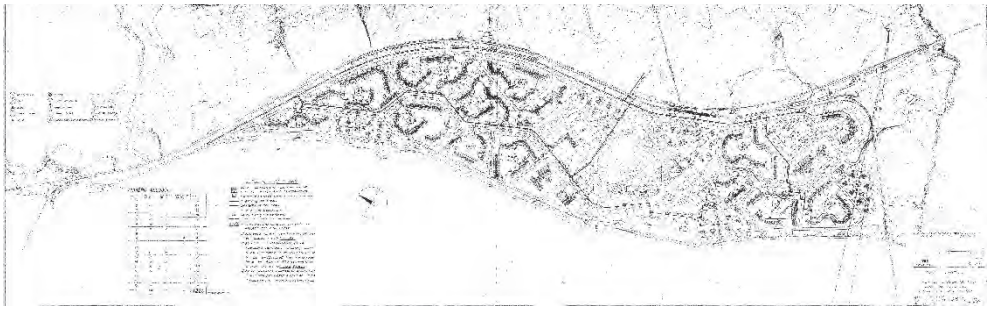


Fig. 2 - L'impianto planimetrico nelle prime ipotesi dei progettisti.

Il lotto, a forma di fuso, orientato lungo la S.S. 407 Basentana sulla direttrice di collegamento tra l'interno e il litorale ionico, è caratterizzato da una forma plastica a differenti altimetrie su cui si distribuiscono gli edifici, le aree di sosta, i servizi e le attrezzature. Questi sono disposti lungo un asse longitudinale di attraversamento dell'intero quartiere, la spina centrale, su cui si innestano i percorsi minori, le arterie, che disegnano gli spazi, i comparti: una organizzazione basata su un dispositivo lineare a struttura ramificata, connettiva, che assume le forme del terreno, che si apre, affonda in cavità per riemergere alla vista dalla collina che divide in due mondi simmetrici il lotto, quello originario nella Figura 3.

Un sistema di ibridazione fra architettura e infrastruttura, imbrigliato però nelle maglie rigide del recinto. A differenza dell'impianto di Metanopoli, retto sul sistema del cardo e del decumano, a Pisticci si realizza la città propria dell'impianto di stampo mediterraneo, più morbida, porosa, che abbandona la linea retta per assecondare la morfologia dei luoghi e combinare in maniera organica le alternanze tra gli spazi privati e gli spazi collettivi, tra la vita domestica e le relazioni di vicinato che diventano l'espressione fisica di una organizzazione sociale. Centrale è il ruolo del verde, esteso, differenziato in relazione all'utilizzo: i prati, le colline e gli alberi, quelli più esili a circondare i lotti e ombreggiare le piazze, quelli più robusti, disposti lungo il perimetro esterno, a segnare il recinto e fare barriera di controllo.

L'articolazione dell'intero sistema restituisce altresì la percezione della misura, una misura che si costruisce sulla dimensione umana, che non aliena l'occhio, una misura, infine, che è pre-visione di futuro. Così Mattei rivolto all'architetto Gellner in occasione del progetto per il quartiere ANIC a Gela: «Guardi che fra pochi anni un nucleo familiare non avrà una macchina soltanto ma due, perché nel momento in cui il capofamiglia si recherà al lavoro la moglie, con tutta probabilità, dovrà condurre i ragazzi a scuola o uscire per gli acquisti. Sarà, quindi, opportuno rivedere e dimensionare adeguatamente il progetto in funzione di queste esigenze» (Merlo, 2008, p. 102). Di quell'ambizioso progetto furono realizzati solo tre lotti, gli assi viari, le attrezzature, le aree a verde e la stazione di servizio oggi in gran parte abbandonati.

Fig. 3 - Il quartiere ANIC in relazione al Polo industriale e alle infrastrutture.

Gli edifici residenziali

Gli edifici residenziali con le proprie tipologie, dimensioni, forme e sistemi costruttivi, nonché con le proprie giaciture, introducono nel territorio pisticcese un nuovo modo di abitare un luogo: l'edificio multipiano, l'edificio alto immerso in un articolato spazio aperto, trasforma la prossimità di vicinato in nuove regole dettate dalla relazione tra il condominio e lo spazio collettivo cui si associano attrezzature, strutture per lo svago e luoghi di culto, come si evince dalla Figura 4. Progettisti degli edifici in linea sono Bacigalupo e Ratti, i quali basano la propria progettazione sulla logica dello standard e dell'elemento tipo.

Fig. 4 - Gli edifici residenziali.

La ricerca, ancora in corso, raggruppa gli edifici di Pisticci in tre macrocategorie.

La prima è costituita da un edificio con l'asse longitudinale spezzato in tre segmenti con conseguente arretramento delle tre porzioni di volume. Il montante impiantistico è l'asse di simmetria del prospetto principale. Su di esso si alternano fasce piene e fasce con i vuoti dei vani degli infissi. Il prospetto posteriore è progettato

anch'esso con la logica della simmetria e della ripetitività degli elementi costitutivi l'involucro. Al corpo scala si accede da ambo i lati.

La seconda comprende sei edifici disposti in modo tale da generare una sorta di corte interna su cui affacciano gli ambienti degli alloggi destinati alla quotidianità e alla vita di relazione. L'uso del calcestruzzo armato consente di svuotare il piano terra e dotare gli edifici di passaggi coperti trasversali in adiacenza ai corpi scala. Tali passaggi diventano un sistema di collegamenti longitudinali e trasversali capace di conferire il carattere di permeabilità non solo fisica, ma anche percettiva, tra il "fuori" e il "dentro", al pianto terra. Ampi balconi, agganciati gli uni agli altri mediante profilati metallici, definiscono una sorta di volume sporgente che ritmicamente si alterna alle superfici piane dei corpi scala. Pannelli in eternit schermano alloggi contigui.

La terza categoria include cinque edifici con tre corpi scala ciascuno. Essi presentano una sostanziale semplificazione dei caratteri dei fabbricati della seconda categoria non presentando i porticati al piano terra, né le connessioni tra balconi in profilato metallico.

Elemento qualificante gli edifici della seconda e terza categoria sono i colori. Gli infissi, infatti, con serramento a filo esterno, presentano cassonetti metallici a faccia vista, colorati in arancione e verde. Le ringhiere sono bianche, i profilati metallici sono neri. Il tutto fa da contraltare al colore grigio dei prospetti, caratteristiche documentate nella Figura 5. La struttura portante è costituita da telai in calcestruzzo armato; i solai sono a margherita ossia in latero-cemento gettato in opera, come si vede nella pianta in Figura 6. Le pareti perimetrali sono stratificate con blocchi di laterizio e camera d'aria. I blocchi, realizzati nelle fornaci di Pozzitello, una contrada di Pisticci, sono in argilla locale. La copertura è a doppia falda con solai inclinati e finitura in eternit.

Fig. 5 - Dettaglio di edificio residenziale. Sono evidenti i particolari delle ringhiere, dei montanti, dei pannelli in eternit e degli elementi di colore.

Fig. 6 - Pianta del disegno originario (Archivio Sassone)*, a sinistra, e il progetto realizzato, a destra.*

La presenza di logge e di persiane nel primo edificio, i significativi aggetti dei balconi e delle falde di copertura negli altri corpi di fabbrica, rimandano a quegli elementi propri della cultura mediterranea, come *brise soleil* e corti interne, capaci di relazionare gli edifici con i fattori climatici locali. Anche la presenza di vegetazione con alberi ad alto fusto e di manti erbosi collabora alla mitigazione climatica, garantendo raffrescamento durante la stagione estiva e offrendo, inoltre, ampie zone ombreggiate negli spazi aperti.

Conclusioni

Il quartiere Anic è pressoché sconosciuto alla comunità scientifica. Per chi scrive si qualifica perciò quale interessante laboratorio di studio di un patrimonio di rottura con la tradizione locale, ma emblematico di una storia importante dell'Italia e del Mezzogiorno, esempio di innovazione sociale e tecnica, che sopravvive al tempo e per questo assume alto valore testimoniale. In tal senso il contributo ha inteso restituire i primi risultati di uno studio che mette la conoscenza al centro di un processo di decodifica multiscalare capace di rivelare le relazioni vitali tra oggetto e contesto, tra piccola e grande scala e quindi, nel nostro caso, tra il quartiere e il territorio materano.

Crediti

Mariangela Bellomo: Introduzione. Il sistema di quartieri operai nella storia dell'Italia di Mattei; Metanopoli la città del metano; I quartieri Anic; Gli edifici residenziali; Conclusioni.

Antonella Falotico: Una prima questione. Il metodo; Decodificare la grande scala. I Paesaggi di Pisticci tra struttura, architettura, tecniche; Decodificare la piccola scala. Il modello Anic di Pisticci: il quartiere e le residenze; Il quartiere; Conclusioni.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano Antonio Sassone disponibile come sempre a condividere materiali e indicazioni particolarmente utili.

Bibliografia

Deschermeier D. 2008. *Impero Eni. L'architettura aziendale e l'urbanistica di Enrico Mattei*. Bologna: Damiani.

Floridi L. 2017. *La quarta rivoluzione. Come l'infosfera sta trasformando il mondo*. Milano: Cortina Raffaello.

Gregotti V. 2002. Fondazioni e fondamenti. In: *Architettura, tecnica, finalità*. Bari: Laterza.

Merlo M. (a cura di). 2008. *Edoardo Gellner. Quasi un diario. Appunti autobiografici di un architetto*. Roma: Gangemi editore.

Sitografia

[1] https://www.lombardiabeniculturali.it/architetture900/schede/p4010-00248/

[2] https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/22461

Note

[1] Analogie e similitudini esistono tra gli edifici di Pisticci e quelli di Gela e di Metanopoli.

[2] Il sistema CGT è costituito da elementi verticali e orizzontali in lamiera sagomata che costituiscono l'ossatura portante cui si agganciano pannelli sandwich; il sistema Gaburri è costituito da travi e pilastri prefabbricati in calcestruzzo armato collegati in opera mediante un giunto in calcestruzzo armato, su sui si montano solai, pareti perimetrali e copertura, tutti elementi prefabbricati.

Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori

Migrazione di saperi dall'Italia all'Argentina. Gli ingegneri Luigi Luiggi (1856-1931) e Cesare Cipolletti (1843-1908)

Migration of knowledge from Italy to Argentina. The engineers Luigi Luiggi (1856-1931) and Cesare Cipolletti (1843-1908)

Sommario

La Storia della migrazione degli italiani verso l'Argentina negli scorsi due secoli è stata spesso raccontata attraverso le vicende umane di coloro che, essendo in condizioni disagiate, lasciarono l'Italia alla ricerca di migliori condizioni economiche. Fin dal XVIII secolo, però, tale migrazione riguardò anche intellettuali e professionisti, fra cui un numero considerevole d'ingegneri e architetti, chiamati per le loro capacità tecniche, i quali contribuirono a definire l'assetto infrastrutturale e urbanistico dell'ancora vergine territorio argentino e di diverse città di questo vasto Paese, occupandosi della progettazione e realizzazione d'importanti opere idriche, stradali, architettoniche. L'articolo intende delineare il profilo di due professionisti, Luigi Luiggi e Cesare Cipolletti, significativi esempi del legame fra Italia e Argentina nello specifico ambito della cultura tecnico-scientifica e dello sviluppo dell'ingegneria e dell'architettura applicata alle trasformazioni dei sistemi insediativi e infrastrutturali e, più in generale, della diffusione del sapere scientifico tra la fine dell'Ottocento e i primi decenni del Novecento in Europa, in Italia e nelle rispettive diverse aree di influenza economico, politica e culturale.

Abstract

The history of the migration of Italians to Argentina over the past two centuries has often been told through the human events of those who, facing disadvantaged conditions, left Italy in search of better economic opportunities. However, since the 18th century, this migration also involved intellectuals and professionals, including a considerable number of engineers and architects, sought for their technical skills. They played a significant role in shaping the infrastructural and urban landscape of the unexplored Argentina territory and various cities in this vast country, being involved in the design and construction of important water, road and architectural works. This paper intends to outline the profile of two professionals, Luigi Luiggi and Cesare Cipolletti, as significant examples of the connections between Italy and

Argentina in the specific field of technical-scientific culture and the development of engineering and architecture applied to the transformations of settlement and infrastructural systems. Furthermore, the paper aims to explore the dissemination of scientific knowledge between the late 19th century and the early decades of the 20th century in Europe, Italy, and their respective diverse areas of economic, political, and cultural influence.

Introduzione

Le carriere professionali degli ingegneri Luiggi e Cipolletti testimoniano l'affermarsi in Italia di una cultura tecnico-scientifica applicata alle diverse e crescenti esigenze di modernizzazione del territorio nazionale e la capacità di professionisti preparati a cogliere le opportunità offerte dalla politica e dal mercato nell'applicare e sperimentare le loro conoscenze al di là dei confini nazionali.

A partire dal secondo Ottocento un numero importante di tecnici, maestranze e imprenditori italiani del mondo della pianificazione e progettazione a scala edilizia, urbana e territoriale contribuì a definire l'assetto del territorio e di diverse città dell'Argentina nelle fasi iniziali della loro infrastrutturazione e modernizzazione.

In particolare, l'attività svolta dagli ingegneri nella realizzazione della rete di infrastrutture come acquedotti, porti, strade, ferrovie, ospedali, ecc., fu fondamentale sia per lo sviluppo dell'Argentina, sia per la fortuna e la crescita professionale di tecnici e imprese italiani, in un periodo di forte trasformazione e sviluppo di nuove conoscenze scientifiche e tecnologiche.

Fra le figure professionali protagoniste di questi scambi di saperi fra Italia e Argentina, spiccano due ingegneri: il primo, il ligure Luigi Luiggi (1856-1931), ingegnere idraulico specializzato nella progettazione di porti, che, per volere del Re Umberto I d'Italia, nel 1896 ottenne dal governo argentino l'incarico di progettare e realizzare il porto militare oggi noto come Puerto Belgrano, a sud della provincia di Buenos Aires e fu nominato consulente per il porto di Buenos Aires. Il secondo, più anziano, l'ingegnere romano Cesare Cipolletti (1843-1908), anch'egli specialista di opere idrauliche, dal 1888 realizzò dighe e canali d'irrigazione fondamentali per l'ammodernamento e lo sviluppo delle provincie a sud di Buenos Aires e della Patagonia argentina.

Luigi Luiggi

Nato a Genova il 3 agosto 1856, Luigi Luiggi nel 1878 divenne ingegnere nel Regio Collegio di Ingegneria Civile di Torino e dal 1880 fu inquadrato nell'ambito del Corpo Reale del Genio Civile italiano.

Già dalla sua formazione egli si specializzò nel settore idraulico e in particolare nella costruzione di porti. Sin dei primi anni Ottanta fu chiamato a lavorare alla progettazione e direzione della costruzione del porto di Genova, che portò avanti fino

1893, con la realizzazione dei grandi moli, dei bacini di carenaggio e delle gru. In qualità di ingegnere capo, fu responsabile dei porti toscani, in particolare quello di Livorno, dal 1884 al 1896 anno in cui ottenne il prestigioso incarico per la progettazione di un porto militare sulla costa argentina. A legittimare ulteriormente quest'ultimo e importante mandato quale attestato della sua preparazione nel settore, sono le numerose relazioni dai lui redatte nel corso delle missioni svolte negli anni Ottanta come ingegnere inviato del Genio Civile in particolare, ma non solo, in Inghilterra dove, peraltro, incontrerà la sua futura moglie, Annie East. Più esattamente, dopo la nomina del 16 gennaio del 1880 a ingegnere allievo nel Corpo Reale del Genio Civile egli fu destinato a studi di perfezionamento all'estero e la sua prima missione avvenne nell'isola di Cipro; qui ebbe l'opportunità di formarsi con l'ingegnere del Genio Civile Davide Bocci, incaricato dal Governo britannico di «dare il suo parere su certe bonifiche da farsi nei dintorni di Famagosta» (Luiggi, 1880, p. 1). Già dal 1881 e per tutto il decennio successivo, la sua presenza è attestata nei porti e nei docks inglesi e scozzesi di Sunderland e Londra, poi Glasgow, Southampton, Liverpool e Birkenhead sulla Mersey, fino a Hull, Grimsby e di Goole sul fiume Humber.

I suoi scritti, in larga parte editi nel giornale del Genio Civile, sottolineano l'attenzione specifica agli aspetti tecnici senza tralasciare però quelli commerciali ed evidenziano le strette relazioni tessute con i diversi agenti e tecnici locali per la possibilità di prendere visione dei luoghi, in termini di officine e cantieri interessati ai lavori e degli studi tecnici in corso (Luiggi, 1881a; 1881b; 1882; 1883a; 1883b; 1883c; 1886a; 1886b; 1889; 1890). Scritti che attestano anche la sua veloce carriera in seno al Corpo e il riconoscimento della sua preparazione, valgano ad esempio quelli elaborati insieme all'ispettore del Genio Civile Gaetano Bompiani per il porto di Genova, fino al suo scritto presentato nel 1907 al 1° Congresso della Società Italiana per il progresso delle scienze, tenutosi a Parma (Bompiani e Luiggi, 1891; Luiggi, 1907). Frutto dell'esperienza maturata nelle costruzioni idrauliche, quest'ultimo riporta in copertina i titoli acquisiti da Luiggi, ora ispettore superiore del Genio Civile, professore di Costruzioni idrauliche alla Regia Università di Roma e Presidente della Società Ingegneri e Architetti Italiani, mentre all'interno ha come unica immagine il bacino di carenaggio di Bahia Blanca in Argentina, in Figura 1.

L'incarico del governo argentino nel 1896 per la realizzazione del porto militare sull'Atlantico oggi noto come Puerto Belgrano[1], a circa 30 km a sud-est di Bahia Blanca nella provincia di Buenos Aires, costituì quindi per Luiggi un riconoscimento internazionale, dovuto anche alla sua affermazione in seno alle istituzioni politiche italiane. La pianta del porto è mostrata in Figura 2, insieme a una caricatura dell'ingegnere, a conferma della notorietà raggiunta in Argentina. I lavori iniziarono nel 1898 con un primo tracciato ferroviario che unì la città di Bahia Blanca al futuro Porto, con la conseguente nascita della città di Punta Ala, cresciuta su un piccolo nucleo preesistente a ridosso dei binari e della stazione (Chalier, 2010). «Furono, poi,

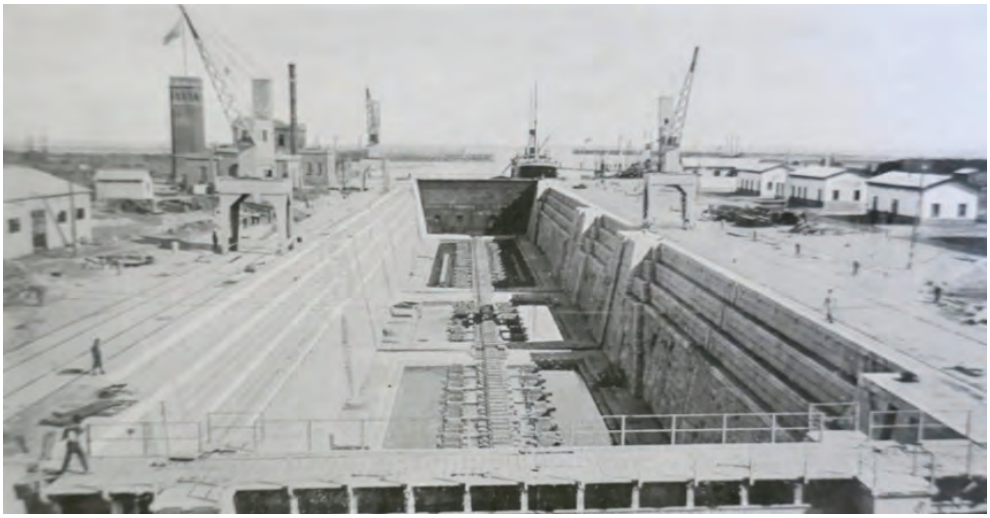


Fig. 1 - Il bacino di carenaggio di Bahia Blanca in Argentina (Luiggi, 1907).

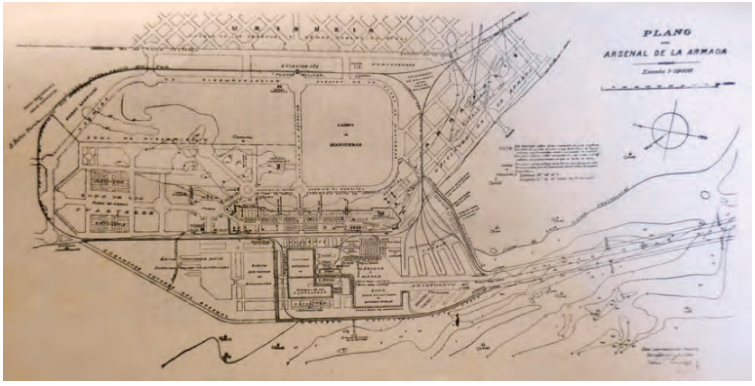


Fig. 2 - Una caricatura di Luiggi (s.a., 1898), *a sinistra, e la pianta del porto di Belgrano* (Luiggi, 1902), *a destra.*

costruite vie di collegamento tra le previste opere da realizzare in zona, eretti edifici per il personale operaio, ma soprattutto fu risolto il grosso problema dell'approvvigionamento idrico. Per vincere la siccità e per piegare i fastidiosissimi venti, l'abile ingegnere italiano fece addirittura piantare migliaia di eucaliptus, di canarine e di tamarischi, che con le loro ombre resero meno dura la sopravvivenza in una zona ancora deserta» [1]. Disegni di progetto, studi preliminari, foto e scritti di quest'opera sono conservati nell'archivio dell'ingegnere, non ancora riordinato, custodito nella Biblioteca Filippo Arredi del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

della Sapienza Università di Roma, sede dove, alla Scuola degli Ingegneri, Luiggi insegnò Costruzioni marittime e poi Costruzioni idrauliche[2] dal 1906 al 1921.

Una sintesi delle diverse fasi del cantiere di Puerto Belgrano è riportata nella memoria dedicata al grande bacino di carenaggio, parte fondamentale del porto militare, presentata da Luiggi al IX Congresso di Navigazione a Düsseldorf del 1902 (Luiggi, 1902), anno di inaugurazione del porto da parte del Presidente argentino Julio Argentino Roca, che arrivò a bordo della corazzata Garibaldi, costruita dai cantieri Ansaldo. Dallo scritto emergono l'internazionalità dei tecnici e delle imprese selezionate e il pragmatismo nell'esecuzione dell'opera, sita in un'area pressoché desertica. Ad esempio, le condizioni indussero Luiggi a optare per l'uso del cemento Portland, con rivestimento in granito di spessore da 30 a 50 cm in funzione di possibili urti e temperature variabili, in ragione della scarsa capacità della manodopera di eseguire la *mamposteria ordinaria* (Luiggi, 1902, p. 13). L'impresa costruttrice fu l'olandese Dirk, Dates y Van Hattem di Buenos Aires, rappresentata dall'ingegnere Hartog. Dagli studi preliminari, al progetto e fino all'esecuzione Luiggi fu affiancato dal Capitano di Marina Felix Dufourq, che aveva già condotto studi di fattibilità per la scelta del luogo, e da altri professionisti, tra i quali ingegneri e tecnici italiani, come Celestino Villa, Pietro Tartarolo, Pietro Belcredi, Antonio Bargoni, Giovanni Trovati e Oreste Vulpiani, quest'ultimo allievo di Cipolletti.

Dai primi studi alla realizzazione del primo pilone in calcestruzzo trascorsero due anni. Nel giugno 1899 fu avviata l'escavazione del bacino e il 2 gennaio 1902 l'incrociatore San Martin, anch'esso Ansaldo poté entrare in porto.

Durante i cinque anni di costruzione della base navale, Luiggi fu nominato consulente per il porto di Buenos Aires. Nel 1912, «il Governo di Buenos Aires ricorse allo stesso piano regolatore studiato da Luiggi, grazie al quale furono rafforzate le fortificazioni, costruite altre officine meccaniche, magazzini e polveriere e realizzato soprattutto un secondo e più capiente bacino di carenaggio» in grado di ospitare corazzate di 176 metri di lunghezza, 29 di larghezza e pescaggio di 8 metri e mezzo, come la Rivadaia e la Moreno acquistate nel 1911 dal governo americano [1].

Nel corso del Novecento l'attività di Luiggi come ingegnere portuale proseguì con numerosi incarichi in Italia e all'estero, Stati Uniti, Egitto, Libia, Albania, con la partecipazione a diversi congressi scientifici internazionali; impegni che non interruppe neppure quando fu nominato deputato e poi senatore. La sua carriera si estese, però, anche ad altri settori, di cui i suoi scritti e il suo archivio sono testimonianza, e fu costellata da numerosi riconoscimenti, tra i quali, valga a esempio, la medaglia d'argento per il terremoto della Marsica del 1915.

Cesare Cipolletti: «un uomo che sembrava essere segnato dall'acqua»

La morte di Cesare Cipolletti, avvenuta sull'Oceano Atlantico il 23 gennaio 1908, mentre navigava verso l'Argentina per andare a realizzare le opere idrauliche studia-

te anni prima, fu l'emblematica chiusura di una vita in cui l'acqua fu protagonista: anche la sua nascita fu registrata l'11 novembre 1843 nello Stato delle Anime della Parrocchia di San Bartolomeo all'Isola a Roma e gran parte della sua opera professionale fu dedicata alla realizzazione di opere idrauliche, fra il vecchio e il nuovo Continente. Dopo la laurea con lode in Ingegneria conseguita nel 1864, a soli 21 anni, presso la Pontificia Scuola degli Ingegneri di Roma e un primo impiego nelle miniere dei monti della Tolfa, nei pressi della Capitale, Cipolletti iniziò a dedicarsi all'ingegneria idraulica: la Società Italiana per le Condotte d'Acqua, fondata a Roma nel 1880 per fornire la Capitale e altre città italiane di acqua ad uso civico, agricolo e industriale, lo assunse come direttore tecnico, ruolo con cui, fra il 1881 e il 1888, dette un notevole contributo alla soluzione di problemi d'irrigazione, bonifica e realizzazione di acquedotti civili e industriali in varie aree e città italiane.

Fondamentale per la sua affermazione e maturazione tecnica fu, in particolare, la brillante direzione dei lavori per la realizzazione del canale Villoresi che origina dal fiume Ticino dalla diga del Panperduto, in Figura 3, e sfocia nel fiume Adda e che, con i suoi 86 km di lunghezza è il secondo corso d'acqua artificiale più lungo d'Italia. L'opera fu fondamentale per lo sviluppo agricolo e industriale dell'area, oggi compresa nella conurbazione milanese, giacché consentì di fornire forza motrice alle fabbriche del territorio e d'irrigare 65.000 ettari di terreno, all'epoca aridi e con un'agricoltura molto povera, assicurando a Cipolletti una notevole fama. In realtà, il tenace progettista e promotore del progetto era stato l'ingegnere monzese Eugenio Villoresi (1810-1879), cui solo nel 1868 era stata rilasciata la concessione governativa per la realizzazione dell'opera, poi ceduta dagli eredi alla Società Italiana per le Condotte d'Acqua che, sotto la direzione di Cipolletti, avviò e completò i lavori fra il 1884 e il 1891.

Fig 3 - Somma Lombardo: la diga del Panperduto da cui origina il canale Villoresi.

Per Cipolletti l'ingente opera idraulica lombarda fu un proficuo campo di sperimentazione, in cui mise a punto e applicò nuove tecniche costruttive e gestionali, in particolare, il dispositivo per la misura e la dispensa delle acque agli utenti che da lui prende il nome: lo "stramazzo Cipolletti" o *Cipolletti weir*, che l'ingegnere presentò nella memoria pubblicata nel 1886 (Società Italiana per le condotte d'acqua, 1886) e che avrà un'enorme diffusione in America (Di Fidio e Gandolfi, 2014, p. 406). Grazie all'esperienza nell'alta pianura milanese l'ingegnere romano elaborò anche uno studio all'avanguardia sulla produzione e lo sfruttamento dell'energia idroelettrica per l'alimentazione a costi sostenibili della rete elettrica pubblica e privata di Milano, che pubblicò nel 1887 (Cipolletti, 1887), progetto che, solo qualche anno prima, l'ingegnere, imprenditore e politico milanese Giuseppe Colombo (1836-1921) aveva ritenuto economicamente e tecnicamente irrealizzabile. Per consentire studi più approfonditi e risolvere il "problema critico", dunque, nel 1886 egli aveva proposto come tema per il Concorso Kramer, indetto dall'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere per premiare l'ingegnere italiano che proponeva la migliore soluzione a un problema tecnico-scientifico, un "Progetto per fornire Milano di una forza motrice proporzionale al suo sviluppo industriale". La commissione esaminatrice, di cui Colombo fu relatore, assegnò il premio proprio allo studio di Cipolletti, che dimostrava come fosse particolarmente conveniente lo sfruttamento dell'energia derivabile a Paderno D'Adda e a Vizzola Ticino, due impianti poi realizzati anche sulla base dei progetti di Cipolletti fra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento e ancora oggi funzionanti.

Fu anche la notorietà internazionale acquisita grazie alla costruzione del canale Villoresi che spinse don Elias Villanueva, il governatore della provincia di Mendoza, a invitare l'ingegnere romano in Argentina. Alla fine dell'Ottocento quest'area, sita a ovest di Buenos Aires, era fra le più ricche e in forte sviluppo del Paese: il Governatore, volendo realizzare delle opere per contenere la portata e regolare il corso del Rio Mendoza e del Rio Tunuyán, favorendo così lo sviluppo agricolo della regione, diede incarico all'ambasciatore argentino a Parigi di cercare in Europa il miglior ingegnere idraulico. La scelta ricadde su Cesare Cipolletti che, giunto in Argentina nel 1888, progettò e realizzò in pochi anni lavori grandiosi a Mendoza e in altre provincie argentine: la Dique Cipolletti sul fiume Mendoza, in Figura 4, e quella sul fiume Tunuyán, oltre che, in seguito, le dighe sui fiumi San Juan e Salì rispettivamente nelle provincie di San Juan e Tucumán.

Grazie alla competenza dimostrata nella realizzazione di queste opere idrauliche, strategiche per lo sviluppo del Paese, nel 1898, il Generale Alejo Julio Roca Paz, presidente dell'Argentina per due mandati, dal 1880 al 1904, affidò all'ingegnere romano anche l'incarico di studiare il problema idrico della Patagonia argentina, una regione vastissima che si estende dal dipartimento più meridionale della provincia di Buenos Aires alla parte orientale della Terra del Fuoco, comprendendo le

Fig. 4 - Vista della Dique Cipolletti negli anni Cinquanta.

province di Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz. L'obiettivo dell'incarico era irrigare la fascia settentrionale della Patagonia, prelevando le acque dei fiumi Limay, Neuquén, Negro e Colorado, e regolare i laghi della Cordigliera delle Ande che li alimentano, per diminuire il livello delle piene e aumentare quello delle magre. Dal febbraio al maggio del 1899, dunque, Cipolletti percorse e ispezionò a cavallo con i suoi collaboratori un'area di circa 200.000 km quadrati, dalla Cordigliera delle Ande all'Oceano Atlantico (Sergi, 1940, pp. 424-428). Un pioneristico studio sul campo che, tornato nella Capitale argentina nel settembre del 1899, Cipolletti sintetizzò in una relazione presentata al Ministero dei Lavori Pubblici (Cipolletti, 1899), in cui espose non solo calcoli, dati tecnici e preventivi di costo, ma anche considerazioni sulla natura dei luoghi e sulle condizioni di vita della popolazione. La memoria, pur ammirevole non solo per la ricchezza dei dati, quali le pendenze dei fiumi e dei terreni, le portate disponibili, le superfici da irrigare e la capacità d'accumulo dei laghi, ma anche per l'originalità delle proposte, non dette però avvio ai lavori previsti, a causa di una disputa confinaria con il Cile, da cui la Patagonia argentina è separata ad ovest dal confine che scorre sul crinale della Cordigliera delle Ande.

Fig. 5 - La "Dique Ballester" sul fiume Neuquén, intitolata all'ingegnere Rodolfo Ballester, che completò l'opera.

Nel 1901, dunque, Cipolletti tornò in Italia, invitato dai comuni di Roma e di Milano a far parte delle commissioni per la sistemazione del Tevere e per la realizzazione della fognatura del capoluogo lombardo. Anche per la sua città natale, egli elaborò uno studio per rendere navigabile il Tevere, dalla foce ad Orte e alla Valle di Terni, e bonificare la sua vallata (Cipolletti, 1903), progetto in cui coordinò brillantemente le categorie di opere necessarie per consentire lo sbocco a mare del fiume: la navigabilità del percorso garantendo la profondità minima, il rimorchio dei natanti e la realizzazione di porti e approdi lungo il percorso e la regolamentazione del regime idrico per prevenire le piene e utilizzare le acque per l'irrigazione e la produzione di forza motrice (Ghia, 2018).

Nel frattempo, le dispute con il Cile e la crisi economica che aveva investito l'Argentina erano terminate e si voleva dar seguito allo studio di Cipolletti per l'irrigazione della valle del Rio Negro e Colorado, cui nell'Esposizione Universale di Milano del 1906 era stato assegnato il primo premio. Il 18 gennaio 1908 l'ingegnere romano, dunque, s'imbarcò a Genova sul transatlantico Tommaso di Savoia con la moglie Ida Grossi, i quattro figli e un gruppo di sei ingegneri, ma non raggiunse mai l'Argentina: un malore lo colse quattro giorni dopo, mentre la nave era ancora a largo delle Canarie.

La sua vita e la sua opera sono efficacemente sintetizzate in quanto scritto da un cronista argentino in occasione del trasferimento dei suoi resti dal cimitero de la Recoleta di Buenos Aires al monumento eretto a Mendoza per celebrare il centenario della sua nascita: «Questo fervente italiano dovette affrontare grandi difficoltà per portare a termine la sua opera: la natura, la tecnica insufficiente, la mancanza di collaboratori qualificati; l'incertezza della politica, la scarsità dei bilanci, l'inerzia; i pregiudizi e le critiche [...]. È il simbolo vivente dello zelo di un uomo che sembrava essere segnato dall'acqua: è nato su un'isola, ha dedicato la sua vita a regolare il potere dell'acqua ed è morto in alto mare» (Girosi, 1991).

Dopo la sua morte i suoi collaboratori realizzarono solo una parte delle opere da lui progettate, in particolare i canali d'irrigazione della zona Colonia Regina e la diga sul fiume Neuquén, la Dique Ballester, in Figura 5, presso la confluenza con il fiume Limay, il cui progetto fu sviluppato e avviato da Decio Severini già nel 1908. Essa consentì di derivare le acque del Neuquén, nei periodi di rovinosa piena, verso il bacino lacustre denominato Cuenca del Vidal, dove si forma il lago Pellegrini. Una conca artificiale che contiene, in media, cinque miliardi di metri cubi di acqua e che, per evaporazione e infiltrazione, umidifica l'arida zona circostante, rendendola fertile. Le opere realizzate sulla base degli studi di Cipolletti, dunque, hanno profondamente trasformato la regione, prima afflitta dalla siccità che costringeva uomini e animali a un'esistenza misera e oggi caratterizzata da moderni poderi che producono grandi quantità di frutta e ortaggi (Ometto, 2017).

Conclusioni

Luigi Luiggi e Cesare Cipolletti furono tra gli ingegneri italiani che, fra il XIX e il XX secolo, contribuirono con la loro opera a trasformare un territorio ricco di risorse, ma ancora ostile e impervio. Due figure professionali protagoniste di una differente storia dell'emigrazione italiana in Argentina: non quella raccontata attraverso le vicende umane di coloro che, affrontando condizioni disagiate, lasciarono l'Italia alla ricerca di migliori opportunità economiche, ma quella scritta dai numerosi intellettuali e professionisti che con le loro competenze e la loro opera contribuirono a costruire e plasmare la cultura, l'economia e il territorio della Repubblica del Plata.

L'Argentina li ricorda tutt'oggi con la titolazione di vie e piazze cittadine, di monumenti e di città: Ingeniero Luiggi nel dipartimento di Realicó nella provincia di La Pampa, fondata da Antonio Devoto, imprenditore e banchiere italiano naturalizzato argentino e Cipolletti, fondata nel 1881 col nome di Confluencia, che fu dedicata all'ingegnere romano proprio perché al centro della zona fra i fiumi Limay e Neuquén che aveva contribuito a rendere fertile.

Crediti

Simonetta Ciranna: Introduzione, Luigi Luiggi, Conclusioni.
Patrizia Montuori: Introduzione; Cesare Cipolletti, Conclusioni.

Bibliografia

Bompiani G., Luiggi L. 1891. Relazione sui lavori del congresso dei delegati del Ministero dei Lavori Pubblici G. Bompiani e L. Luiggi. In: *Atti del Quarto congresso internazionale di navigazione interna tenuto a Manchester nel 1890*. Roma: Tipografia del Genio Civile.

Chalier G. 2010. *La Punta de la historia (Punta Alta y su historia*). Cuaderno n. 1. Bahia Blanca: Ed. de la Universidad Nacional del Sur.

Cipolletti C. 1887. *Delle forze idrauliche che possono crearsi nell'alto milanese e condursi nella città di Milano.* Roma: Tipografia del Genio Civile.

Cipolletti C. 1899. *Estúdios de irrigación. Rios Negro y Colorado. Informe de lo Ingegnero César Cipolletti*. Buenos Aires: Est. Tipografico de la «Revista Técnica».
Cipolletti C. 1903. *La navigazione del Tevere dal mare ad Orte e la bonifica idraulica e agricola della sua vallata*. Roma: Stabilimento tipografico del Genio Civile.
Di Fidio M., Gandolfi C. 2014. *Idraulici italiani*. Milano, Fondazione Biblioteca Europea di Informazione e Cultura, 405-409.
Ghia M.C. 2018. *Da Roma verso il mare. Storie percorsi immagini della città moderna e contemporanea*. Roma: Gangemi editore.
Girosi P. 1991. *Cesare Cipolletti: sus obras, sus proyectos, sus colaboradores. Vol. 10 Grandes ítalo-argentinos*. Tucumán: Asociación Dante Alighieri.
Luiggi L. 1880. *L'Isola di Cipro*. Roma: Tipografia del Genio Civile.
Luiggi L. 1881a. Officina di prova di catene e di ancore a Sunderland.
Luiggi L. 1881b. Sui lavori di miglioramento del tronco inferiore del fiume Clyde.
Luiggi L. 1882. *Il Porto e i Docks di Londra*. Roma: Tipografia e litografia del Genio Civile.
Luiggi L. 1883a. *Cucchiaie automatiche per l'escavazione nei cilindri di fondazione dei muri di calata nel porto di Glasgow. s.l.: s.n.*
Luiggi L. 1883b. *Muri di calata del porto di Glasgow. s.l.: s.n.*
Luiggi L. 1883c. *Il porto e i docks di Southampton.* Roma: Tipografia e litografia del Genio Civile.
Luiggi L. 1886a. *Il Tilbury Dock a Londra.* Roma: Tipografia del Genio Civile.
Luiggi L. 1886b. *Sull'ordinamento del Porto di Anversa*. Roma: Tipografia del Genio Civile.
Luiggi L. 1889. *I porti di Liverpool e di Birkenhead sulla Mersey*. Roma: Forzani e C. Tipografia del senato.
Luiggi L. 1890. *I porti di Hull, di Grimsby e di Goole sul fiume Humber*. Roma: Tipografia del Genio Civile.
Luiggi L. 1902. *El dique de carena del Puerto Militar de Bahia Blanca*. Buenos Aires: Revista Tecnica.
Luiggi L. 1907. Le costruzioni marittime al principio del XX secolo. Annali della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani, f. 6.
Ometto S. 2017. Padre Stefenelli e l'irrigazione dell'alta valle del Rio Negro a partire dalle fonti dell'archivio centrale salesiano di Roma. In: *Il progetto del territorio nelle fonti d'archivio* (a cura di S. Corallo), 229-245. Roma: Labgeo Caraci.
s.a. 1898. El puerto militar de la República. Caracas y Caretas, 1(8), 26 Noviembre.
Sergi, J.F. 1940. *Historia de los Italianos en Argentina; los Italianos y sus Descendientes a través del Descubrimiento de America y de la Historia Argentina*. Buenos Aires: Editora Italo-Argentina.
Società Italiana per le Condotte d'acqua. 1886. *Canale Villoresi, modulo per la dispensa delle acque, stramazzo libero di forma trapezia a coefficiente di contrazione costante. Esperimenti e formolo per grandi stramazzi a soglia inclinata od orizzontale per l'ingegnere Cesare Cipolletti*. Milano: Hoepli.

Sitografia

[1] https://www.italiaestera.net/modules.php?name=News&file=article&sid=8472
[2] https://notes9.senato.it/web/senregno.nsf/e516ad2d6c7b0644c125785d0059a8f1/e159ba c5140c0c134125646f005cdcdd?OpenDocument

Note

[1] L'intitolazione ufficiale alla memoria del Generale Belgrano fu decretata il 2 giugno 1923.

[2] Cfr. quanto riportato nello Stato di servizio del Ministero dell'Istruzione Pubblica nella scheda di Senatore del Regno di Luigi Luiggi in [2]. Dal 1907 al 1913 e poi dal 1921 al 1923 Luiggi fu membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione.

Massimo Corradi, Claudia Tacchella

Anton Flettner e l'effetto Magnus

Anton Flettner and the Magnus effect

Sommario
L'effetto Magnus, scoperto da H.G. Magnus nel 1852, è un fenomeno fisico responsabile della variazione della traiettoria di un corpo rotante in un fluido in movimento per effetto della portanza, la forza generata sul cilindro, creando una differenza nella pressione dell'aria da un lato all'altro del cilindro stesso; tale scoperta fu investigata da M. Kutta e N.Y. Zhukovsky e successivamente sperimentata da Anton Flettner che studiò un rotore inserito su di una nave, che poi prese il nome di nave Flettner, appositamente progettata per utilizzare l'effetto Magnus per la sua propulsione.

Abstract
The Magnus effect, discovered by H.G. Magnus in 1852, is a physical phenomenon responsible for the variation of the trajectory of a rotating body in a moving fluid due to lift, the force generated on the cylinder, creating a difference in side-to-side air pressure. This physical phenomenon was investigated by M. Kutta and N.Y. Zhukovsky. The first scholar who dealt with putting the Magnus effect into practice was the German inventor and aeronautical engineer Anton Flettner, who studied a rotor inserted on a ship, which later took the name of Flettner ship specially designed to use the Magnus effect for its propulsion.

Introduzione
Oggigiorno, l'industria marittima rappresenta il principale mezzo di trasporto per le merci a livello globale. Le imbarcazioni utilizzate per questo scopo si sono nel tempo evolute e specializzate, rivoluzionandosi e sviluppando enormi miglioramenti in termini di efficienza. La sempre crescente sensibilità verso l'ambiente ha fatto sì che la futura evoluzione della marina mercantile globale punti a raggiungere un trasporto via mare sempre più ecologico. Per questo, si stanno sperimentando nuove soluzioni che riducano le emissioni durante il trasporto. Tra le tecnologie "green" attualmente in sviluppo e diffusione, vi è quella delle *rotor sails*. L'inserimento di questi rotori

su grandi imbarcazioni, sfruttando il cosiddetto "effetto Magnus", permette di accelerare la velocità dell'unità senza consumare ulteriore carburate. Questo si traduce in una riduzione di emissioni a parità di velocità. L'interesse per questa tecnologia si può denotare dal recente afflusso di denaro ed energia immesso da grandi enti di tutto il mondo per lo sviluppo e l'impianto di rotori a bordo. Nell'anno corrente, la Norsepower, compagnia finlandese fondata nel 2012 e da anni leader in questo settore, ha siglato un accordo con la Mitsui O.S.K. Lines di Tokyo e la Vale International SA di Rio de Janeiro per l'inserimento di due rotori su una 200,000-*tons class bulk carrier.* Successivamente, la Norsepower ha ricevuto un finanziamento di 28 milioni di euro per lo sviluppo di questo sistema. I finanziatori provengono da tutto il mondo, e comprendono importanti colossi energetici impegnati nella transazione ecologica come la Oil and Gas Climate Initiative, iniziativa composta da 12 delle principali società energetiche mondiali che producono circa un terzo del petrolio e del gas globali. La compagnia inglese Anemoi Marine Technologies, che dal 2008 si è interessata allo sviluppo dei rotori, ha ottenuto nel 2022 una commessa dalla COSCO Shipping Heavy Industry, uno dei colossi cantieristici cinesi. Non solo vi sono state molte commesse per l'impianto di vele a rotore, ma dal 2022 l'interesse crescente ha portato anche diverse compagnie a lanciarsi in questo settore industriale, provando a realizzare delle proprie vele a rotore. Nel 2022 la Hyundai Heavy Industries Co. è stata il primo cantiere navale coreano a progettare un suo sistema di propulsione che sfrutta la tecnologia dei rotori chiamato *Hi-Rotor.* Nello stesso anno, la compagnia cinese Zhongfu Lianzhong, impresa high-tech di prodotti compositi, ha prodotto la sua prima *rotor sail* per uso marittimo. Tutto ciò dimostra l'interesse globale per questa tecnologia innovativa. Tuttavia, per quanto le vele a rotore si presentino come una soluzione interessante ai problemi moderni, queste non sono affatto un'invenzione del nostro secolo. Al contrario, la storia di questo sistema propulsivo ausiliario ha origine all'inizio del secolo passato, quando l'ingegnere Anton Fletter si dedicò allo studio dell'effetto Magnus.

L'effetto Magnus e il rotore Flettner

L'effetto Magnus, scoperto da Heinrich Gustav Magnus (1802-1870) nel 1852, è un fenomeno fisico responsabile della variazione della traiettoria di un corpo rotante in un fluido in movimento per effetto della portanza, la forza generata sul cilindro, che crea una differenza nella pressione dell'aria da un lato all'altro, scoperta e investigata da Martin Kutta (1867-1944) e Nikolay Yegorovich Zhukovsky (1847-1921). Il fenomeno fisico può essere descritto immaginando un corpo in rotazione, un cilindro nel caso dell'applicazione in campo navale, immerso in un fluido. Ruotando, il cilindro trascina con sé lo strato di fluido direttamente a contatto con la sua superficie, e questo strato di fluido, a sua volta, coinvolge nel movimento lo strato attiguo: attorno al corpo rotante si formano così strati di fluido rotanti con la stessa direzione del

corpo su circonferenze concentriche. Si prenda ora in considerazione il caso in cui il corpo non sia rotante, ma con un moto di traslazione puramente rettilineo, ovvero uno spostamento secondo una retta; in questo caso, prendendo come punto di riferimento fisso il corpo, il fluido in cui esso è immerso andrebbe a rappresentare una corrente con direzione opposta in cui le linee di corrente saranno ugualmente spaziate tra loro intorno al corpo. Infine, si immagini di sommare le due condizioni di moto, rotatorio e rettilineo, dello stesso corpo immerso nel fluido. In questa condizione si otterranno delle linee di corrente che si separano a contatto con il corpo ottenendo una biforcazione a Y; per visualizzare l'effetto, si pensi a un fluido in movimento da sinistra verso destra e un corpo rotante in senso orario: rappresentando la sezione del cilindro su un piano si vedrebbe che, a contatto con il cilindro, una parte del fluido andrebbe verso l'alto e l'altra verso il basso. Ciò significherebbe che le linee di corrente superiori avrebbero lo stesso verso della rotazione del cilindro, mentre le linee inferiori si troverebbero a muoversi in direzione opposta. Considerando l'effetto per cui il corpo rotante trascina con sé lo strato attiguo di fluido, il risultato sarebbe un'accelerazione del fluido con verso favorevole al cilindro e una decelerazione dello strato inferiore in cui il verso è opposto. A questo punto, si presenta una differenza di velocità che, considerando l'equazione di Bernoulli, comporta una modifica nella pressione del fluido sul corpo e nello specifico l'incremento della velocità comporta una diminuzione della pressione. Ecco quindi che per contro, la parte inferiore del fluido, rallentata dalla rotazione del cilindro, va a esercitare una pressione maggiore, spingendo così il corpo verso l'alto. Questa spinta è nota come forza Magnus dal nome del suo scopritore. In sintesi, per fare un esempio, si può osservare che se un cilindro verticale ruota in senso orario e se l'azione del fluido, ad esempio il vento, agisce da ovest verso est, allora, la forza Magnus spinge il cilindro verso nord, come mostrato in Figura 1.

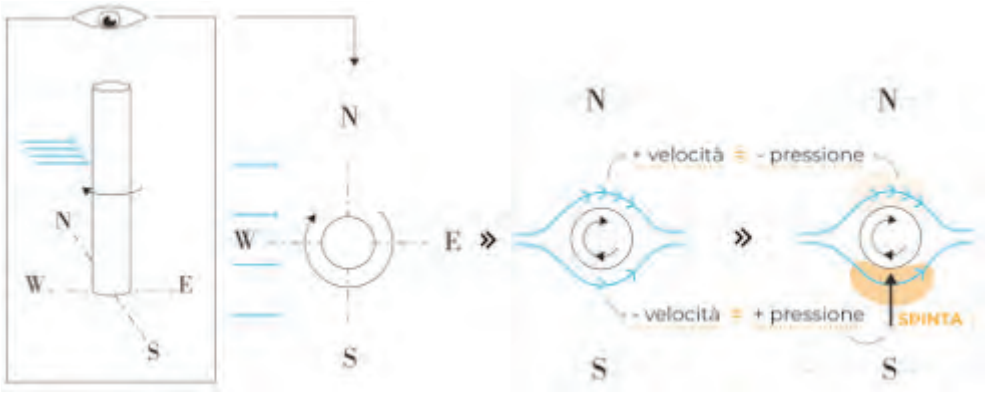


Fig. 1 - Effetto Magnus illustrato (schema realizzato dagli Autori).

Questo principio fu originariamente elaborato per studiare il moto di un proietto di artiglieria nell'aria, ma fu poi sviluppato per valutare la forza del vento sulle ali degli aeroplani che tendono a sollevarsi ad angolo retto rispetto alla direzione. Inoltre, trovò un'applicazione anche nel contesto navale.

Nel caso di una imbarcazione, questa forza laterale è contrastata dallo scafo e una componente di questa forza può essere utilizzata per spingere la nave in avanti, a condizione che la direzione della nave sia generalmente all'interno della zona di bassa pressione. Un rotore Magnus utilizzato per spingere una nave è chiamato "vela del rotore" ed è montato con il suo asse verticale sul ponte della nave; ruotando attorno a questo asse, crea una differenza di pressione tra la parte del rotore investita dal vento e quella posteriore, generando portanza che spinge in avanti la nave. Quando il vento soffia di lato, l'effetto Magnus crea una spinta in avanti. La forma più comune di vela a rotore è il cosiddetto Rotore Flettner dal nome del suo inventore (Gilmore, 1984, pp. 70-73). Una particolarità che si può verificare nelle imbarcazioni più piccole, ad esempio da regata, risiede nel fatto che se la nave vira e cambia direzione in modo che il vento provenga dall'altro lato, il verso di rotazione del rotore deve essere invertito o la nave verrebbe spinta all'indietro. Il vento non alimenta il rotore, di conseguenza, la nave deve avere una propria fonte di energia. Come molte navi a propulsione mista, vela e motore, anche le navi a rotore sono spesso dotate di una piccola elica convenzionale, per fornire un minimo di manovrabilità e propulsione anche a basse velocità o quando il vento non soffia o il rotore è fermo. In una nave a rotore ibrido l'elica è la fonte primaria di propulsione, mentre il rotore contribuisce solo parzialmente alla propulsione, consentendo un risparmio di combustile che, come è stato riscontrato, può variare dal 5% al 20%. Inoltre, su imbarcazioni di dimensione contenuta, come le imbarcazioni da diporto, i rotori possono essere addirittura l'unico sistema propulsivo dell'imbarcazione.

Le navi a rotore utilizzano cilindri simili ad alberi, i rotori Flettner, disposti sul ponte della nave e quando il vento soffia di lato, l'effetto Magnus crea una spinta in avanti. L'effetto è utilizzato anche in un tipo speciale di stabilizzatore navale costituito da un cilindro rotante montato sotto la linea di galleggiamento ed emergente lateralmente. Controllando la direzione e la velocità di rotazione, è possibile generare una forte portanza o deportanza. Fino a oggi, il più grande sistema è quello dello yacht a motore *Eclipse.* Lo yacht, costruito da Blohm+Voss di Amburgo, adotta un sistema di stabilizzazione laterale per contrastare il movimento all'ancoraggio e alle basse velocità, basato sull'effetto Magnus.

Anton Flettner, il contesto e gli studi

Il primo studioso che si occupò di tradurre in pratica l'effetto Magnus fu l'inventore e ingegnere aeronautico tedesco Anton Flettner (1885-1961), che studiò un rotore inserito su una nave, chiamata poi nave Flettner, appositamente progettata per utiliz-

zare l'effetto Magnus per la propulsione (Esser, 1925; Chanson, 2013, pp. 100-102; Seifert, 2012, pp. 17-45).

La crisi economica che investì il mondo alla fine della Prima guerra mondiale e che seguì inevitabilmente il boom marittimo avvenuto negli 1914-18 fu la causa di molti cambiamenti che si verificarono nelle costruzioni navali, cambiamenti dettati dalla necessità di migliorare i trasporti marittimi rendendoli più efficienti e più economici. Furono sviluppate molte invenzioni ingegnose, anche se molte di queste rimasero puramente alla fase di *concept* senza una sperimentazione pratica della fattibilità, mentre altre, dopo un inizio promettente, scomparso il fervore della novità, furono dimenticate ed entrarono nell'oblio. Il principio per cui la nave doveva essere un mezzo economico spinse armatori e progettisti a cercare soluzioni innovative. La Germania, particolarmente colpita dal crollo del suo naviglio mercantile, aveva il maggior bisogno di navi economiche e visto che possedeva scienziati e inventori di chiara fama fu tra le nazioni che più svilupparono le nuove tecnologie. Più e più volte nella storia della navigazione gli effetti disastrosi di una crisi sono stati superati solo introducendo drastici miglioramenti tecnici come l'elica propulsiva in sostituzione della ruota a pale, il motore composito, il motore a tripla espansione e altri sistemi per economizzare i consumi di combustile; molte invenzioni furono frutto dell'esperienza maturata in guerra che insegnò agli uomini come adattare materiale e conoscenze a scopi molto diversi da quelli per i quali erano stati originariamente destinati. L'ingegnere tedesco Anton Flettner, assistito da Albert Betz (1885-1968), Jakob Ackeret (1898-1981), Ludwig Prandtl (1875-1953) e Albert Einstein (1879-1955), iniziò i suoi esperimenti intorno agli anni Venti del XX secolo e costruì un rotore sperimentale con l'idea di far rivivere la propulsione navale per azione del vento. In realtà, Flettner aveva immaginato di utilizzare vele metalliche, molto più piccole e maneggevoli di quelle ordinarie in tela, accuratamente bilanciate e modellate per conformarsi alla sua esperienza con i timoni, sfruttando l'azione del vento.

I suoi primi studi in campo navale furono condotti nel 1923 assieme al finlandese Sigurd Johannes Savonius (1884-1931) introducendo la turbina eolica. Grazie alle ricerche e alle esperienze compiute sui cilindri rotanti presso l'istituto di ricerca aerodinamica Aerodynamische Versuchsanstalt di Göttingen, egli ideò il suo rotore e sviluppò quella che fu la prima nave a rotore.

Le navi Buckau e Barbara

Il primo esemplare di nave a essere dotato di rotori fu la goletta *Buckau*, da 455 t di stazza, costruita nel 1920. L'installazione dei rotori avvenne tra il 1924 e il 1926 e quando l'imbarcazione fu presentata al pubblico catturò immediatamente l'immaginario popolare, forse perché le alte torri del rotore erano qualcosa di visibile, così come lo erano le ruote a pale che hanno sempre trovato i loro entusiasti estimatori. Nota da allora come *Flettner Rotor Ship* (Seufert e Seufert, 1983), era dotata di due

cilindri, ciascuno dei quali alto 18,5 m e con un diametro di 2,8 m. La nave era lunga circa 50 m, larga 11,89 m e con un pescaggio di 3,96 m; la propulsione era affidata a un motore da 200 hp che azionava un'unica elica propulsiva in caso di vento calmo o leggero o, se lo si desiderava, per integrare la potenza del rotore (Borg, s.d., p. 7). Successivamente, negli anni 1926-1932 fu realizzata la nave *Barbara*, (Greve, 1995), lunga 91,49 m, larga 13,16 m, e alta circa 8,23 m, e aveva una stazza di 2700 t; la propulsione era affidata a due motori diesel a quattro tempi a sei cilindri accoppiati a un unico albero cui era collegata l'elica propulsiva, e aveva una potenza di 1.060 hp per una velocità di progetto di dieci nodi (Borg, s.d., p. 10). Durante il viaggio inaugurale, *Barbara* toccò i porti di Santander, Bilbao, Malaga e Barcellona, suscitando un grande interesse e mostrando che una nave mercantile poteva effettivamente navigare con questo mezzo di propulsione ausiliario. Le immagini della nave *Buckau* e della nave *Barbara* sono riportate in Figura 2.

In particolare, la *Buckau*, che fu modificata nell'ottobre 1924 presso il cantiere Germaniawerft, era dotata di due rotori di circa 15,60 m di altezza e con un diametro di 2,79 m, in lamiera d'acciaio dello spessore di 9 cm, con una superficie utile di 88 m^2, azionati da un sistema di propulsione elettrica di 40 hp di potenza. La superficie esterna dei rotori fu realizzata in lamiera d'acciaio zincata con uno spessore da 1,0 mm a 1,5 mm e con rinforzi angolari in direzione trasversale e profili in direzione longitudinale. I rotori erano fatti girare a una velocità di 140 giri al minuto da un piccolo motore con una potenza di circa 45 hp, mentre l'elica propulsiva era azionata da un normale motore da circa 217 hp. Le torri del rotore erano un sostituto della vela, il cui scopo era sfruttare il vento come propulsione ausiliaria e consentire una maggiore velocità con la stessa potenza ed economia. Flettner riteneva che le torri del rotore fossero più efficienti della normale vela di tela e avrebbero ottenuto di più dal vento dal quale erano in grado di trarre il massimo vantaggio, indipendentemente dalla sua direzione; secondo il suo parere, la pressione e la forza sarebbero state da otto a dieci volte maggiori di quelle che sui sarebbero avute con vele di uguali dimensioni, indipendentemente dalla direzione del vento. Facendo pieno uso dell'effetto Magnus, le torri di acciaio sottile, abbastanza leggere nonostante il loro aspetto ingombrante e che non davano nessun problema per la stabilità della nave, erano fatte ruotare in senso orario o antiorario, secondo la direzione del vento. Le prove svolte nel mare del Baltico nell'ottobre 1924 furono positive (Wharton, 1925, p. 9). Il vantaggio dei rotori era indiscusso: più semplici da movimentare rispetto alle vele, necessitavano di un minor numero di addetti al loro funzionamento. Inoltre, le prove in mare mostrarono che con velocità del vento fino a 7 m/s i risultati ottenuti equivalevano a quelli della propulsione velica, mentre con velocità del vento maggiori di 7 m/s, la vela si dimostrava inferiore. Infatti, in quest'ultimo caso, una barca a vela doveva rimuovere o terzarolare le vele, mentre il rotore non risentiva degli effetti delle raffiche, che non risultavano quindi pericolose per la navigazione. Inoltre, le

Fig. 2 - La nave Buckau durante l'attraversamento dell'Atlantico nel novembre 1924, a sinistra, e la nave Barbara, a destra (Deutsches Technik Museum, Berlin).

prove effettuate con vento da poppa mostravano che la pressione del vento poteva essere sfruttata al meglio conseguendo velocità elevate.

La *Buckau* salpò da Danzica diretta verso il Firth of Forth, in Scozia, attraverso il Mare del Nord nel febbraio 1925 (Seybold, 1925; Tokaty, 1971, pp. 152-154). La nave poteva navigare controvento con un'inclinazione variabile da 20 a 30 gradi (Seufert e Seufert, 1983), fattore che non dava motivo di preoccupazione in caso di tempesta. La nave diede risultati straordinariamente buoni. Era assolutamente affidabile e con una buona tenuta in mare. Successivamente fu ribattezzata *Baden-Baden* e il 31 marzo 1926 salpò per New York con un equipaggio di 15 persone al comando del capitano Peter Callsen, passando per il Sud America e arrivò nel porto di New York il 9 maggio dello stesso anno, navigando sull'Hudson a una velocità di 8 nodi e mezzo (Bunker, 1970); utilizzò solo 12 tonnellate di olio combustibile, molto meno rispetto alle 45 tonnellate di una motonave della stessa dimensione senza rotori (Nuttall e Kaitu'u, 2016). Al suo arrivo negli Stati Uniti fu giudicata curiosamente: sembrava una giostra marittima, una goletta con camini, una delle navi più strane che mai avessero solcato i mari. I suoi rotori furono descritti come un paio di silos che ruotano a prua e a poppa. Nonostante l'esito positivo della traversata, il prototipo non fu esente da critiche. Alcune fonti affermano che la nave si era dimostrata inefficiente in questi viaggi perché l'energia consumata per la rotazione dei rotori era sproporzionata rispetto all'effetto delle eliche convenzionali. Nondimeno, la *Buckau* trovò altri estimatori che giudicarono impressionanti le sue prestazioni per il servizio di trasporto merci alla rinfusa attraverso il Nord Atlantico e il Mar Baltico (Seufert e Seufert, 1983, p. 658). Dopo la grande depressione la *Baden-Baden* fu spogliata dei suoi rotori, convertita in goletta sotto bandiera panamense, e poi iscritta nel registro costaricano come *Rio Mozara*. Il nome *Baden-Baden* le fu restituito nel 1931 e nel novembre dello stesso anno fu abbandonata in mare mentre era diretta dalla Colombia a Panama. Successivamente, la vecchia nave affondò con il nome che l'aveva resa nota, nella sua breve carriera, come una delle navi più strane che abbiano mai solcato i mari.

La nave *Barbara*, il cui progetto tenne conto degli aspetti positivi della *Buckau*, fu costruita dal cantiere navale AG Weser e completata il 26 luglio 1926 (Walker, 2010, pp. 220-221). Gestita dalla Sloman Line di Amburgo, aveva tre rotori realizzati in metallo Lauta, una lega di alluminio, alti circa 17,09 m, e con un diametro di 4,01 m, che producevano una potenza aggiuntiva di circa 600 hp con una velocità del vento di 11-14 m/s. I rotori avevano una superficie d'aria totale di circa 204 m^2 ed erano azionati da motori elettrici a ingranaggi a una velocità facilmente controllabile dal ponte, il cui valore massimo era 160 giri al minuto. Nelle prime prove in mare, la nave *Barbara* raggiunse una velocità di 6 nodi con i soli rotori e con vento favorevole, 9 nodi con i soli motori e 10 nodi e mezzo con motori e rotori insieme. Dopo un po' di esperienza con le regolazioni, si riuscì a farle facilmente raggiungere una velocità di 13 nodi con entrambi gli apparti propulsivi in azione. Si calcolava che vi fosse un extra di tre nodi con i rotori, con un motore di 60 hp che produceva un lavoro uguale a quello di uno di 530 hp se la trasmissione fosse stata diretta sull'albero dell'elica. La nave fu subito utilizzata per il trasporto di frutta nel Mediterraneo, che solcò dal 1926 al 1929, dimostrandosi affidabile quanto un normale mercantile. I rotori furono utilizzati con pieno vantaggio per circa il venticinque per cento del tempo in mare e quando il vento era favorevole aumentavano la velocità di circa 3 nodi; aumento ottenuto con circa il dieci per cento della potenza che sarebbe stata necessaria per ottenere lo stesso risultato con la propulsione tradizionale. Gli svantaggi di questo sistema propulsivo erano legati all'insorgere di forze giroscopiche, che a loro volta generavano fastidiose forze centrifughe e producevano vibrazioni che creavano problemi alla robustezza della nave. Inoltre, non era possibile avviare e modificare il senso di rotazione del rotore rapidamente. Nel 1928, Flettner si era assicurato ordini per sei nuove navi della classe *Barbara*, ma presto la diminuzione del prezzo del diesel per impieghi navali e una tecnologia dei motori sempre più performante in termini di diminuzione dei consumi, fecero si che qualsiasi risparmio ottenuto dal rotore fosse troppo modesto perché le compagnie di navigazione scegliessero di investire sulla costruzione di questo tipo di navi, a causa del lungo periodo di ammortamento (Nuttall e Kaitu'u, 2016). Nel 1933, la nave *Barbara* fu venduta alla Bugsier-Reederei-und Bergungs AG Line di Amburgo, spogliata dei suoi rotori e ribattezzata *Birkenau* e utilizzata come una normale motonave; fu poi ceduta alla Danimarca e utilizzata fino al 1963 con il nome di *Else Skou*, poi fu in servizio nel Mediterraneo come nave greca *Fotis P*, e infine batté la bandiera dell'Arabia Saudita, operando per la Greek Libyan Lines come *Star of Riyadh*. Affondò nel 1978 al largo di Gedda.

Le applicazioni più recenti

La soluzione di Flettner anni dopo trovò due estimatori negli Stati Uniti. I luogotenenti di marina J.M.K. Kiernan e W.W. Hastings (Hastings, 1971), studenti di Architettura navale presso il Massachusetts Institute of Technology, decisero di allestire

una imbarcazione con questo sistema. Acquistarono una barca abbandonata, lunga circa 9,14 m, e larga 2,44 m e con materiali di recupero ripararono l'apparato motore. Nel progettare la torre utilizzarono i dati raccolti attraverso gli esperimenti svolti sul campo di aviazione di Langley Field, in Virginia, dove da tempo l'esercito degli Stati Uniti studiava l'effetto Magnus per valutare la pressione dell'aria sugli aeromobili. Sfruttando le idee di Flettner, ma con alcune modifiche tecniche, la barca americana fu dotata di un solo rotore, poiché i due studenti erano convinti che due rotori interferissero l'uno con l'altro, come peraltro aveva già supposto lo stesso Flettner che, giunto a questa conclusione, sperimentò un sistema a torre singola di propulsione su di un modesto yacht a motore in competizione con gli yacht a vela. Il rotore progettato da Hastings e Kiernan aveva un diametro di 1,07 m, era alto 2,90 m ed era montato al centro della barca su una base con cuscinetti a sfera, sostenuto da una struttura interna; il movimento era azionato da un motore da 5 hp situato alla sua base. Nella prima prova avvenuta sul fiume Charles, la velocità stimata della barca fu di circa 3 nodi, con il rotore che girava a 360 giri al minuto con un vento di 15 miglia. Le esperienze in acqua fecero ritenere ai progettisti che la loro barca avrebbe raggiunto una velocità di 7 nodi, con l'ausilio di un apparato motore della potenza di 10 hp per spingere l'elica propulsiva (Anon, 1925, p. 27; Tokaty, 1971, pp. 150-154). L'invenzione di Flettner fu abbandonata perché il guadagno di energia eolica non era sufficiente a compensare l'energia necessaria per azionare il cilindro rotante; quindi, il sistema di propulsione divenne antieconomico.

Oggi il rotore Flettner è nuovamente testato come sistema di propulsione supplementare per i mercantili, in competizione con altri sistemi tecnologici della navigazione con i quali ha in comune la possibilità di risparmiare fino a un terzo dei costi del carburante. Nella seconda metà del XX secolo Thomas F. Hanson indirizzò la sua attenzione alle turbine eoliche con il sistema Flettner e costruì una piccola imbarcazione, la *Tracker*, spinta da un rotore Flettner con diametro di 1,07 m e alto 7,32 m. Il motore, che poteva raggiungere i 600 giri/min, era comandato da un sistema idraulico con pompa idraulica azionata da un piccolo motore a benzina. La velocità raggiunta con il solo rotore era di circa 6 nodi con un vento di 18,4 nodi e un angolo di incidenza del vento di 122 gradi. Durante le prove compiute nel tragitto da New Orleans alla Giamaica, dove i venti sono generalmente sfavorevoli, la *Tracker* riuscì a ottenere un incredibile risparmio di carburante del 36%, aumentando allo stesso tempo la velocità del 18%. Lloyd Bergeson (1917-2007), architetto navale che partecipò alle esperienze in mare di Hanson, attratto da questa idea costruì uno yacht di circa 13 m, il *Cockatoo II*, con il quale si convinse della potenzialità di questo sistema di propulsione per economizzare il consumo di combustibile sfruttando il vento come parte della propulsione. Bergeson sviluppò questi studi (Bergeson e Greenwald, 1985, pp. 45-114) e nel 1981 mise in pratica i risultati costruendo una vela da 278 m^2 quadrati per una nave da 3.100 tonnellate di dislocamento, il *Mini Lace*, un mercantile che operò nei Caraibi

da Nuova Orleans. Bergeson mostrò che il sistema utilizzato sul *Mini Lace* era una grande promessa per il risparmio energetico, così come la vela alare, a forma di ala di aeroplano, e come il rotore Flettner (Gilmore, 1984, pp. 70-73). La petroliera *Nura* da 6.700 t, costruita in Corea del Sud nel 1982, fu dotata di 2 rotori Flettner come propulsore aggiuntivo grazie a un progetto finanziato dal Ministero Federale per la Ricerca e la Tecnologia e modificata presso il cantiere navale di Amburgo Blohm+Voss AG nel 1984. I test condotti nella galleria del vento dal gruppo di ricerca che l'aveva progettata mostrarono che per una nave da 4.500 t era necessario un rotore con lunghezza e diametro rispettivamente di 19,5 e 3,81m. A una velocità della nave di 12 nodi e un angolo di incidenza del vento di 100° (o 260°), i rotori avrebbero assorbito il 35% della potenza motrice, mentre a una velocità della nave di 12 nodi, con gli stessi angoli di incidenza del vento, i rotori Flettner avrebbero spinto la nave con la loro intera potenza di propulsione. Tutto ciò avrebbe consentito un risparmio annuo di carburante su una rotta dall'Europa all'America centrale pari a circa il 25% del consumo medio.

Reiner Höhndorf (1927-2015), ingegnere meccanico e visionario, cercò di promuovere la costruzione di imbarcazione con il rotore Flettner per risparmiare energia. Attrezzò un cutter acquistato in Danimarca, e fece una traversata del Mar Baltico fino a Schwerin grazie alla propulsione di due rotori. Il 3 luglio 2003 la barca fu battezzata *Transition II*, e si rivelò, a detta del suo progettista, capace di navigare anche in assenza di vento. Nell'agosto del 2006 il fisico Lutz Fiesser (1945-) dell'Università di Flensburg sperimentò il rotore Flettner sul catamarano *Uni-Kat Flensburg*, lungo 6,10 m e larga circa 4,57 m nel fiordo di Flensburg. Questo studio si è concentrato in particolare sulla risoluzione del problema posto con i rotori per la classica manovra di virata. In un tradizionale scafo a vela, la prua è sempre rivolta verso la direzione del moto e durante la virata si inverte la posizione delle vele; ma invertire la rotazione del rotore sarebbe un'operazione tropo lenta. La soluzione proposta è stata quindi quella di utilizzare uno scafo *praho*, che essendo bidirezionale permette, invece di modificare il movimento dei rotori, di invertire l'estremità prodiera con quella poppiera. Questo tipo di manovra è stata battezzata "*Flettner turnaround*". Non solo l'imbarcazione ha dimostrato di essere perfettamente funzionante, ma secondo lo stesso Fiesser, i rotori funzionano dieci volte meglio di una convenzionale vela in tela.

La soluzione proposta da Flettner ha il pregio di migliorare l'efficienza dei motori con un risparmio del combustibile e allo stesso tempo una riduzione delle emissioni atmosferiche dovute alla combustione del carburante. Il principio di Flettner è stato infatti ripreso decenni dopo dalla nave *Alcyone* utilizzata da Jacques-Yves Cousteau (1910-1997). Nel 2006 fu realizzato il catamarano *Uni-Kat Flensburg* e successivamente la nave da carico *E-Ship 1*, varata il 2 agosto 2008 presso il cantiere Lindenau a Kiel (Gerke, 2012), una nave Ro-Ro da 10.500 t con una lunghezza di 130 m utilizzata da Enercon per trasportare parti di turbine eoliche di sua produzione. La *E-Ship 1* utilizza quattro rotori Flettner di 25 m di altezza e 3,96 m di diametro, ha una

lunghezza fuori tutto di 130 m e una velocità massima di 17,5 nodi e oltre alla vela del rotore, utilizza due motori diesel che erogano una potenza totale di quasi 5 hp. Le caldaie a gas di scarico sono collegate a una turbina a vapore a valle, che a sua volta aziona i rotori Flettner. Dopo un viaggio di prova iniziale dalla Germania all'Irlanda, la *E-Ship 1* ha nave ha effettuato il suo primo viaggio nell'agosto 2010, trasportando nove turbine per il parco eolico di Castledockrell da Emden a Dublino, e ha percorso 170.000 miglia marine tra il 2010 e il 2013 registrando un risparmio medio di carburante complessivo del 25%, di cui il 15% direttamente attribuibile all'uso dei rotori; oggi trasporta regolarmente turbine eoliche in tutto il mondo (Băltățeanu, 2017). La *Viking Grace*, traghetto da 57.565 t di stazza lorda, è una nave passeggeri alimentata a gas naturale liquefatto, il GNL, dotata di una vela a rotore con la tecnologia sviluppata dalla società finlandese di ingegneria e tecnologia pulita Norsepower Oy Ltd; questo traghetto da crociera è entrato in servizio il 13 gennaio 2013. Il rotore cilindrico installato è alto circa 24 m, e ha un diametro di 4 m ed è una versione modernizzata del rotore Flettner. La tecnologia è completamente automatizzata ed è in grado di rilevare quando il vento è abbastanza forte da consentire un risparmio di carburante e avviare automaticamente i rotori (Băltățeanu, 2018). La nuova tecnologia, un utilizzo ibrido di GNL ed energia eolica, si chiama *Rotor Sail Solution* e ha dimostrato la sua efficienza consentendo un risparmio di carburante fino al 20% in condizioni di vento favorevoli.

Nel 2008, il designer John Marples (1970-) ha convertito un trimarano *Searunner* 34 in una nave a rotore, ribattezzata *Cloudia*, per testare il sistema di propulsione Flettner/Thom che utilizza un rotore alto 5 m con dischi Thom, inventati dall'ingegnere scozzese Alexander Thom (1894-1985). Il *Cloudia*, in prova in Florida, a Fort Pierce, con una potenza di azionamento del rotore di 600 W, poteva navigare più veloce col vento al traverso, fermarsi, andare in retromarcia e imbardata di 180° in entrambe le direzioni attorno al proprio asse (Marples, 2009). Tuttavia, in seguito al test i rotori furono smontati (Nuttall e Kaitu'u, 2016).

Nel nuovo millennio test eseguiti nel 2010 alla Auckland University hanno mostrato che il sistema di rotori Flettner, a parità di superficie, dà un incremento di potenza 8-10 volte maggiore rispetto a quello delle vele tradizionali e che una nave con rotori in ausilio a motori a combustibili fossili produce significative riduzioni di consumi (Brown, 2010, p.10). Nel 2014 e nel 2015, Norsepower ha installato un doppio rotore sulla nave *Estraden* della compagnia di navigazione finlandese Bore. Nel maggio 2018, la nave da carico *Fehn Pollux* della Fehn Ship Management GmbH & Co. di Leer in Sassonia, costruita nel 1996, è stata dotata di un rotore Flettner lungo 18 m del tipo EcoFlettner. Nello stesso anno la *Maersk Pelican*, una nave cisterna da 109.647 t di stazza, è stata dotata di due rotori Norsepower alti 30 m e con un diametro di 5 m con l'obiettivo di ottenere un risparmio del 10% dei consumi. Un'altra nave dotata di rotori è la *Estraden* da 18.205 tonnellate di stazza lorda e lunga 162,7 m che attualmente naviga per Bore Ltd. con rotori della ditta Norsepower. La por-

tarinfuse *Afros* da 36.452 t di stazza, lunga 199 m e larga 32 m, ha istallati quattro rotori mobili e in un anno ha ottenuto risultati positivi. Nel 2021, Norsepower ha installato cinque vele a rotore inclinabili su un trasporto di minerale di ferro, la nave *Sea Zhoushan* di nuova costruzione, noleggiata da una società mineraria brasiliana per consentire le manovre sotto i ponti. Infine, la compagnia danese Scandlines gestisce due traghetti ibridi con rotori Flettner, la *Copenhagen* e la *Berlin*.

Conclusioni

La ricerca in questo campo dimostra come l'idea visionaria di Anton Flettner trovi oggi un largo interesse soprattutto nelle grandi società che si occupano di trasporto in mare, a dimostrazione che idee spesso dimenticate possono trovare nuova vita grazie agli sviluppi della scienza e della tecnica nel nuovo millennio (Wagner, 1991; Reuss, 2007).

Bibliografia

Anon. 1925. America's First Rotor Boat. Popular Science Monthly, 107(3), 27.
Băltățeanu D. 2017. The Return of Rotor Sail Ships: E-Ship 1. DriveMag Boats, March 17.
Băltățeanu D. 2018. Viking Grace becomes the first cruise ship to use a rotor sail. DriveMag Boats, April 12.
Bergeson L., Greenwald C.K. 1985. Sail assist developments 1979-1985. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 19(1-3), 45-114.
Borg J. s.d.. *Magnus effect. An overview of its past and future practical applications*, I. Washington, DC: Naval Sea System Command Department of the Navy.
Brown N. 2010. Powered by the wind. Insight. The Lloyd's Register Group Magazine, 1.
Bunker J. 1970. The Ship That Sailed Without Sails. In: *Proceedings*. United States Naval Institute, 96(4).
Chanson H. 2013. *Applied Hydrodynamics: An Introduction*. London: CRC Press.
Esser J. 1925. *Das Flettner-Schiff*. Essen: G.D. Baedeker.
Flettner A. 1925. The Flettner Rotor Ship. Engineering, 119(3082), 117-120.
Flettner A. 1926. *Mein weg zum rotor.* Leipzig: Koehler & Amelang.
Gerke, T. 2012. E-Ship 1 - 21st-Century Sailing, Cleantechnica, April 10.
Gilmore C.P. 1984. Spin Sail: harnesses mysterious Magnus Effect for Ship Propulsion, Popular Science, 224(1), 70-73.
Greve U. 1995. *Buckau und Barbara. Das Experiment der Rotorschiffe*. Berlin: DBM.
Hastings R.B. 1971. The Flettner Rotor Ship. Science Activities, 6(1), 10-14.
Marples J.R. 2009. Project Brighter World. Epoxyworks, 29, 8-11.
Nuttall P. & J. Kaitu'u 2016. The Magnus Effect and the Flettner Rotor. The Journal of Pacific Studies, 3(2), 161-182.
Reuss, H.-J. 2007. Flettner-Rotorschiffe – Alte Technik für neue Schiffe. HANSA Int. Maritime Journal, 12, S. 16-22.
Savonius S. J., s.d. *The Wing-rotor in Theory and Practice*. Helsingfors: Savonius & Co.
Seifert J. 2012. A review of the Magnus effect in aeronautics. Progress in Aerospace Sciences, 55, 17-45.

Seufert W., Seufert U. 1983. Critics in a spin over Flettner's Ships. New Scientist, 97(1348), 656-659.
Seybold G.B. 1925. A Sailing Ship without Sails; New Wonder of the Seas. Popular Science Monthly, February, 36-36.
Tokaty G.A. 1971. *A History and Philosophy of Fluid Mechanics*. New York: Dover.
Wagner C.D. 1991. *Die Segelmaschine. Der Flettner- Rotor: eine geniale Erfindung und ihre mögliche Renaissance*. Hamburg: Ernst Kabel.
Walker F.M. 2010. *Ships and Shipbuilders: Pioneers of Design and Construction*. Seaforth: s.e.
Wharton J. 1925. B. Rotor-Ship's stormy voyage from Danzig to Kiel Canal. The Manchester Guardian, February 9.

Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino

«Stability and elegance»: the British Petroleum suspended structure in Antwerp (1959-1963)

«Stabilità ed eleganza»: la struttura sospesa della British Petroleum ad Anversa (1959-1963)

Abstract
The British Petroleum's head office in Antwerp represents a major contribution to the history of European engineering. First suspended structure realized on the old continent, it was designed by architects Léon Stynen (1899-1990) and Paul de Meyer (1922-2011), in collaboration with Joseph Reusens, and structurally calculated by engineers from Constructor engineering firm. Recognized as a remarkable construction, the tower is characterized by an essential glazed "curtain wall", a direct reflection of its refined steel structure. It is the result of the fruitful cooperation between architects and engineers, a rare example of the so-called "bridge-building type", where a light system of hangers suspends eleven office floors, minimizing the load-bearing elements' impact on the ground. The building, which represents the technical expression of an innovative architectural type, thoroughly theorized as quickly forgotten, is finally placed back in the broader historical and engineering context of the era that allowed its erection. First scientific analysis, the present paper aims to retrace the building phases of a complete architectural object, from the early design proposals and the meticulous materials research to the pioneering choice of a hanging structure, focusing on the construction process and its technological challenges. Based on the comprehensive analysis of largely unpublished archival documentation, the contribution aims to redefine the role of a pivotal building for European engineering history, a concrete expression of an original and audacious technique.

Sommario
L'edificio amministrativo della British Petroleum ad Anversa rappresenta un contributo fondamentale alla storia dell'ingegneria europea. Prima costruzione sospesa realizzata nel vecchio continente, fu disegnata dagli architetti Léon Stynen (1899-1990) e Paul de Meyer (1922-2011), in collaborazione con Joseph Reusens, e calcolata dagli ingegneri dello studio tecnico Constructor. Edificio significativo per leggerezza, stabilità ed eleganza, la torre si caratterizza per l'adozione di un essen-

ziale curtain wall vetrato, espressione diretta della sua raffinata struttura in acciaio. Risultato della proficua collaborazione tra architetti e ingegneri, si tratta di un raro esempio di "edificio-ponte", in cui un sottile sistema di tiranti sospende undici piani di uffici, minimizzando l'ingombro degli elementi portanti. Espressione tecnica di un tipo strutturale innovativo, lungamente teorizzato quanto rapidamente dimenticato, la torre della BP è finalmente ricollocata nel più ampio contesto storico e ingegneristico dell'epoca che la ha resa possibile. Prima analisi scientifica dell'opera, il presente contributo si propone di ripercorrere le vicende costruttive di un oggetto architettonico completo, dalle prime proposte progettuali e dalle minuziose ricerche sui materiali alla pionieristica scelta di una struttura appesa, fino alle fasi realizzative di cantiere e alle sfide tecnologiche della costruzione. Fondato sull'interpretazione di una ricca documentazione archivistica in gran parte inedita, il contributo mira a ridefinire il ruolo di un edificio cardine per la storia ingegneristica europea, espressione concreta di una tecnica tanto originale quanto audace.

«Il n'est pas excessif de dire qu'il fait sensation»

Presented in 1964 in the columns of the Belgian magazine "La Maison", the British Petroleum tower in Antwerp (1959-1963), by architects Léon Stynen and Paul de Meyer in collaboration with architect Joseph Reusens, in Figure 1, was defined by the chroniclers of that time – and not without a sense of pride – as «the first suspended construction realized on the old continent» (s.a., 1964, p. 104). It was indeed an object capable of «polarizing the curiosity» of engineers, architects, and builders, a building that stood out for its unusual «lightness, stability and elegance» (s.a., 1964, p. 104). Still under construction, it was described as «perhaps the most unusual office structure to be erected in 1962» (s.a., 1961a, p. 205), an «administrative building with absolutely original features» (s.a., 1961b, p. 426).

But if historical research allows to question an architectural primacy probably too easily recognized, there is no doubt that thanks to the BP tower's erection «the art of construction deliberately breaks with conventional procedures, in order to move towards new and daring solutions» (Novgorodsky, 1963, p. 139).

Inheriting and reworking the structural principle typical of the cable-stayed bridges, the BP building seemed to challenge or, rather, overturn the well-known gravity load path. In this sense, the tower was characterized by eleven hanging floors, supported by an elegant system of steel bars, anchored to an imposing roof structure, deliberately visible. Here, the loads were collected towards the central bearing core, transferred to the foundations, and finally dissipated to the ground. From a functional point of view, the tower consisted of three distinct parts: the cable supported volume with a panoramic terrace; a wide ground level entrance hall; and an underground car parking.

Similar experiments, which aimed at the same structural lightness, can be traced back to the 1920s with Richard Buckminster Fuller's Dymaxion houses (1927), Frie-

Fig. 1 - Antwerp, BP tower: views by the street. It appears evident the choice of the hanging structure (©Vlaams Architectuurinstituut).

drich Kiesler's Tensionist skyscraper (1927) or the Hängehaus by the brothers Heinz and Bodo Rasch (1927-1928). These projects – in many cases in the form of utopian visions – always remained on paper. Only years later, thanks to the deep technological achievements of the post-World War II period, the first hanging buildings were realized in Europe, making of the structural suspension an «architectural phenomenon largely ascribable to the second half of the twentieth century» (s.a., 1961a, p. 205). Firstly, in the construction excitement of the early 1950s, suspended roofs made their appearance for covering large sports halls and factories, as well as singular elements supported by cables, such as stairs, balconies, or mezzanines.

It was only at the beginning of the 1960s that in parallel with the BP construction two other buildings with a hanging structure, conceived as «closed and entirely defined volumes» (Engel, 1965, p. 249) were under construction. These buildings were the Marl town hall (1959-1963) by architects Van den Broek and Bakema and the smaller town hall in Saint-Vincent, Aosta (1959-1965) by architect Luca Villani, with the structural design by engineer Antonio Migliasso. The 1960s and the subsequent 1970s represented the period of maximum diffusion of a daring architectural type (Galbiati, 2023, pp. 149-170), thoroughly theorized as quickly forgotten, even by contemporary historiography.

A «complete architectural object»

Already from the earliest construction stages the tower was recognized for its challenging architectural and structural concept (s.a., 1962a, p. 48). The design by Stynen and De Meyer, who are listed today among «Belgium's most important architects of

the twentieth century» (De Caigny, 2019, p. 3) was supported at that time by the engineers from Bureau Constructor and Bureau Robert et Musette, who were respectively responsible for concrete and steel structure conception and calculations[1]. Also, the equally important role played by the building companies, Veuve Jérome van Coillie and S.A. Cockerill-Ougrée et Mottard, should be mentioned. The former dealt with the general works, while the latter with the prefabricated elements' realization and their assembly. During three years of construction unforeseen events occurred and design variations were asked, always supervised by SECO Bureau from Brussels, with the further and punctual assistance by engineer André Paduart.

In this way, the close collaboration of several experts made the BP headquarters «a complete architectural object» (Puttemans, 1964, p. 393), «a profoundly thought-out work, designed with care» (s.a., 1964, p. 105) from the urban scale to the interior design, from the structural concept to the materials' plasticity. Summing up, Puttemans stated that «this perfect realization brings an important contribution to the functional, aesthetic and urban design of the office building type» (Puttemans, 1964, p. 393).

A long-lasting design process

The British Petroleum's desire to realize a new head office dated back to the second half of the 1950s, when the English company sought to strengthen its economic influences in Belgium. The aim was to erect the new headquarters in the Eiermarkt, an ancient marketplace area in the historical city center, surrounded by 14th century buildings. Here, a first design proposal was drafted by the group of architects Ricquier-François-Blaton, mentioned in two surviving maquette images as *Projet Ricquier*[2]. The cardboard architectural model appears quite simple, giving the impression that the building was still in its early conceptual stage. It consisted in a large L-shaped traditional structure, approximately five or six-stories high, gradually decreasing in size from the bottom upwards.

In parallel, the BP asked architects Léon Stynen and Paul De Meyer to design two alternative solutions for the egg market site. The designers proposed again a traditional building, but they were not satisfied by the chosen location. For this reason, Stynen managed to convince the client to change the building site, moving towards a peripheral area of the city, located in Avenue J. van Ryswijck, far away from the historical constructions, in a «privileged position» (Novgorodsky, 1963, p. 131) close to the major traffic routes.

Here, two alternative proposals were drafted. One by architect Joseph Reusens and the other one by architects Stynen-De Meyer[3]. Finally, the BP purchased a 7000 m^2 plot of land and the design was ultimately commissioned to architects Léon Stynen and Paul De Meyer, in close collaboration with Joseph Reusens. The choice of the location became the first of Stynen's most important project decisions (Bekaert e De Meyer, 1990, p. 58).

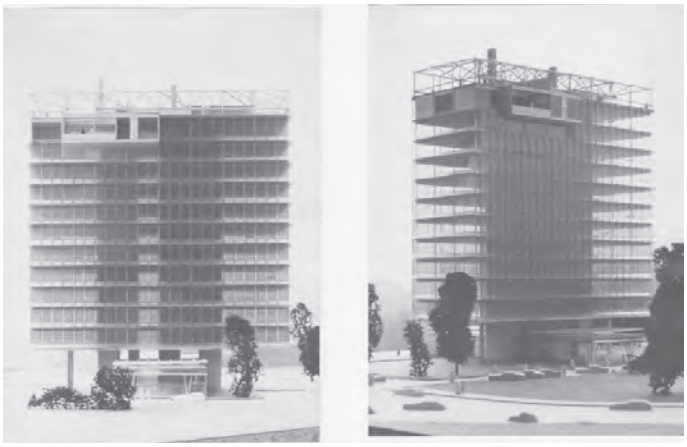


Fig. 2 - Antwerp, BP tower: first design proposals by Stynen and De Meyer (©Vlaams Architectuurinstituut).

The first drawings and models for the final BP tower's proposals date back December 1959. Again, slightly different solutions were envisaged but all of them clearly shared the idea to realize a suspended building, composed by a central elongated core, a bearing roofing structure and thin metal hangers, Figure 2.

From this moment on, the choice of a hanging structure became a staple in the tower's construction history. In 1960, to reduce the total costs, the number of floors was reduced, the panoramic meeting club was downsized, the wide ground floor auditorium was suppressed[4]. At a certain point, even the structural principle was questioned, but thanks to Stynen's strength it was never abandoned.

Towards new design possibilities

The choice of the hanging principle provided numerous design advantages over a traditionally conceived building. Firstly, «this construction method was adopted in view of the natural lighting that it provides for each office» (s.a., 1961a, p. 205). It was noted, in fact, that the building was «characterized by the absence of any façade pillar, fact which allow to bring the maximum natural light inside the office, ensuring users an unobstructed view» (Novgorodsky, 1963, p. 131). The improvement of the users' visual comfort was also outlined by the journal "La Maison", stating that the building design «assures a clear view of green spaces and new urban perspectives» (s.a., 1964, p. 104).

Secondly, the absence of internal bearing elements allowed to envisage open plan offices, mainly conceived as continuous spaces, but also partially divided in smaller rooms, thus denying the rigorous concept of the initial design[5]. The floors were in-

Fig. 3 - Antwerp, BP tower: production and installation of the modular interiors (©Vlaams Architectuurinstituut).

tended as identical levels, but different in functions and layout, aiming to maximize the workspace.

The suspended principle also brought to a high level of standardization, meaning reduced costs, reduced materials' quantity, and lower construction time (s.a., 1961a, p. 205).

As mentioned, internal flexibility resulted decisively increased, if compared to the traditional office design. The tower was based on a 1,93 m squared module, corresponding to the windows' width, which was used as a general reference[5]. The interiors were fully realized in prefabricated wood elements, Figure 3, which could be assembled in alternative ways, according to the different layout needs. Externally, even the facades presented standard elements with modular dimension, such as the external sun-shading devices or the concrete ledges.

Finally, the hanging floors allowed to conceive an essentially free ground floor, intended as a rich entrance hall, where the company's reception desk was located. Here refined materials were used, as the white Arabescato St. Anne marble for flooring, the Moulmein teak for the windows frames and brise-soleil or the Iroko-Kambala wood for the false ceiling panels. At the same time, the absence of pillars provided more space for the underground level, which hosted the car parking and additional service areas.

All these features contributed to define the representative and the «advertising nature» (Puttemans, 1964, p. 393) of the tower, which, located in an extremely visible

area, soon became a symbol of modernity and innovation. This kind of aesthetics can be finally read as the expression of a corporate identity goal, followed by many international companies of that age.

A «light but powerful» structure

According to Puttemans, primary importance should be given to the structural concept, since «the architectural expression is the direct consequence of the structural system» (Puttemans, 1964, p. 393). And effectively, many of the above-mentioned architectural features were the spatial result of the hanging principle.

From a technical point of view, Stynen himself remembered that the suspended design was always retained since it allowed the most rational use of materials, in which concrete only worked in compression and steel in tension[6].

The central core is supported by a concrete general mat foundation, 70 cm thick and realized 6,00 m below the street level. Regarding the dimensions, it is 35,00 m long and 6,00 m wide, 57,00 m high. This bearing element, «providing stability for the structure as well as space for elevators shafts, stair wells, lavatories and so on» (s.a., 1961a, p. 206) is formed by 14 steel columns, disposed in two rows, joined by welds at the height of each floor. Among the seven columns composing each row, the five central ones were encased in reinforced-concrete panels, prefabricated on site, to improve stability. These elements were provided by a cast-in-place concrete finishing, kept visible on the external face. Carefully designed and fabricated formworks were used, to produce smooth surfaces (s.a., 1964, p. 107).

The roofing structure consists of two rows of beams. The primary system is formed by four longitudinal truss beams in steel, composed by welded and bolted elements, with a total height of 4,70 m each one. Towards north and south the four girders have a 6,00 m cantilevering over the core, with a total length of 48,00 m. The primary truss beams support nine secondary girders. This secondary system is formed «by nine [transversal] solid web beams, in steel 52» (Novgorodsky, 1963, p. 134) with a total height of 1,60 m. Each beam has a 6,00 m cantilever on both east and west sides, reaching a maximal length of 18,00 m. The central five beams are located above the bearing core, the subsequent two lateral girders are posed in correspondence of the four free steel columns, while the last two extreme elements are supported by the primary roofing system. Both the primary and the secondary systems are covered with prefabricated concrete panels (s.a., 1964, p. 107) to protect them against adverse weather conditions.

From each end of the trusses, «steel-plate hangers, enclosed in mullions» (s.a., 1961a, p. 206), support along the building perimeter the eleven office floors, Figure 4. One hanger was envisaged each three building modules, equivalent to three windows, namely 5,79 meters. Each hanger has a constant depth of 16,00 cm and it is formed by different number of steel plates (increasing from the bottom to the top

Fig. 4 - Antwerp, BP tower: the building under construction. Hanging floors suspended by the steel hangers (©Vlaams Architectuurinstituut).

of the building), according to the loads it needs to support. In general, the top third of each hanger has a 7,50 cm thickness, the central third has a 5,50 cm thickness, while the lower segment has a 3,50 cm thickness. The steel cables remain visible above the 12th floor, while below they are integrated and hidden into the vertical façade frames. At that time, engineers were particularly attentive to calculate vertical deformations, due to hangers' elongation or columns compression. A cumulative deformation of 18,1 mm was esteemed at the first floor, with maximal values at the building corners: deformation of 29,0 mm. To this value a further deformation of 4,6 mm should have been added due to thermal differences[7].

Eleven suspended floors were realized in open web steel girders. All the slabs are supported on their external end by the hangers (with bolted connections) and on their internal side they are directly connected to the concrete core.

The novelty of the structural principle also brought to construction issues. In these regards, it should be remembered that already from 1963 the property reported the presence of cracks in correspondence of the foundations and the core's walls, due to temperature changes and local material overheating. Two years later other cracks appeared, again on the core, on the underground level walls and at the terrace level, due to water infiltration. These and further issues were solved by SECO Bruxelles, never representing a serious problem for the building static[7].

Hanging envelopes

Along with the structure, a second characterizing building feature is undoubtedly the continuous curtain wall, which encloses the entire hanging volume. The façade was designed by Stynen and De Meyer after a careful study of the existing glazed walls realized in Europe, Australia, and America[8]. According to Novgorodsky, thanks to this project «the new architectural aesthetic of curtain walls seems to have found its true consecration in the principle of building suspension» (Novgorodsky, 1963, p. 131). Effectively, the almost completely glazed façades provided the building with an absolutely light appearance, Figure 5.

The envelopes were majorly conceived with modular and fixed widows, alternating with fewer opening windows, located at the building's corner and at the 12th floor, where they allowed access to the terrace. From a technical point of view, the façades were developed between the end of 1961 and the beginning of 1962 by IPAN Oostende[9].

Considering the fixed windows, 24 elements were designed on each floor along the east and west sides, while 9 elements along the south and north sides. The typical windows' dimension is 2,77 m · 1,93 m, respecting the whole tower's standard measures. The frames were originally composed by two types of wood: Moulmain teak on the exterior side and Iroko-Kambala on the interior side. Initially frames completely realized in Moulmain teak were proposed but soon abandoned to reduce the construction costs[10]. The glasses originally consisted in Thermopane double glazing, providing good comfort conditions and a sufficient thermal insulation.

Considering the opening windows, bronze frames, with no thermal brake, were proposed and, even in this case, Thermopane double glazing was installed[11].

Concluding, the key role played by engineer Paduart in the entire tower technical design should be remembered. In order to avoid glass breakages due to possible hangers' deformations, he suggested to provide the envelopes with a sufficient gap between the concrete structure and the upper part of the windows. In this way the BP glasses never encountered serious breakages, as it happened in other cases of suspended realizations (Galbiati *et al*., 2022, pp. 1103-1116).

Fig. 5 - Antwerp, BP tower: the light and transparent curtain wall (© Giuseppe Galbiati).

Conclusions: «une technique aussi originale et aussi audacieuse»

At a larger scale, the history of the BP head office allowed to assess the technological value of an undeniably original building type.

The tower represented at the same time a fine architectural and engineering object, one of the first attempts to challenge the commonly accepted gravitational laws, through an alternative structural design. At the beginning of the 1960s, it was one of the rare European buildings to adopt a steel suspended structure coupled with a light and transparent curtain wall. For these reasons, it emerged as the result of an honest construction principle, deeply appreciated by engineers, where all the elements «are there because they respond to a logically founded reasoning […] without making noise» (Braem, 1973, p. 12). Recognized for its qualities, it also encountered construction issues and building breakdowns, mainly due to the novelty of its experimental technologies.

The eco of the BP tower was considerable in Belgium and abroad. In 1964, the tower was awarded the first prize of the SBUAM Societé Belge des Urbanistes et des Architectes Modernistes[12]. In 1963, the two architects were accused of plagiarism by C. Dussel and J. P. van Eesteren, two Dutch builders, who claimed an exclusivity patent for suspended buildings construction[13]. The trial lasted for more than 10 years and ended with the recognition of the originality of Stynen and De Meyer design[12] (Bontridder, 1979, p. 221).

In about two decades several buildings with similar technologies, directly referring to Stynen and De Meyer design, were erected in different countries (Puttemans, 1964, p. 400). For this reason, the BP head office is outlined today as a pivotal realization for European engineering history, paving the way towards the larger diffusion of the suspended building type. After the period of major diffusion, hanging structures were progressively abandoned, forgotten even by contemporary historiography. In this sense, the history of the BP tower in Antwerp finally helps to place this building in a broader international context, filling – or better starting to fill – a recognized gap in the field.

Bibliography

Bekaert G., De Meyer R., *Léon Stynen, Een architect, Antwerpen, 1899-1990*. Antwerp: deSingel editor.

Bontridder A. 1979. *Gevecht met de rede, Léon Stynen, Leven en werk*. Antwerpen: Comité Léon Stynen.

Bontridder A. 1991. Léon Stynen, Architect. A+. 1, 23-25.

Braem R. 1973. Gold for Stynen, gold for us. A+. 4, 12.

De Caigny S. 2019. Preface. In: *Léon Stynen, A Life of Architecture, 1899-1990* (D. Laureys Ed.), 3. Antwerp: Flanders Architecture Institute.

Engel H.J.J. 1965. Het opgehangen gebouw. Bowkundig Weekblad. 14, 249-263.

Galbiati G. 2023. Preserving suspended structures with light façades (1960-1980). Architectural study and retrofitting proposals. PhD dissertation, 149-170. Lausanne-Bruxelles.

Galbiati G., Graf F., Marino G. 2022. L'innovazione leggera di Alberto Galardi e Silvano Zorzi. *In: Proceedings of the 5th International Conference on History of Engineering - Atti del IX Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), II, 1103-1116. Napoli: Cuzzolin Editore.

Laureys D. 2019. *Léon Stynen, A Life of Architecture, 1899-1990*. Antwerp: Flanders Architecture Institute.

Novgorodsky L. 1963. Les nouveaux bureaux de la société BP Belgium, à Anvers. La technique des travaux. 39, 131-139.

Puttemans 1964. L'immeuble B. Belgium à Anvers. Architecture. 56, 392-400.

s.a. 1961a. Suspension Structures. Office tower, hung curtain walls. Progressive Architecture. 9, 205-206.

s.a. 1961b. Le nouveau bâtiment administratif de Ia Société B. à Anvers. Acier stahl steel. 10, 426.

s.a. 1962a. Immeuble de BP Belgium – Anvers. La Maison. 2, 48-51.

s.a. 1962b. Architecture contemporaine. Immeuble de bureaux à Anvers. Habitat. 1, 1-3.

s.a. 1964. Le building de la BP Belgium à Anvers. La Maison. 4, 104-109.

Notes

[1] The engineers from Bureau Constructor, who collaborated with Stynen and De Meyer during the building conception phases were Van Lerberghe and Plaisier. In a letter to engineer Novgosrodsky Bureau Constructor takes «the credit for the technical concept and realization» of the tower (Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 122LS).

[2] Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 001LS and 002LS.

[3] Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 128LS.

[4] Between 2014 and 2016, renovation works were carried out by Steenmeijer architects. On this occasion the 12th and 13th floors were extended as well as the ground floor, adding new multi-purpose room.

[5] Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP toren, doss. LS57.

[6] Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 122LS.

[7] Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 132LS.

[8] In particular, the architects referred to the Union Insurance of Canton by Bates Smart & McCutcheon architects (Melbourne, 1957), the Norwich Union Insurance Societies building by Yuncken, Freeman Brothers Griffiths & Simpson (Melbourne, 1957), the Saving Bank of South Australia by architects Caradoc Ashton, Fisher, Woodhead & Beaumont-Smith (Adelaide, 1960), the ICI building by Bates, Smart & McCutcheon architects (Melbourne, 1958), the Mayzel building or Royal bank of Toronto (Toronto, 1956), the Philips building by architect Frithjof Stoud Platou (Oslo, 1958), and the Regina building (Liège, 1960) *(Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut,* fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, *doss. 0123-VC, FD 16 Van Coillie).*

[9] Regarding the frames production, a comparison between the architects' drawings from 1960 and the IPAN ones from 1962 reveals a significant design simplification arried out by IPAN itself. See the series of drawings *(Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut,* fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers*, doss. 130LS).*

[10] Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 124L).

[11] During the 2014-2016 renovation works, the original wooden frames were restored, while the glasses replaced. The opening windows were also replaced with more performing elements *(Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut,* fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers*, doss. 130LS).*

[12] The first three buildings awarded by the jury were: 1st, BP tower Antwerp (160 votes),; 2nd, Bank Lambert Bruxelles (25 votes); Musée lapidaire de Buzenol (18 votes). E. Scaillon, architect, was the Jury president (Antwerp, Vlaams Architectuurinstituut, fund Léon Stynen (1899-1990), BP building – Anvers, doss. 122LS).

[13] C. Jan Dussel, J.P. van Eesteren, patent FR 1.163.774, published on 30.09.1958.

Vincenzo Di Florio, Alessandra D'Ovidio, Marco Felli

L'Ingegnere Vittorio Bonadé Bottino e l'albergo di Campo Imperatore

The Engineer Vittorio Bonadé Bottino and the Campo Imperatore Hotel

Sommario
A partire dai primi anni Venti del secolo scorso, interventi infrastrutturali significativi hanno determinato una nuova configurazione per la zona montana della provincia dell'Aquila. Protagonista di un forte impulso alla modernizzazione, iniziato durante il regime fascista e promosso dal Podestà Adelchi Serena, in carica dal 1926 al 1934, la città dell'Aquila venne trasformata in un importante centro turistico ed escursionistico, concretizzando il piano urbanistico del 1916 elaborato da Giulio Tian, che subì varianti e modifiche fino all'approvazione del 1930 sotto il Podestà Serena. Negli Anni Trenta, tutta l'area del Gran Sasso, che fino agli inizi del Novecento aveva conservato la sua sola vocazione naturalistica, venne perciò interessata dalla fabbricazione di nuovi e moderni impianti. Tra gli interventi più significativi si colloca anche l'albergo di Campo Imperatore, realizzazione meno nota dell'Ingegnere Vittorio Bonadé Bottino (Torino, 1889-1979), che riveste anche importanza storica per la detenzione di Mussolini del 1943. Nell'albergo di Campo Imperatore, edificio fortemente legato al linguaggio razionalista italiano, Bonadé Bottino sperimenta e consolida, in chiave differente, geometrie e temi compositivi già presenti in sue precedenti opere, come le torri alberghiere di Sestrière (1932) e la colonia marina "Edoardo Agnelli" di Marina di Massa (1933). Queste e altre relazioni renderebbero il progetto dell'albergo di Campo Imperatore meritevole di un ulteriore approfondimento.

Abstract
From the early twenties of the last century, significant infrastructural interventions have determined a new configuration for the mountain area of the province of L'Aquila. The city, main character of a strong impulse towards modernization during the fascist regime and promoted by the Podestà Adelchi Serena (in office from 1926 to 1934), begun the transformation into an important tourist and excursion center, realizing the urban plan of 1916 developed by Giulio Tian, which underwent variations and modifications until its approval in 1930, under Podestà Serena. In the

1930s, the entire Gran Sasso area, which until the beginning of the twentieth century had retained its sole naturalistic vocation, was therefore affected by the construction of new and modern facilities. Among the most significant interventions is the Campo Imperatore hotel, a project made by the engineer Vittorio Bonadé Bottino (Turin, 1889-1979), which is also of historical importance for the detention of Mussolini in 1943. In the Campo Imperatore hotel, built strongly linked to the Italian rationalist language, Bonadé Bottino experiments and consolidates, in different ways, geometries and compositional themes already present in his previous works, such as the Hotel Towers of Sestrière (1932) and the "Edoardo Agnelli" marine colony in Marina di Massa (1933). These and other links would make the Campo Imperatore hotel project worthy of further study.

Il nuovo impianto turistico del Gran Sasso

L'albergo di Campo Imperatore, opera dell'ingegnere piemontese Vittorio Bonadé Bottino (Torino, 1889-1979) nei primi anni Trenta, appare ancora oggi come una piccola roccaforte di montagna, incastonata nel paesaggio dell'Appennino abruzzese. L'edificio, immerso nel territorio del Gran Sasso, affaccia sui margini occidentali di Campo Imperatore, un vasto altopiano poco distante dalla città dell'Aquila, comunemente definito "il piccolo Tibet" per la bellezza del contesto paesaggistico. Seppur lentamente, l'intero complesso ottenne la risonanza sperata, anche grazie alla forte promozione messa in atto in quegli anni, tipica del regime fascista verso attività e programmi del Dopolavoro. In Figura 1 sono riportati alcuni manifesti pubblicitari dell'epoca.

Il primo passo verso la creazione di un vero e proprio complesso turistico all'Aquila prese avvio nel 1931, quando all'ingegnere Mario Bafile venne affidata la direzione lavori per la costruzione della funivia del Gran Sasso, necessario punto di partenza per il collegamento della località turistica di Fonte Cerreto, vicino a L'Aquila, al versante occidentale di Campo Imperatore, per il successivo sviluppo a vocazione turistica dell'area.

L'intero percorso della funivia venne suddiviso in due

Fig. 1 - Manifesti pubblicitari: veduta di Campo Imperatore con persone affacciate su una terrazza panoramica, 1941 (Museo Nazionale Collezione Salce, Treviso)*, a sinistra, e pubblicità della stazione sciistica, 1932* (Di Giangregorio, 2011, p. 305)*, a destra.*

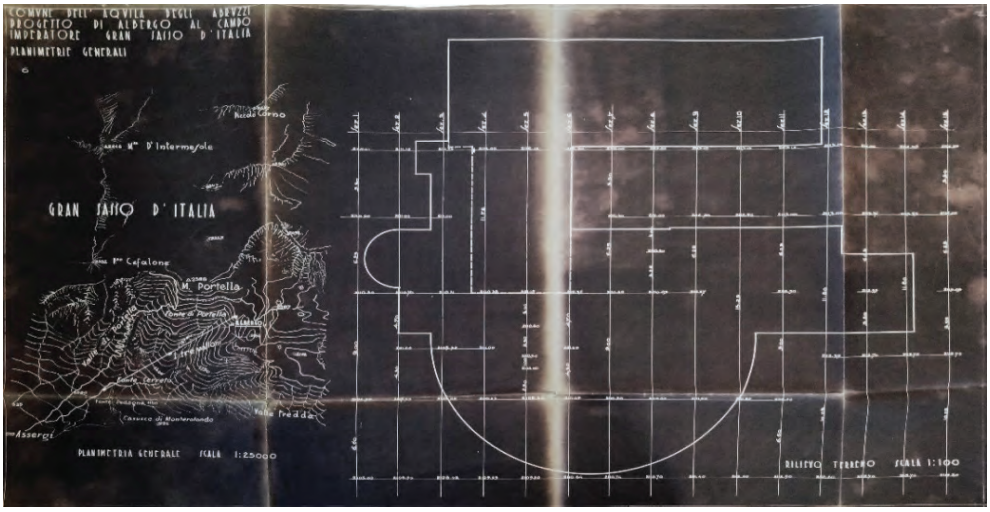


Fig. 2 - Progetto di albergo al Campo Imperatore Gran Sasso d'Italia: planimetria generale della funivia e rilievo terreno dell'albergo (ASAp, Comune dell'Aquila, CAT. I 41-B, cl 12, b.358).

tratte uguali, collocando una stazione intermedia tra quella di partenza e quella di arrivo. La distanza prevista tra le due stazioni principali fu di 3.240 metri, coprendo un dislivello di 1.007,50 metri. La stazione inferiore era dedicata agli alloggi del personale, a locali di servizio e a sale di aspetto e quella intermedia era preposta unicamente allo scambio dei passeggeri; di quella superiore Gadda scrisse: «[…] da cui già si discopre la superba immensità della valle e delle giogaie laterali, è un edificio montano in conci di pietra, saldo e chiuso ai venti come un solitario castello; e accoglie i servizi principali dell'impianto» (Gadda, 2008, p. 133). In Figura 2 sono riportate le planimetrie generali della funivia e dell'albergo di Campo Imperatore.

La "funivia della neve", così denominata dal giornalista Carlo Emilio Gadda (Gadda, 2008, p. 133), che le dedicò un pezzo sulla "Gazzetta del Popolo", risulta per lunghezza tra le prime in Italia. La sua importanza si evince anche dai dati tecnici e dalle specifiche progettuali che la caratterizzano, con dettagli costruttivi «che dimostrano l'entità dei materiali messi in opera. La linea è costituita da cinque piloni (o cavalletti a traliccio di ferro, solidamente fondati su blocchi di cemento) che sostengono un gioco di funi metalliche […]. Le funi hanno una lunghezza complessiva di circa 23.500 metri, e sono varie di peso, di diametro, di resistenza a seconda del loro ufficio. La fune portante, per esempio, quella lungo cui scorre il lungo carrello a ruote al quale è sospesa la cabina […], misura un diametro esterno di 52 mm, ed ha un peso per metro lineare di Kg 10,5. Ciascuna delle funi portanti dei due tronchi, ancorate entrambe alle stazioni estreme e contrappesate all'intermedia, raggiunge

così un peso di oltre 180 quintali. La più lunga delle campate raggiunge i m 925 di sviluppo» (Di Giangregorio, 2011, p. 157).

Anche la città dell'Aquila fu protagonista di interventi urbanistici in funzione del complesso turistico nascente. Nel programma urbanistico "Grande Aquila" voluto dal Regime, infatti, fu realizzato l'ampliamento di corso Vittorio Emanuele II verso una nuova piazza, punto di snodo tra il Forte Spagnolo e l'ex monastero di San Basilio, dove venne collocata nel 1932 la Fontana Luminosa opera di Nicola D'Antino; «Fu questa, va riconosciuto, una intuizione di un certo effetto, perché […] si realizzava un nuovo ingresso per la città in direzione del centro turistico del Gran Sasso» (Cavalli, 2003), tramite la costruzione del tratto stradale che, ancora oggi, conserva il nome di Viale Gran Sasso d'Italia, la cui immagine d'insieme è visibile nella Figura 3.

Fig. 3 - Fontana Luminosa e Viale del Gran Sasso d'Italia, 1941 (Archivio storico Istituto Luce, articolo di redazione).

Vittorio Bonadé Bottino e l'albergo di Campo Imperatore

L'ingegnere Vittorio Bonadé Bottino, cui venne affidata la progettazione del nuovo albergo di Campo Imperatore, visse a Torino tra il 1889 e il 1979: «nacque quando l'illuminazione delle strade era affidata ai lampioni a gas, e morì trentaquattro anni dopo l'esplosione della bomba atomica, dieci anni dopo la conquista della luna» (Spartoletti Baduel, 2001), attraversando un'epoca di profondi e repentini cambiamenti nella scienza e nella tecnica conosciute, che hanno generato il progressivo passaggio dalla realtà del mondo contadino di fine Ottocento a una «civiltà, moderna e industriale, che lui aveva contribuito con entusiasmo a far decollare» (Spartoletti Baduel, 2001). L'attività dell'ingegnere incominciò nella città di Torino, dove negli anni '20 erano già state poste forti basi per lo sviluppo industriale nazionale. Nel 1919 infatti entrò nello studio dell'ingegnere Francesco Cartesegna, impegnato al tempo a dirigere la costruzione della nuova sede dell'industria automobilistica FIAT del Lingotto, ultimata nel 1922; «le frequenti visite al cantiere e l'abilità nel lavorare

valsero a Bonadé Bottino l’incarico di progettare la pista di prova. Per il Lingotto fu impegnato anche nel calcolo del cemento armato […] che rappresentò il primo prototipo di un progetto strutturale che avrebbe poi riproposto nei progetti delle torri» [1]. Le torri cui si fa riferimento sono quelle progettate e realizzate nei primi anni Trenta, ovvero le torri alberghiere di Sestrière (1932). Questi lavori nell’ambito degli edifici a carattere turistico di montagna, furono commissionati dalla famiglia Agnelli, che, nel 1931, decise «di impiantare una grande stazione turistica realizzando la prima funivia Alpette-Sises» (Giannantonio, 2006, p. 627) e poi una serie di alberghi, come la colonia marina “Edoardo Agnelli” di Marina di Massa (1933). Questi progetti vennero sviluppati poco prima di quello dell’albergo di Campo Imperatore, affidato nel 1933 dal Podestà Centi-Colella.

Questioni compositive sembrano legare i progetti delle prime torri alberghiere al progetto per Campo Imperatore. Per l’albergo sul Gran Sasso, infatti, era stata riproposta sia la tipologia della torre cilindrica, che la distribuzione a raggiera degli alloggi sul corpo centrale dell’edificio che, in questo caso, diventa semicircolare, conservando la stessa matrice geometrica delle torri, visibile nella Figura 4.

Nella prima versione del progetto di Bonadé Bottino, infatti, l’albergo si componeva di un corpo centrale, a pianta semicircolare, da cui si estendevano lateralmente e in maniera simmetrica due bracci rettilinei. Tutti i volumi si sviluppavano su cinque piani, di cui quattro fuori terra. L’immagine complessiva restituiva così l’idea di un volume solido, simmetrico e compatto, la cui fissità era intervallata solo dall’inserimento di due torri sui punti di innesto dei bracci laterali; questa scelta progettuale era frequente nell’opera di Bonadé Bottino e in questo caso venne utilizzata per ritmare l’aspetto della facciata dell’albergo e assicurare, internamente, lo spazio idoneo e proporzionato per allocare scale e servizi distributivi.

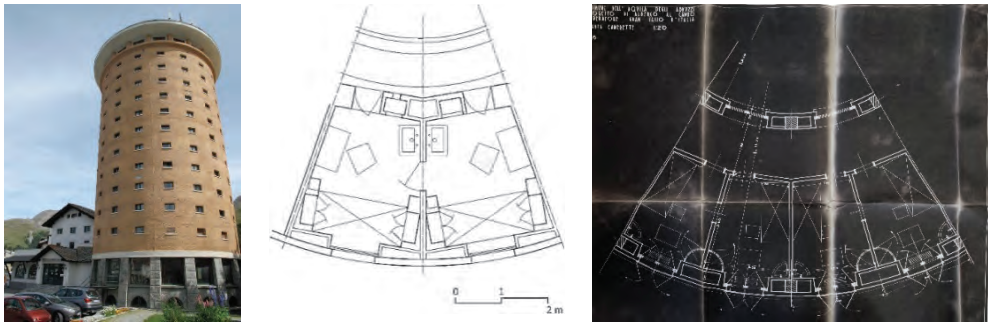


Fig. 4 - Da sinistra, la “Torre Hotel” di Sestrière (foto di M.G. Bevilacqua), *pianta di una coppia di cabine per le torri alberghiere di Sestrière* (immagine: M. G. Bevilacqua) *e pianta di quattro camere dell’albergo di Campo Imperatore* (ASAp, Comune dell’Aquila, CAT. I 41-B, cl 12, b.358).

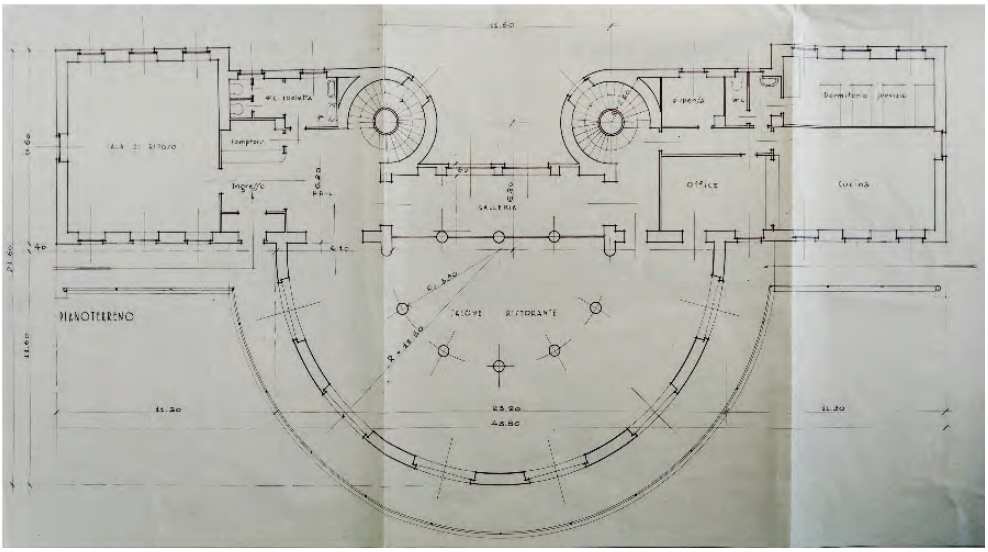


Fig. 5 - Pianta del piano terreno dell'albergo di Campo Imperatore (ASAp, Comune dell'Aquila, CAT. I 41-B, cl 12, b.358).

Nel piano terra, visibile nella Figura 5, l'ingresso era disposto centralmente rispetto alla pianta dell'edificio e affacciava sull'ampia *hall*, la quale metteva in collegamento il salone del ristorante e gli spazi distribuiti lungo i bracci laterali, dedicati a uffici e servizi. La disposizione di pilastri e tramezzi curvi, che ripartivano gli spazi dell'ingresso, rimarcava la forma semicircolare del volume. Anche nei piani tipo che ospitavano le camere dell'albergo la forma semicircolare degli elementi veniva evidenziata nel corpo centrale, in cui le stanze erano ripartite da tramezzi radiali ed erano tutte affacciate sull'unico corridoio semianulare. Altre camere, disposte secondo una maglia ortogonale, si trovavano sui bracci laterali. Nel piano seminterrato erano disposti locali impiantistici e di deposito. Come precedenti interventi svolti dall'ingegnere, la struttura dell'albergo si riconferma in cemento armato. Nello studio statico del progetto si riportava, in particolare, la necessità di eseguire la struttura in considerazione della località in cui sarebbe sorto l'albergo, classificata come località sismica di 2° categoria. Il calcolo delle strutture fu perciò eseguito considerando gli aumenti delle sollecitazioni dovute al moto sussultorio e a quello ondulatorio secondo le norme stabilite dal R.D.L. 3 aprile 1930 n. 682. La struttura era infatti costituita per i piani superiori, di ossatura completa in cemento armato con cemento ad alta resistenza. Gli elementi strutturalmente caratteristici erano rappresentati dai portali, classificabili in tre tipi principali: 1) quelli della parte circolare, a due piedritti; 2) quelli della ala dei dormitori, a tre piedritti; 3) quelli della ala dei dormitori, nella parte estrema, a due piedritti. Mentre i primi, trovandosi in posizione

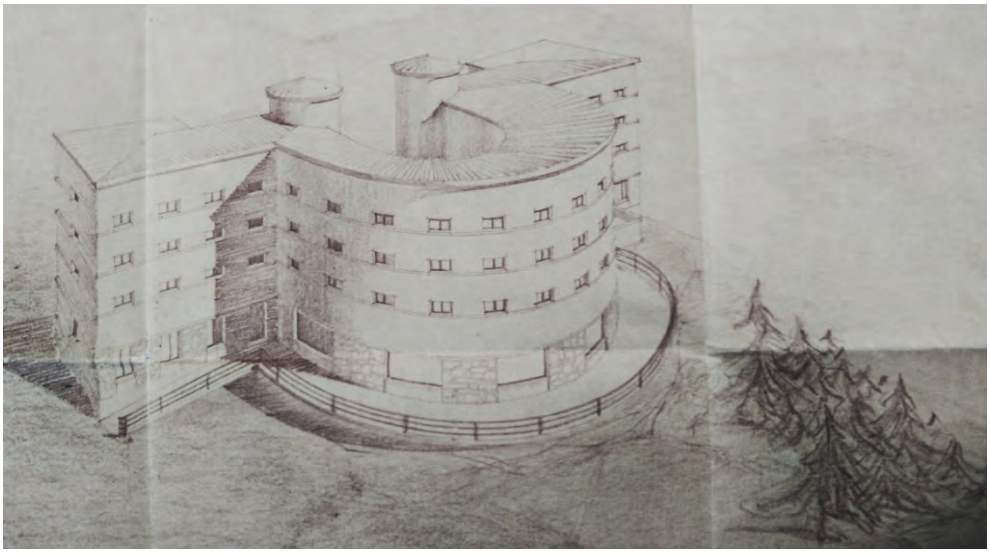


Fig. 6 - Albergo a Campo Imperatore: prospettiva del primo Progetto (ASAp Comune dell’Aquila, CAT I, 41-B, cl 12 b 358).

relativa baricentrica rispetto al moto sismico, e i secondi, essendo più rigidi con i tre pilastri, forniscono una buona stabilità nei confronti del moto ondulatorio, gli ultimi rappresentano l’anello debole dell’intelaiatura, dovendo fronteggiare le condizioni statiche più gravose dei moti relativi alle estremità.

L’immagine globale dell’albergo dimostrava l’impiego del linguaggio razionalista tramite l’essenzialità delle forme, richiamando anche alcuni elementi caratteristici dell’architettura tradizionale montana, come l’utilizzo dello scheggionato in pietra che, esternamente, rivestiva il piano terra dell’edificio. Anche nell’attacco al cielo, la cornice dell’edificio sembra aver ridotto all’essenziale il rimando a canoni eclettici, ancora visibili nei progetti precedenti, in particolare nelle cornici che concludevano le torri di Sestrière.

Fortunatamente, ancora oggi è possibile consultare il progetto originario dell’ingegnere Bonadé Bottino, in quanto tutti gli elaborati sono conservati presso l’Archivio di Stato dell’Aquila. In particolare, nella prospettiva in Figura 6, si ha l’immagine progettuale di un albergo stereometrico, dal linguaggio razionalista. Il progetto originario, tuttavia, venne però rielaborato, in quanto giudicato sovradimensionato rispetto alle richieste iniziali. Il nuovo progetto, la cui pianta è riportata in Figura 7 e consultabile nell’Archivio di Stato dell’Aquila, è complessivamente diverso da quella precedente, in quanto il corpo semicilindrico non è più in posizione centrale, ma si innesta su un unico corpo antistante a pianta rettangolare. Comparando piante e prospetti della prima e della seconda soluzione, è possibile notare le principali

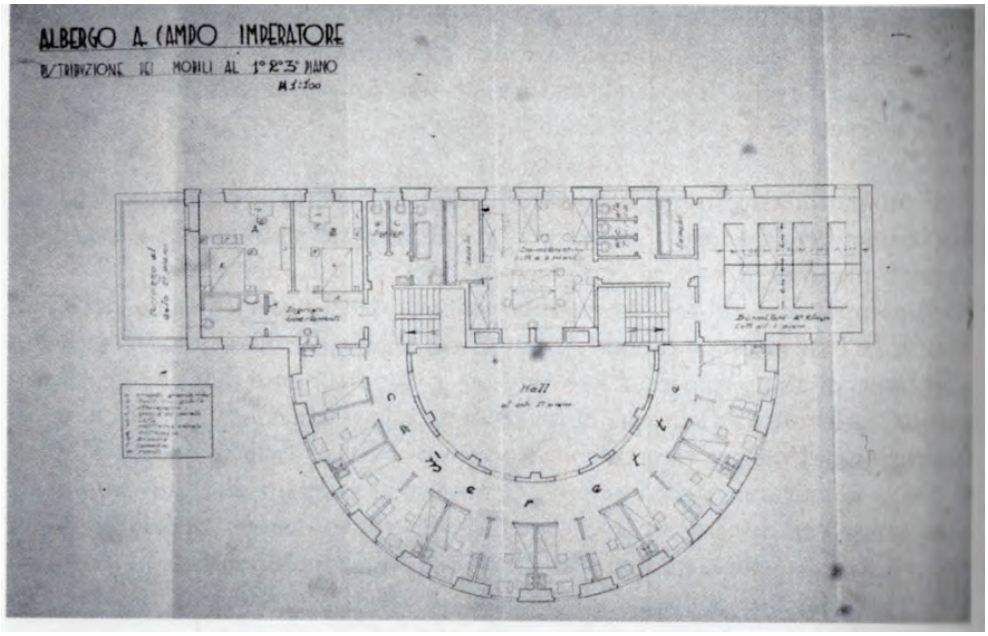


Fig. 7 - Nuovo albergo a Campo Imperatore: pianta del progetto realizzato con distribuzione dei mobili (ASAp, Comune dell'Aquila, CAT I, 41-B, cl 12, b 358).

differenze nell'aggiunta di un piccolo dormitorio anche nel piano seminterrato, nella maggiore articolazione dell'edificio antistante quello semicilindrico, che nel secondo progetto ospitava un maggior numero di servizi, nella revisione delle due torri previste inizialmente e nella modifica delle coperture, rese a spioventi, e delle quote di alcuni ambienti con l'inserimento di numerosi mezzi piani. Quest'ultima variazione, in particolare, comportava delle conseguenze dirette anche in facciata, conferendo ai prospetti un'immagine meno coesa di quanto non fosse stato previsto in origine.

Il complesso alberghiero era stato suddiviso in tre aree relative ai dormitori di I, II e III classe, dedicando ad esempio al turismo di *élite* gli alloggi distribuiti nei piani superiori del corpo cilindrico e destinando altri agli escursionisti, maggiormente interessati alle sole pratiche sportive, gli alloggi lungo i bracci laterali e quelli nel piano interrato.

Una volta inaugurata, la struttura stentò inizialmente ad affermarsi. Furono però la detenzione di Benito Mussolini nel 1943 proprio nell'albergo di Campo Imperatore e la sua liberazione da parte delle SS, a conferire all'albergo una notorietà certamente imprevedibile negli anni della sua realizzazione. Questo edificio fu infatti protagonista di un evento cruciale della storia italiana: l'Operazione Quercia. Dopo la destituzione e l'arresto nel luglio 1943, Mussolini fu trasferito prima all'isole di Ponza, poi

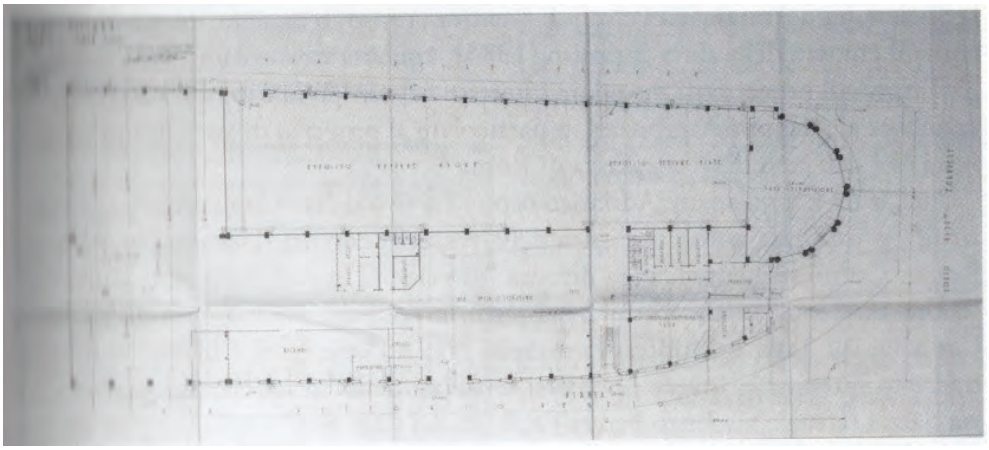


Fig. 8 - Vittorio Bonadé Bottino: progetto di edificio commerciale per la FIAT a Pescara: pianta, 1933 (Giannantonio, 2006, p. 195).

alla Maddalena e infine, il 27 agosto, all'albergo di Campo Imperatore; l'intervento di alcuni paracadutisti tedeschi lo liberò per condurlo a Rastenburg da Hitler (Patricelli, 2001). Da allora l'immagine del luogo è stata indissolubilmente legata anche a questo evento, favorendo nel suo piccolo un ulteriore incremento dell'attività turistica.

Fino alla stagione 2015-2016, l'albergo ha continuato la sua funzione, rimanendo collegato a tutto il sistema di Campo Imperatore, per le stagioni sciistiche e il turismo di montagna generico. Nel 2016 la struttura è stata chiusa, in attesa di interventi di ripristino. Permane la sua suggestiva immagine, ormai un riferimento irrinunciabile sul panorama dell'altopiano.

L'albergo di Campo Imperatore non fu l'unico progetto che l'ingegnere Bonadé Bottino seguì in Abruzzo: nel 1933, infatti, egli realizzò un edificio a destinazione commerciale a Pescara. Il fabbricato, dal forte sviluppo longitudinale, si presentava con un fronte semicircolare in uno dei due lati corti, che seguiva così il tracciato stradale che circondava l'area di progetto, come mostrato in Figura 8, mentre nei prospetti una pensilina aggettante segnava l'immagine complessiva dell'edificio, intervallando ampie superfici vetrate; lo slancio del fabbricato veniva evidenziato anche grazie all'utilizzo di una struttura intelaiata in calcestruzzo armato. L'attacco al cielo invece era segnato da un'ampia cornice di coronamento, elemento caratterizzante dell'edificio.

Conclusioni

Apparentemente un'opera "minore", l'albergo di Campo Imperatore è un'architettura originale dal linguaggio razionalista, riferibile agli anni del Regime. Ripercorrere la sua storia rappresenta un importante passaggio per comprendere il forte legame

con la città dell'Aquila nella sua storia urbana: la complessità e la ricchezza di tale architettura dilata l'interesse nei confronti del patrimonio locale, che si estende oltre la più nota architettura medioevale del centro storico.

Tali architetture, oltre ad aver acquisito una dimensione storica, hanno contribuito a conformare la città contemporanea convivendo con le architetture del passato e rafforzandone spesso l'identità urbana e paesaggistica. L'albergo di Campo Imperatore è certamente, ancora oggi, un'importante opera che si inserisce armoniosamente nella straordinaria cornice dell'appennino abruzzese e che testimonia un passato recente.

Bibliografia

Banfo C. 1997. Dal Lingotto a Mirafiori. Bonadé Bottino e l'organizzazione del Servizio Costruzioni della Fiat. Le culture della tecnica, 1, 85-104.

Banfo C. 2003. Bonadé Bottino, Vittorio. In: *Dizionario dell'architettura del XX secolo* (a cura di C. Olmo). 280-281. Roma: Umberto Allemandi & C.

Bonadé Bottino V. 2001. *Memorie di un borghese del Novecento*. Milano: Bompiani Overlook.

Cavalli E. 2003. *La grande Aquila. Politica, territorio ed amministrazione ad Aquila tra le due Guerre*. L'Aquila: Edizioni Libreria Colacchi.

Di Giangregorio M. 2011. *Campo Imperatore: storia di una stazione invernale*. Sambuceto: Brandolini.

Gadda C.E. 2008. Apologo del Gran Sasso d'Italia. In: *Saggi, giornali, favole e altri scritti* (di C.E. Gadda). Milano: Garzanti.

Giannantonio R. 2006. *La costruzione del Regime. Urbanistica, Architettura e Politica nell'Abruzzo del Fascismo*. Lanciano: Casa Editrice Rocco Carabba.

Lupo G.M. 1983. Vittorio Bonadé Bottino. In: *Atti e rassegna tecnica della Società degli ingegneri ed architetti in Torino*. XXXVII-2, 43-69.

Olmo C. 1993. *Vittorio Bonadé Bottino: un intellettuale nella Torino tra le due guerre*. Dissertazione. Torino: Politecnico di Torino.

Patricelli M. 2001. *Liberate il Duce: Gran Sasso 1943, la vera storia dell'operazione Quercia*. Milano: Mondadori.

Spartoletti Baduel V. 2001. Prefazione. In: *Memorie di un borghese del Novecento* (di V. Bonadé Bottino). Milano: Bompiani Overlook.

Vivaldi G. 2007. *L'ex Colonia FIAT "Edoardo Agnelli" a Marina di Massa*. Tesi di laurea. Firenze: Università degli Studi di Firenze.

Sitografia

[1] https://link.springer.com/article/10.1007/s00004-015-0245-9

Federica Scibilia

I progetti di Carmelo Sciuto-Patti per lo "Spedale medico per la città e mandamento di Giarre" (1866)

The projects of Carmelo Sciuto-Patti for the 'Medical hospital for the city and district of Giarre' (1866)

Sommario
Il contributo si propone di raccontare la storia del progetto dello "Spedale medico per la città e mandamento di Giarre", centro in provincia di Catania, poi Ospedale San Giovanni di Dio e Sant'Isidoro, elaborato nel 1866 da uno dei protagonisti del panorama architettonico del secondo Ottocento in Sicilia, l'ingegnere e architetto catanese Carmelo Sciuto-Patti (1829-1898). A questo professionista venne affidato l'incarico di dotare Giarre di un moderno nosocomio, rispondente ad aggiornati criteri igienico-sanitari, che orientarono la scelta del sito, la tipologia e le soluzioni architettoniche, tecniche e impiantistiche del complesso. Lo studio, basato su un'attenta lettura della documentazione archivistica e della relazione di progetto, nonché sull'osservazione diretta della fabbrica, ha consentito di delineare l'iter progettuale e di esaminare l'edificio in dettaglio, inserendo il caso studio nell'ambito di un più vasto programma di riforme riguardanti il risanamento del centro urbano e, conseguentemente, la necessità di aggiornamento delle strutture ospedaliere, un tema che, nel corso dell'Ottocento, investì l'intero territorio nazionale.

Abstract
This paper aims to tell the story of the project of the Medical hospital for Giarre, a town in the province of Catania, later known as Ospedale San Giovanni di Dio e Sant'Isidoro, designed in 1866 by one of the protagonists of the architectural scene in Sicily in the second half of the 19th century, the engineer and architect Carmelo Sciuto-Patti (1829-1898) from Catania. This professional was entrusted with the task of equipping Giarre with a modern hospital, meeting up-to-date health and hygiene criteria that determined the choice of site, typology and the architectural, technical and plant engineering solutions defining the complex. The study, based on a reading of the archival documentation, including the project report and related graphical drawings, as well as direct observation of the building, made it possible to outline the design process and examine the building in detail, placing the case study within

a broader program of reforms concerning the redevelopment of the urban center and the need to update the hospitals, a theme that affected the entire country from the post-unification period.

Introduzione

Le vicende progettuali e costruttive dell'Ospedale di Giarre, poi denominato San Giovanni di Dio e Sant'Isidoro, non sono ancora state oggetto di studi specialistici. Le uniche informazioni a oggi note sono reperibili in alcuni testi di storici locali, dai quali è possibile trarre qualche scarna notizia (Papa, 1991; Cavallaro, 2016). Anche il volume curato dalla Soprintendenza di Catania dedicato a Carmelo e Salvatore Sciuto-Patti, che pure include numerose schede su singole architetture, tralascia l'esame di questo progetto, limitandosi ad alcune brevi notazioni sulla fabbrica all'interno di un saggio dedicato alla figura dell'ingegnere e architetto catanese (Percolla, 2015, p. 63).

Il reperimento di nuovi materiali archivistici, costituiti da cinque elaborati grafici relativi a tre distinte proposte facenti parte dell'archivio professionale di Carmelo Sciuto-Patti, unitamente allo studio della dettagliata relazione di progetto, è sufficiente per delineare l'iter della fabbrica e ricostruire le ragioni che determinarono la scelta del sito, la tipologia, nonché le soluzioni architettoniche, tecniche e impiantistiche del complesso, rispondenti alle moderne esigenze in campo igienico-sanitario.

La lettura della documentazione restituisce al contempo uno spaccato significativo della cultura tecnica del progettista, offrendo in particolare informazioni sulle conoscenze di Sciuto-Patti nello specifico ambito dell'architettura ospedaliera.

Le ragioni di un nuovo ospedale

L'idea di avviare la costruzione di un nuovo ospedale a Giarre si deve all'iniziativa della nobildonna Maria Teresa Mangano (1791-1878), appartenente a una ricca famiglia giarrese, descritta dalle poche fonti disponibili come donna di grande fede cristiana, la quale aveva dedicato la sua vita al servizio degli orfani, dei poveri e degli infermi (Papa, 1991).

Constatata l'inadeguatezza delle strutture sanitarie cittadine, allora costituite da un lazzaretto e dall'Ospedale S. Pietro Martire, inaugurato nel 1824 nella frazione di San Giovanni Montebello, la nobildonna nel 1865 decise di donare un consistente lascito per la costruzione di un complesso dedicato all'accoglienza e alla cura dei malati, da collocare nella contrada denominata Fondo Macchia, un insediamento rurale quasi interamente distrutto dal terremoto che il 19 luglio 1865 aveva colpito il territorio di Giarre. Il sisma, oltre ad arrecare danni ingenti al patrimonio edilizio, aveva infatti causato in quell'area numerose vittime, come ricordato da diverse fonti coeve al terremoto (Grassi, 1865; Silvestri, 1865; Silvestri, 1866; Silvestri, 1867), tra le quali può essere citata, a titolo esemplificativo, la memoria di Orazio Silvestri

riportata negli Atti della Società italiana di scienze naturali, nella quale si poteva leggere che «una delle dette scosse fu sufficiente alle due dopo mezzanotte per ridurre ad un mucchio di macerie la intera borgata del Fondo di Macchia atterrando 200 fabbricati con 109 vittime tra morti e feriti» (Silvestri, 1866, p. 66).

Il nuovo ospedale doveva porsi quale moderna attrezzatura sociale a servizio della città e dei vicini comuni di Riposto, Mascali, Calatabiano e Fiumefreddo, servendo una popolazione complessiva di 31.756 persone.

Tradizionalmente legata al feudo ecclesiastico di Mascali, a partire dal XVII secolo Giarre, insieme alla vicina Riposto, aveva visto una progressiva crescita economica e demografica, legata principalmente al suo ruolo di fiorente centro agricolo e di emporio commerciale.

Divenuta alla metà del Settecento più popolosa sia di Nunziata che di Mascali, la città aveva acquisito una posizione centrale nella rappresentanza politica e amministrativa, che a partire dal 1768 aveva portato a una serie di tentativi di rivendicazione della propria autonomia, di fatto riconosciuta con il Regio Decreto del 15 maggio 1815, con il quale fu istituito il comune di Giarre (Barbagallo Coco, 1980, p. 16).

La costruzione di una moderna struttura ospedaliera si inseriva dunque in un più ampio programma di riforme volto a dotare il centro urbano di attrezzature adeguate al nuovo status di comune indipendente, configurandosi come un nodo strategico per la modernizzazione della città.

Nel 1866 Maria Teresa Mangano affidò l’incarico a Carmelo Sciuto-Patti, il quale per la formulazione del progetto si avvalse della collaborazione del dottore Mariano Scandurra, poi nominato medico chirurgo capo dello stesso ospedale. La scelta del progettista ricadde dunque su un tecnico di riconosciuta perizia, che a quelle date poteva già vantare un’intensa attività professionale, principalmente concentrata a Catania e ad Acireale, svolta sia per conto della committenza pubblica che privata, il cui prestigio era stato sancito anche dal suo ruolo di accademico all’interno della Regia Università di Catania (Percolla, 2015).

I progetti di Carmelo Sciuto-Patti

Le vicende relative all’ideazione della fabbrica risultano documentate grazie al reperimento di una consistente documentazione archivistica, che illustra tre differenti proposte. In particolare nell’archivio Sciuto-Patti, custodito presso l’Accademia di Scienze, Lettere e Belle Arti degli Zelanti e dei Dafnici di Acireale, si conservano una foto d’epoca e cinque elaborati grafici, tutti in scala 1:100, due dei quali relativi alla versione definitiva, uno comprendente le piante del piano terra e del piano primo, l’altro il prospetto principale e la sezione sulla scala; i restanti tre sono da riferire a due irrealizzati progetti alternativi, tra loro distinguibili per sottili variazioni d’impianto. I disegni sono redatti a matita, inchiostro di china e acquarello su carta, a eccezione di uno studio di prospetto realizzato a matita su carta.

Per l'indagine sulla fabbrica, oltre all'esame dei grafici, si è rivelata fondamentale l'analisi della relazione di progetto, pubblicata sia nella rivista Giornale dell'Ingegnere, Architetto ed Agronomo del marzo 1867 (Sciuto-Patti, 1867a, pp. 153-165) che in forma di opuscolo (Sciuto-Patti, 1867b), del quale si conserva copia nel medesimo archivio. Il documento in esame è corredato da tre disegni corrispondenti alla soluzione finale e, al di là dell'intento retorico che connota lo scritto, evidente nel colto riferimento a una serie di modelli noti, costituisce la fonte più attendibile per ricostruire le scelte sottese al disegno del complesso, offrendo al contempo informazioni sulla cultura di Sciuto-Patti.

Dalla lettura della relazione si apprende come alla base della scelta del luogo da destinare alla costruzione del nuovo complesso ospedaliero sussistano in primo luogo ragioni di natura igienico-sanitaria, principalmente legate alla salubrità del sito e alla necessità di isolare le persone affette da malattie contagiose. È lo stesso Sciuto-Patti a evidenziare questo aspetto, oggetto del primo paragrafo della sua memoria denominato "Su la convenienza del sito", nel quale si legge «Perché siffatti umanitarii istituti rispondano pienamente al loro scopo diretto fa duopo, anzi tutto, far senno su la scelta del sito per il loro impianto; essendo della massima importanza la loro ottima situazione, non solo per la pronta e radicale guarigione degli ammalati che vi si ricevono e vi si curano, ma pei sani che sono costretti ad abitare in vicinanza a tali pericolosi depositi di malori» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 4).

L'area destinata alla costruzione dell'ospedale, in particolare, era collocata all'estremità sud-occidentale del centro urbano, in una zona allora periferica caratterizzata da bassa densità edilizia, «in amenissima ed aperta situazione, ventilata ed asciutta, nella contrada Patanè, la quale costituisce la parte più elevata e salubre di tutto l'ambito della Città di Giarre» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 4).

Richiamando esplicitamente le disposizioni espresse dagli igienisti del tempo, che raccomandavano di impiantare i nosocomi in luoghi dal clima secco, aerato e lontani dalle acque stagnanti e dal mare, veniva evidenziato come l'edificio sarebbe stato configurato come una costruzione isolata, con la fronte principale orientata a sud, le due fronti a est e a nord prospettanti su strada e la fronte ovest affacciata sui giardini di pertinenza dello stesso ospedale, poi di fatto soppressi nelle successive trasformazioni che interessarono il contesto circostante.

Nel chiarire i principi guida del progetto emerge come la soluzione elaborata da Sciuto-Patti scaturisca da un'attenta riflessione su precedenti esperienze, sia italiane che europee, espressamente citate nel testo dal progettista, frutto di un articolato dibattito sul modo migliore di costruire un ospedale, che a quel tempo coinvolgeva tanto gli architetti quanto i medici.

L'esame degli aspetti distributivi, ai quali era riservata specifica attenzione, era significativamente preceduto da un'ampia dissertazione nella quale il professionista esponeva i criteri da tenere in considerazione. Così, ad esempio, veniva richiama-

to il “Traitè Pratique d’Hygiene industrielle et administrative” (1860) di Maxime Vernois (Vernois, 1860), nel quale si rilevava l’esigenza di separare le sale per gli uomini da quelle destinate alle donne e ai bambini, di progettare padiglioni isolati o camere separate per i degenti affetti da malattie contagiose, di circondare l’edificio di vegetazione e di asfaltare le strade intorno alla fabbrica in modo da attenuare l’inquinamento acustico.

Altro riferimento era rappresentato dal “Dizionario d’Igiene Pubblica e di Polizia Sanitaria” di Francesco Freschi (Freschi, 1857-1860), anch’egli sostenitore della tradizionale divisione interna secondo i criteri della separazione dei sessi e della diversificazione delle patologie. Nel testo si individuava come dotazione minima la presenza di due sale per gli uomini e due per le donne, prevedendo nel caso di ospedali di grandi dimensioni anche uno spazio destinato alle malattie speciali e una sala per le operazioni chirurgiche.

Osservando la discordanza degli specialisti sulla forma più idonea a qualificare un nosocomio, Sciuto-Patti passava in rassegna una serie di casi noti, esaminandone brevemente i relativi impianti: dalla forma a stella con cappella centrale, suggerita da Antoine Petit, della quale un esempio era costituito dal manicomio di Genova, alla più consueta forma quadrilatera con corpi di fabbrica disposti a croce e confluenti al centro in uno spazio circolare, giudicata adeguata, tra gli altri, da Giovanni Aikin. Non mancava di citare il quattrocentesco Ospedale Maggiore di Milano, imprescindibile riferimento per la storia dell’architettura ospedaliera in ambito occidentale almeno fino al XVIII secolo, il cui successo come modello era stato decretato dalla realizzazione di numerosi altri complessi analoghi in Italia e in Europa, tra i quali possono essere ricordati, ad esempio, l’ospedale Grande di Piacenza (1471), l’Ospedale Maggiore di Como (1485), l’Hospital General di Valencia (1494), l’Hospital Real di Santiago de Compostela (1501), l’Hospital Real di Granada (1511), l’Hotel-Dieu di Lione (1622-1631) l’Hospice des femmes incurables di Parigi (1635-1649) (Scotti 1984). La conoscenza da parte dell’ingegnere catanese dei più aggiornati esempi della moderna edilizia ospedaliera, basati sullo schema distributivo a padiglioni, veniva dimostrata dalla citazione della manualistica, soprattutto di stampo francese, nonché di una serie di architetture quali l’ospedale di St Louis a Parigi «notabile per la sua semplicità e per l’attenzione usata, accioché una grande massa di aria circondi le fabriche destinate alle malattie contaggiose» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 7). Degni di considerazione, a giudizio del progettista, erano, tra gli altri, l’ospedale Stonhehouse nei pressi di Plymouth, del 1764, l’ospedale La Roquette a Parigi, concepito nel 1788 da Bernard Poyet, e, soprattutto, l’ospedale Lariboisière a Parigi, progettato nel 1839 da Pierre Gauthier e caratterizzato dalla tipologia a padiglioni con sezioni indipendenti tra loro collegate, reputato un caso esemplare.

Come è noto il modello a padiglioni, promosso soprattutto in Francia a partire dagli anni Settanta del Settecento in seguito al dibattito sorto all’interno dell’Acca-

demia delle Scienze di Parigi dopo l'incendio del 1772 del parigino Hôtel Dieu, era stato oggetto di studi e *Grand Prix* all'Accademia di Francia negli anni compresi tra il 1777 e il 1789 e fu considerato a lungo il migliore esempio da adottare per i complessi ospedalieri in tutta Europa (Cheymol e Cesar, 1977). Sciuto-Patti, pur citando questo modello come riferimento ideale, nella progettazione dell'ospedale di Giarre optò per un tradizionale impianto con cortile chiuso di distribuzione, che a quelle date rappresentava il tipo più consueto in Italia. Qui, del resto, nonostante il costante aggiornamento degli specialisti sui più moderni riferimenti internazionali, la tipologia a padiglioni trovò un'applicazione abbastanza tardiva e tra le prime realizzazioni, peraltro tutte posteriori al progetto in esame, sono da annoverare l'ospedale Sant'Andrea di Genova (1877-1884), il Mauriziano Umberto I di Torino (1882-1885), il Policlinico Umberto I di Roma (1883-1896), l'ospedale di Broni (1885-1890), in provincia di Pavia, l'Umberto I di Monza (1890-1896) e il Policlinico di Milano progettato nel 1900 (Morandotti e Savorra, 2021, p. 33).

Anche in Sicilia, del resto, deve essere rilevato come la maggior parte delle architetture in campo sanitario derivassero da un adattamento di precedenti fabbriche conventuali e che solo a partire dagli ultimi tre decenni del XIX secolo iniziò a imporsi la tipologia a padiglioni (Sessa, 1989; Fatta e Campisi, 2004), modello alla cui diffusione contribuì la pubblicistica specialistica, ad esempio la Rivista di ingegneria sanitaria, come dimostrato a titolo esemplificativo, dai complessi dell'Ospizio Marino a Palermo (1870-1875), destinato alle malattie infantili, su progetti di Achille Albanese, Francesco Calandra, Ettore Bertazzone e Francesco Palazzotto, e dell'Ospedale Vittorio Emanuele II di Catania (1878-1880), di Giuseppe Lanzerotti (Sorge, 1940; Alberghina, 2010).

L'ospedale di Giarre si articola su due piani principali, oltre a un terzo livello, esteso in corrispondenza del solo blocco centrale, e a un piano seminterrato destinato a magazzini e lavanderia che, sfruttando la naturale pendenza del terreno, è ubicato in una delle ali dell'edificio.

La fabbrica, come visibile dall'icnografia, che comprende in un unico foglio il piano terra e il primo piano, si sviluppa su un lotto rettangolare di dimensioni 49,30 m per 43,50 m attraverso un impianto a U definito da due ali leggermente sporgenti che delimitano in corrispondenza dell'ingresso principale a sud una corte, aperta da un lato, quello prospicente l'attuale viale Don Minzoni, e circondata sugli altri tre lati da portici. La corte era «abbellita da piccolo giardino a sollievo dei convalescenti, e a rendere più salutare l'aere che vi si respira» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 8). Attraverso un vestibolo in asse con l'ingresso si accede al cortile interno rettangolare, che funge da fulcro distributivo del complesso, favorendo al contempo la ventilazione e l'illuminazione degli ambienti circostanti, organizzati secondo criteri di simmetria. Da qui, attraverso un ulteriore andito, è possibile raggiungere l'ingresso posteriore, ubicato sul prospetto settentrionale, corrispondente all'attuale via Giammona.

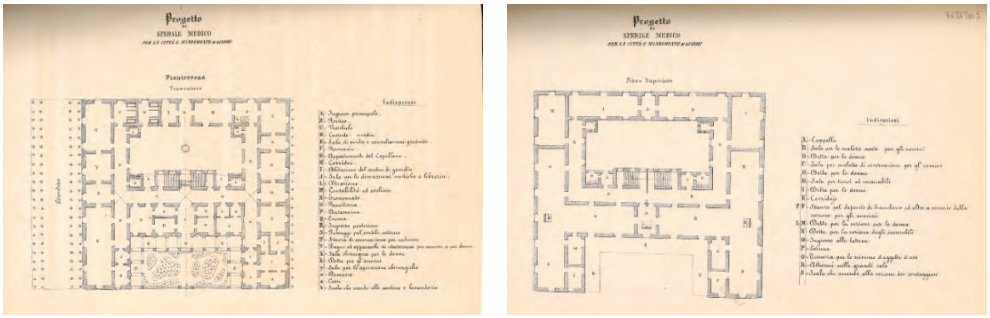


Fig. 1 - Sciuto-Patti: Progetto di Spedale Medico per la città e mandamento di Giarre, piante del piano terra, a sinistra, e del primo piano, a destra, 1866 (Sciuto-Patti, 1867b).

I disegni corrispondenti al progetto realizzato sono privi di didascalie e legende, tuttavia gli ambienti sono contrassegnati da lettere dell’alfabeto che trovano un’esatta corrispondenza nelle tavole in Figura 1, pubblicate nella relazione (Sciuto-Patti, 1867b, tavv. 4-5), corredate dall’indicazione delle destinazioni d’uso di ogni vano, consentendo così di ricostruire l’originaria distribuzione del complesso. Al piano terra erano previsti tutti gli ambienti di servizio e quelli di pertinenza dell’amministrazione, oltre a due distinte abitazioni, destinate al cappellano e al medico di guardia, e ai servizi igienici, dislocati in corrispondenza degli angoli del cortile. Nell’ala occidentale erano ubicate due grandi sale, K e X, riservate ai convalescenti, distinte in base al sesso, inframmezzate da due vani di minori dimensioni, Y e Z, che «serviranno pei bagni semplici ed a vapore con tutti gli apparecchi di idroterapea» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 8) o, in alternativa, a vani accessori, qualora le stanze maggiori fossero state destinate a sezione chirurgica.

Un corridoio interno avente uno sviluppo a H metteva in comunicazione le due ali, mentre una scala disposta in posizione centrale e qualificata da due rampe simmetriche, dava accesso al livello superiore. Quest’ultimo rispondeva a criteri di simmetria ed era ripartito da una cappella centrale, A, in due distinti settori, uno destinato agli uomini, a est, e l’altro alle donne, a ovest, con i quali era posta in comunicazione diretta. Ciascuna sezione comprendeva a sua volta tre sale: una a T destinata alle malattie acute, dotata di un altare posizionato in fondo in modo da consentire la partecipazione dei malati alle celebrazioni liturgiche, alla quale erano annesse due stanze più piccole per il deposito della biancheria e per l’infermeria, un’altra di minori dimensioni per malattie speciali e, infine, una terza, per malattie incurabili. I vani erano indipendenti tra di loro e serviti da un corridoio perimetrale, K, di collegamento. Per motivi di igiene anche a questo livello la disposizione delle latrine, precedute da un vestibolo, era prevista agli angoli del cortile. Un ulteriore

elemento qualificante era rappresentato da una terrazza praticabile realizzata «per sollievo degli ammalati» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 9), che si estendeva al di sopra dei portici di piano terra.

La necessità di isolare le persone affette da malattie contagiose aveva determinato la presenza di un ulteriore piano. Anche a questo livello proseguiva la consueta distinzione in due parti in base al sesso, separate da una zona filtro in posizione baricentrica, con latrine ubicate in asse rispetto a quelle sottostanti.

L'organizzazione degli spazi appare regolata da precisi parametri incentrati sugli aspetti igienici, esposti dall'ingegnere catanese nel paragrafo denominato "Sulla convenienza della progettata distribuzione", legati alla divisione funzionale delle parti, con una separazione tra le zone di servizio e quelle di cura, all'isolamento dei malati, a un corretto orientamento ai fini del raggiungimento di adeguati livelli di ventilazione, soleggiamento, ricambio d'aria e isolamento acustico, alla presenza di spazi verdi e a un conveniente distanziamento dei letti, a non meno di 1,80 m l'uno dall'altro, tutti elementi che scaturivano da riflessioni legate al tentativo di miglioramento della qualità di vita dei pazienti.

Particolare attenzione veniva riservata al sistema di areazione, da collegarsi a una serie di ricerche sul sistema del ricambio d'aria negli ospedali che veniva portato avanti in quegli anni e che il progettista dimostra di conoscere, citando puntualmente nel testo una serie di teorie scientifiche. Per ottemperare a tali esigenze bisognava adottare determinati accorgimenti costruttivi quali, ad esempio, dotare le corsie di un'altezza adeguata, prevedere coperture a volta e aperture di grandi dimensioni, fornite di persiane e disposte su entrambi i lati a un'altezza di 1,5 m da terra, tale da favorire la maggiore aerazione possibile.

Il disegno della facciata, rappresentato insieme a una sezione in un'unica tavola di progetto e conforme al disegno di Sciuto-Patti in Figura 2, mostra la predilezione del professionista per un linguaggio scarno e asciutto di matrice classicista, che costituisce la cifra distintiva della maggior parte delle sue archi-

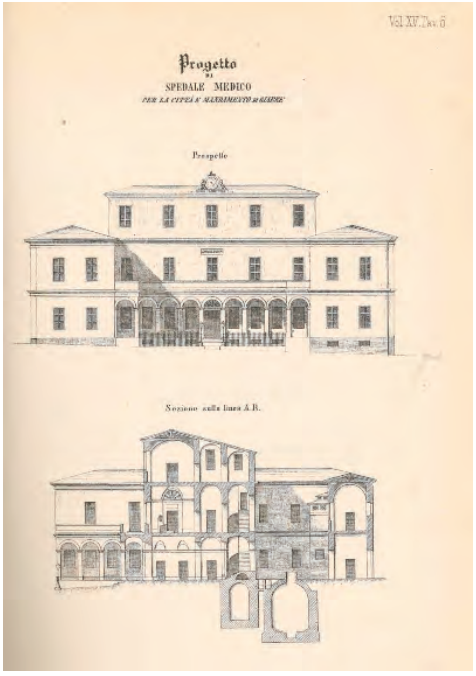


Fig. 2 - Sciuto-Patti: Progetto di Spedale Medico per la città e mandamento di Giarre, prospetto principale e sezione, 1866 (Sciuto-Patti, 1867b).

tetture. La sequenza di archi a tutto sesto su pilastri che qualifica la fronte principale definisce uno spazio filtro tra il complesso e il contesto urbano, mentre i piani superiori, segnati da fasce marcapiano, sono scanditi dalla presenza di semplici aperture.

Il carattere utilitaristico dell’edificio legato alla tipologia ospedaliera suggeriva la maggiore sobrietà possibile, anche in adesione ai quei «principii fondamentali dell’arte la quale prescrive che ogni edificio appalesi chiaramente il suo destino» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 15). L’assenza di ornamentazione veniva motivata dallo stesso Sciuto-Patti, che rilevava che «ogni magnificenza nella decorazione si interna che esterna, sarebbero in aperta contradizione con lo scopo ed il carattere dell’edificio» (Sciuto-Patti, 1867b, p. 15). L’unico elemento decorativo era pertanto rappresentato dalle figure allegoriche delle due virtù teologali, la Carità e la Fede, poste in alto a fiancheggiare il fastigio circolare entro il quale un tempo era collocato l’orologio.

I medesimi criteri regolano anche le due varianti di progetto: una prima soluzione è illustrata in due fogli, uno comprendente le piante del piano terra e del piano primo, in Figura 3, l’altro relativo al prospetto principale, in Figura 4, mentre un secondo progetto alternativo, caratterizzato da lievi variazioni distributive, rappresenta la sola pianta del piano terra, inserita in un’unica tavola grafica. Il progetto rappresentato nei disegni in Figura 3, che recano l’annotazione a matita delle funzioni dei diversi ambienti, si distingue da quanto realizzato principalmente per una diversa organizzazione distributiva, per un maggiore sviluppo del cortile, avente una conformazione quasi quadrata, per l’assenza di una corte aperta in corrispondenza dell’ingresso, nonché per il diverso posizionamento dei corpi scala. Ulteriori differenze riguardano il prospetto principale, articolato su due elevazioni, per il quale vennero proposte due soluzioni accostate nel

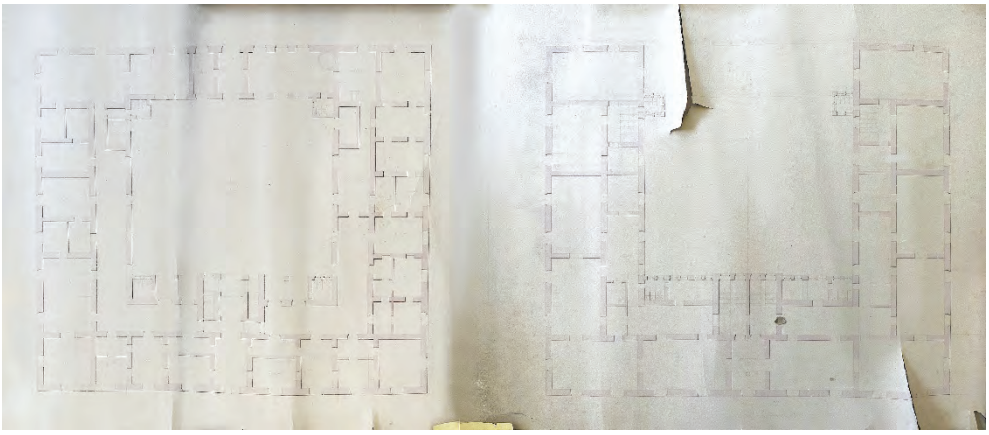


Fig. 3 - Sciuto-Patti: Progetto di Spedale Medico per la città e mandamento di Giarre, piante del piano terra e del primo piano, progetto alternativo 1866 (Biblioteca Zelantea. Archivio Sciuto-Patti, C.038.1-85223).

Fig. 4 - Sciuto-Patti: Progetto di Spedale Medico per la città e mandamento di Giarre, prospetto principale, progetto alternativo, 1866 (Biblioteca Zelantea. Archivio Sciuto-Patti, C.038.5-85227).

medesimo foglio, e qualificato da un'accentuazione del partito centrale, sia in corrispondenza del portale che del soprastante balcone, configurati in forme classiche.

Conclusioni

L'ospedale di Giarre venne inaugurato nel 1876 e, nonostante l'aspetto attuale della fabbrica, in Figura 5, rifletta in larga parte il progetto di Sciuto-Patti, nel tempo sono state eseguite molteplici opere di adeguamento e ristrutturazione, che ne hanno parzialmente alterato la *facies* originaria, soprattutto relativamente agli aspetti distributivi. Tra gli interventi attuati possono essere ricordati lo spostamento della cappella dal primo piano al piano terra, l'eliminazione del giardino per la creazione di una strada di attraversamento e l'adeguamento funzionale degli spazi interni alle nuove destinazioni d'uso. Ulteriori trasformazioni hanno riguardato il contesto urbano, originariamente caratterizzato da un'area scarsamente edificata, poi inglobata nel tessuto edilizio sviluppatosi durante il corso del XX secolo.

L'edificio rimase in uso per circa cento anni, poiché il crescente sviluppo demografico di tutto l'hinterland rese necessaria la costruzione di un nuovo nosocomio, i

Fig. 5 - Giarre, Ospedale San Giovanni di Dio e Sant’Isidoro, prospetto principale.

cui lavori iniziarono nel 1969. Dal settembre 2001 l’ospedale ottocentesco, a seguito del trasferimento dei pazienti in un nuovo complesso ubicato in via Forlanini, è stato utilizzato come sede intercomunale dell’Azienda Unità Sanitaria n°3 Catania, Distretto di Giarre.

Sebbene la soluzione elaborata da Sciuto-Patti non si distingua per il carattere innovativo, continuando a perpetuare il tradizionale modello tipologico a blocco isolato con cortile interno, è da rilevare come il progetto scaturisca da riflessioni legate al dibattito del tempo, attestando il tentativo di adeguamento del progettista alle moderne istanze igieniste. La fabbrica, inoltre, con la sua severa monumentalità rappresenta uno degli esempi più significativi di architettura ospedaliera del XIX secolo nell’area del catanese.

Ringraziamenti

Questo contributo rientra nel 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.

Fonti archivistiche

Acireale, Accademia di Scienze, Lettere e Belle Arti degli Zelanti e dei Dafnici, Archivio Carmelo Sciuto-Patti, elaborati grafici ai segni C.038 nn. 85223, 85224, 85225, 85226, 8522.

Bibliografia

Alberghina M. 2010. *Medici e Medicina a Catania. Dal Quattrocento ai primi del Novecento*, Catania: Maimone.

Barbagallo Coco P. 1980. *Giarre e la sua storia: dalle origini ai nostri giorni*. Catania: Tipolitografia Pino.

Campisi T., Fatta G. 2004. The sustainability in sanitary buildings between the XIX and the early XX century: new typologies, hygiene, public health. In: *Proceedings of Sustainability of the Housing Projects*. Proceedings (a cura di O. Ural, A. Frattari, R. Albatici). Trento: Università di Trento Editore, articolo su DVD.

Cavallaro M.C. 2016. *La Contea di Mascali e le città di Giarre e Riposto*. Giarre: EBS Print.

Cheymol J., Cesar R.J. 1977. Hotel-Dieu de Paris: Treize siècles d'histoire... panégyrique ou réquisitoire, comunicazione alla Société française d'Histoire de la médecine (26 novembre 1977). Histoire des sciences medicale, 11, 7.

Freschi F. 1857-1860. *Dizionario di igiene pubblica e di polizia sanitaria ad uso dei medici e dei magistrati dell'ordine amministrativo: con tutte le leggi, regolamenti, circolari, rapporti e progetti pubblicati in materia sanitaria negli stati sardi, e in altri stati italiani, e con numerose tavole statistiche*. Torino: G. Favale e C.

Grassi M. 1865. *Relazione storica e osservazioni sulla eruzione etnea del 1865 e su' tremuoti flegrei che la seguirono*. Catania: Galatola Crescenzio.

Mercurio G.A. 1851. *Saggio sulla topografia medica della Contea di Máscali*. Catania: Giuntini.

Morandotti M., Savorra M. 2021. La città e la cura: spunti di riflessione tra ricerca storica e intreccio di saperi. In: *La città e la cura. Spazi, istituzioni, strategie, memoria* (a cura di M. Morandotti e M. Savorra). 25-44. Torino: Aisu International.

Papa G. 1991. *Giarre sparita: passato senza segreti (1815-1900)*. Giarre: Bracchi.

Percolla V. 2015. Carmelo Sciuto-Patti architettura, ricerca, rappresentazione. In: *Carmelo e Salvatore Sciuto-Patti. Archivi di Architettura tra' 800 e '900* (a cura di F. Caffo). 49-81. Palermo: Regione siciliana, Assessorato dei beni culturali e dell'identità siciliana, Dipartimento dei beni culturali e dell'identità siciliana.

Sessa E. 1989. Manicomi, Sanatori, Ospedali. In: G. Pirrone, *Palermo una capitale. Dal Settecento al Liberty*, 194-197. Milano: Electa.

Sciuto-Patti C. 1867a. Progetto di spedale medico per la città e mandamento di Giarre provincia di Catania. Giornale dell'Ingegnere, Architetto ed Agronomo, XV, 153-165.

Sciuto-Patti C. 1867b. *Progetto di spedale medico per la città e mandamento di Giarre provincia di Catania*. Milano: Tipografia degli Ingegneri.

Scotti A. 1984. Malati e strutture ospedaliere dell'età dei Lumi all'Unità. In: *Storia d'Italia, Annali 7, Malattia e medicina*. 235-296. Torino: Giulio Einaudi editore.

Silvestri O. 1865. Relazione sopra I terremuoti dell'Etna. Giornale della Provincia di Catania, 57.

Silvestri O. 1866. Sulla eruzione dell'Etna nel 1865. Studi geologici e chimici. Atti della Società italiana di scienze naturali, 50-67.

Silvestri O. 1867. I fenomeni vulcanici presentati dall'Etna nel 1863-64-65-66, considerati in rapporto alla grande eruzione del 1865. Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze naturali, s.III, 53-319.

Sorge G. 1940. *Lineamenti di storia dell'ospedalità civile catanese*. Catania: Officina grafica moderna Impegnoso & Pulvirenti.

Vernois M. 1860. *Traité pratique d'hygiène industrielle et administrative, comprenant l'étude des établissements insalubres, dangereux et incommodes.* Paris: J.B. Baillière.

Giovanni Bellucci

Giuseppe Cigni e il rapporto tra ingegneria e architettura. Progetti e scritti di un progettista del secondo Novecento

Giuseppe Cigni and the link between engineering and architecture. Works and writings of a designer of the second half of the 20th century

Sommario
La figura professionale di Giuseppe Cigni è stata finora poco esplorata dalla critica e a tutt'oggi manca uno studio esaustivo su questo progettista del secondo Novecento. La laurea in architettura conseguita a Firenze nel 1953 con Adalberto Libera precede lo spostamento a Roma, dove l'architetto toscano sperimenta fin dai suoi primi incarichi composizioni volumetriche di grande modernità in cui convergono in perfetto equilibrio creatività formale e conoscenza tecnologica. Le palazzine residenziali costruite nella capitale consentono al progettista di elaborare, grazie al sapiente utilizzo del calcestruzzo armato, volumi di notevoli qualità plastiche e dettagli accurati mixando peculiarità tecnico-compositive che saranno ancora più sviluppate in progetti di maggiore levatura che porterà a termine nel corso della lunga collaborazione professionale, intrapresa dalla seconda metà degli anni Cinquanta, con Gaetano Minnucci. La coppia di progettisti collaborerà con continuità per oltre un ventennio a decine di opere sia a Roma che in altri contesti del centro Italia e, nonostante il nome di Minnucci in molti casi abbia messo in secondo piano quello di Cigni, le abilità di quest'ultimo emergono con chiarezza studiando sia gli elaborati progettuali che le opere costruite. A tutto questo si aggiunge la brillante carriera accademica che vedrà Cigni per molti anni titolare del corso di Consolidamento degli edifici alla Facoltà di Architettura dell'Università di Roma, a Valle Giulia, aggiungendo un tassello fondamentale alla preparazione tecnica degli studenti che ancora oggi possono fare riferimento ad alcune delle sue numerose pubblicazioni sul tema del recupero edilizio e dell'utilizzo di tecniche e materiali speciali per il restauro dei monumenti.

Abstract
Giuseppe Cigni was a designer of considerable ability who realised projects that have so far been little analysed by critics that a comprehensive study of this charismatic representative of Italian architecture and engineering in the second half of

the 20th century is still lacking. His degree in architecture from Florence in 1953 with Adalberto Libera preceded his move to Rome, where the Tuscan architect was able to experiment with very modern volumetric compositions from his first commissions. The various residential buildings constructed in the capital allowed the designer to elaborate, thanks to the skillful use of reinforced concrete, volumes of remarkable plastic quality and accurate details, mixing technical and compositional peculiarities that would be even more developed in the larger projects that he would complete during the long professional collaboration undertaken in the second half of the 1950s with the better-known engineer Gaetano Minnucci. The pair of designers would collaborate uninterruptedly for more than twenty years on dozens of works both in Rome and in other contexts in central Italy and, although Minnucci's name in many cases overshadowed Cigni's, the latter's skills clearly emerge both in the design drawings and in the works completed. Added to all this is the brilliant academic career that saw Cigni for many years in charge of the Building Consolidation course at Valle Giulia, adding a fundamental piece to the technical preparation of architecture students who can still today refer to some of his numerous publications on the subject of the use of techniques and materials for the restoration of monuments.

Introduzione

L'elenco di progettisti italiani che nel corso del Novecento hanno avuto un ruolo tutt'altro che trascurabile, per la capacità dimostrata dal punto di vista professionale o per il contributo dato al progresso scientifico delle diverse aree dell'architettura e dell'ingegneria, è molto nutrito. Questa straordinaria ricchezza di figure attive in particolare nel secondo Novecento è uno dei motivi per cui a oggi sono state studiate le biografie e approfondite dal punto di vista critico le opere solo di una parte dei protagonisti acclarati della storia contemporanea, mentre manca all'appello la maggioranza dei loro comprimari o di coloro che, pur avendo collaborato in modo significativo al fianco dei cosiddetti maestri, sono rimasti nell'anonimato.

Un caso emblematico in tal senso è certamente quello rappresentato dall'architetto Giuseppe Cigni (Briganti e Mazza, 2010, pp. 157-159), figura carismatica ma finora poco indagata, nonostante abbia avuto un ruolo non marginale in particolare nell'ambito romano, con opere costruite di notevole interesse affiancate da una carriera accademica di altrettanto spessore. Nato a Siena il 1° ottobre 1927, Cigni si laurea in architettura a Firenze nel 1953 con una tesi progettuale di cui è relatore Adalberto Libera (1903-1963), con il quale collaborerà negli anni a seguire spostandosi dalla Toscana a Roma[1]. Nella capitale entra in contatto con Gaetano Minnucci (1896-1980), grande amico di Libera e altra figura di riferimento per la storia dell'architettura italiana del Novecento e dalla fine degli anni cinquanta i due progettisti costituiscono un sodalizio professionale che sarebbe durato per oltre due decenni (Bellucci, 2023, pp. 191-237). Libera e Minnucci hanno dunque rappresentato per Cigni da un lato l'occasione per

cimentarsi fin da giovane con commesse di notevole rilievo[2] (Musmeci, 1976; Pogacnik, 2007), ma dall'altro, in particolare nel prolungato arco temporale trascorso al fianco di Minnucci, il suo nome è rimasto spesso nell'ombra e il suo reale valore sottaciuto come il contributo dato alla definizione di molti progetti. Infatti, se quello con Libera può rientrare pienamente nell'ambito dei rapporti maestro-allievo, quello tra Minnucci e Cigni, pur iniziando di fatto come tale, evolve rapidamente in un dialogo sostanzialmente paritario tra due professionisti di diverse generazioni che ha lasciato a entrambi ampia libertà d'azione e quindi la possibilità di portare a termine incarichi anche in modo indipendente. Questa è un'opzione percorsa in più frangenti da Cigni, che in forma autonoma lavora a diversi progetti in particolare sul tema residenziale, firmando i disegni di numerose palazzine e villini costruiti a Roma e in aree limitrofe.

L'attività di Cigni in ambito residenziale e nel restauro degli edifici

L'approccio evidente in tutti questi progetti lascia emergere in particolare, oltre la funzionalità e il rigore delle soluzioni spaziali, l'attenzione per gli aspetti strutturali, che emergono in maniera inequivocabile dalle ardite soluzioni scelte, e per i dettagli messi in opera, nel tentativo di nobilitare il tema tipologico della palazzina in quegli anni troppo spesso banalizzato e sminuito sia dai progettisti che dai costruttori per meri fini speculativi. Per questo motivo i complessi residenziali commissionati dalla cooperativa Miralago II costruiti tra il 1955 e il 1958, in Figura 1, o il coevo condominio in via Asmara, in Figura 2, oppure le palazzine di viale Libia emergono rispetto alla media delle realizzazioni coeve per gli aggetti dei balconi d'angolo, la potenza dei telai portanti lasciati senza ambiguità a vista e la composizione generale dei prospetti in cui l'utilizzo del calcestruzzo armato denota la scelta di un linguag-

Fig. 1 - Giuseppe Cigni: palazzina al quartiere EUR, prospettiva. Roma 1955-1958.

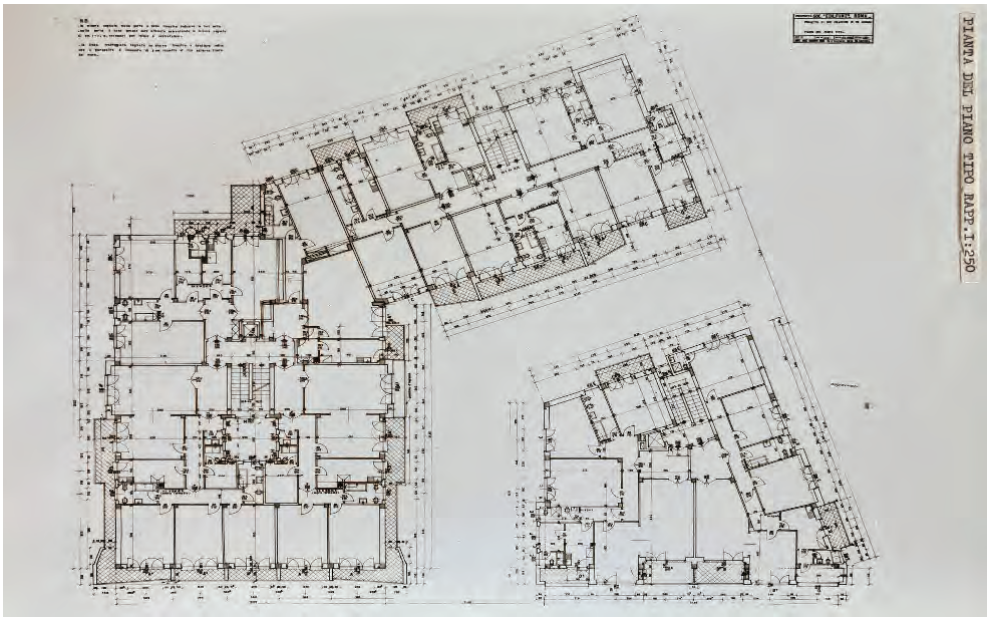


Fig. 2 - Giuseppe Cigni: palazzine in via Asmara, pianta del piano tipo. Roma 1957-1958.

gio di evidente modernità. I disegni di tutti questi progetti, come quelli realizzati nel resto della carriera da Cigni, mettono in mostra la sua straordinaria abilità grafica, dote che lo porterà a cimentarsi in più occasioni anche con rappresentazioni figurative, con il rilievo dei monumenti o con la rappresentazione di interi brani di città tra cui in particolare l'amata Siena, del cui Duomo in Figura 3 è riportata una prospettiva della navata mai completata.

Iscritto all'albo degli architetti di Roma dal 20 giugno 1961 con matricola 1379, Cigni trova molte occasioni di lavoro e vivo interesse anche per il tema del restauro e la riqualificazione materica e strutturale degli edifici storici e monumentali. Questo ambito, quasi completamente assente nei pur copiosi elenchi di opere firmate sia da Libera che da Minnucci, vede invece impegnato con continuità, fin dal suo arrivo nella capitale, l'architetto senese che assume progressivamente nel corso del tempo incarichi di sempre maggiore impegno e prestigio. Da ricordare in tal senso tra il 1962 e il 1963, la collaborazione agli interventi di restauro della Cattedrale di San Marco a Venezia, con particolare riferimento al risanamento dall'umidità delle opere fondali e delle murature della zona absidale[3], e alla fine degli anni Settanta la ricerca compiuta per conto del Laboratorio per lo studio delle grandi masse del C.N.R. e dell'Università di Venezia sullo stato delle murature di palazzo Bollani[4]. A Roma negli stessi anni coordina il progetto di riqualificazione edilizia dei complessi delle

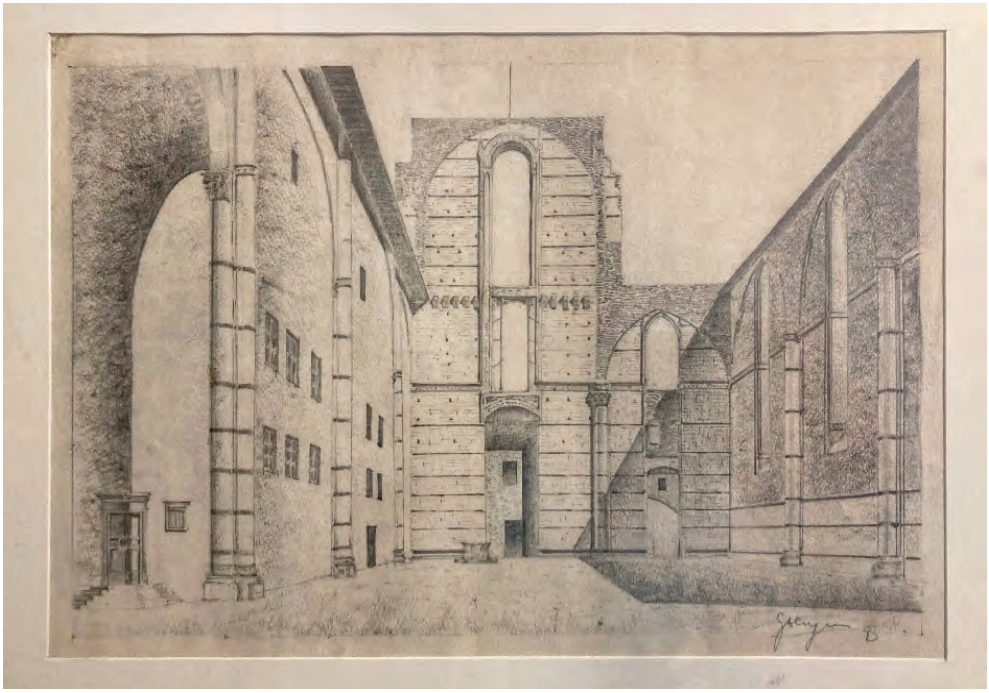


Fig. 3 - Giuseppe Cigni: prospettiva della navata mai completata del duomo di Siena. Matita e carboncino su carta, s.d.

caserme del demanio militare comprese tra viale Pretoriano e via Marsala, mentre nel 1977 è tra i soci fondatori dell'ASSIRCCO, l'Associazione Italiana Ristrutturazione e Consolidamento Costruzioni.

Su questi temi, evidentemente più affini alla progettazione strutturale rispetto a quella architettonica-compositiva, Cigni baserà buona parte della sua ricerca scientifica che dai primi anni sessanta lo vede protagonista in ambito accademico a seguito della pubblicazione di un lungo elenco di volumi dedicati alle modalità di intervento strutturale sugli edifici storici e il recupero dell'esistente con materiali e tecniche innovative. Tra tutti ricordiamo per le edizioni Kappa di Roma "Consolidamento e ristrutturazione dei vecchi edifici. Problemi tecnico-costruttivi del 1976", che dato il successo viene ristampato in una seconda edizione nel 1980, e anche "Il consolidamento murario. Tecniche d'intervento", dato alle stampe nel 1978. In merito ai contenuti Cigni palesa la conoscenza e la padronanza delle teorie scientifiche alla base della meccanica dei solidi, della scienza delle costruzioni e della scienza dei materiali e completa le pubblicazioni con dettagliate modalità d'intervento frutto innanzi tutto della sua esperienza diretta sui cantieri. La ricerca di Cigni su questo ambito si spinge ad approfondire anche temi più specifici o monografici, come ad esempio

quello sul ripristino delle travi in legno, incarico portato a termine su richiesta e con i fondi del C.N.R. alla fine degli anni Settanta in collaborazione con i colleghi R.O. Amato, P. Chigi, U. Perrone, P. Rocchi, tema su cui verrà pubblicato nel 1981 il volume monografico "Nuove tecniche di consolidamento di travi in legno".

Queste e molte altre pubblicazioni segnano in positivo la carriera accademica di Cigni a Valle Giulia; introdotto da Minnucci come assistente volontario al corso di "Elementi costruttivi" già dall'anno accademico 1957-1958, collabora alle attività didattiche anche nei corsi tenuti da Saul Greco (1910-1971) come assistente ordinario. Tra le tante vicende che lo vedono coinvolto nei primi anni della sua attività di ricerca a Valle Giulia e da lui stesso descritte in una puntuale relazione, è il sopralluogo a Gibellina svolto nel 1970 all'indomani del terremoto del Belice, in cui l'architetto senese ha guidato alcuni studenti della Facoltà, tra cui i componenti del noto gruppo degli "Uccelli". Partiti in treno dalla capitale si imbarcano a Napoli alla volta di Palermo dove la mattina successiva, con un'auto presa a noleggio e un furgone regalato ai giovani "contestatori" romani dall'artista Giacomo Manzù (1908-1991), dopo due ore di viaggio raggiungono la baracca degli alloggi e prendono amara visione di come, a oltre due anni dal terremoto, quasi nulla è stato fatto (Cigni, 1971). Cigni annota, quasi con sorpresa, che l'accoglienza riservata ai giovani studenti è ottima probabilmente proprio per le imprese fatte in passato e per la vicinanza di intenti rispetto al tipo di ricostruzione auspicata per quei luoghi, poi completamente disattesa nei fatti dalle decisioni prese dai vertici politico-tecnici[5]. Libero docente dal 1971 a seguito del Decreto Ministeriale n. 15/6/1971, Cigni dall'anno accademico 1972-1973 e per i successivi vent'anni è professore incaricato e poi associato di Consolidamento e adattamento degli edifici, corso afferente all'Istituto di Scienza e tecnica delle costruzioni della Facoltà di Architettura all'epoca diretto dall'ingegnere Carlo Cestelli Guidi (1906-1995).

La collaborazione con Gaetano Minnucci

Il sodalizio professionale tra Cigni e Minnucci segna per oltre un ventennio la biografia dei due progettisti e porta alla realizzazione di decine di opere tra cui edifici industriali, complessi per uffici, poli ospedalieri, edifici scolastici di vario tipo, nonché palazzine residenziali e piani regolatori. Fin dall'esordio il connubio Minnucci-Cigni dimostra una perfetta intesa, ravvisabile in particolare nella capacità di gestione dei progetti di maggiore complessità dove Cigni non si lesinò nello sperimentare soluzioni tecniche e progettuali di notevole interesse. Particolarmente importante appare in tal senso dalla fine degli anni cinquanta la nuova sede del ministero della Marina mercantile, completato nel 1967, in Figura 4. L'edificio, progettato in collaborazione con gli ingegneri Silvio Colombini e Bruno Conti, è funzionalmente organizzato in tre parti con volumetrie marcatamente orizzontali, in modo da avere su ogni piano, in particolare nel corpo di fabbrica maggiore destinato agli uffici lungo quasi 210 metri, tutti gli spazi di uno stesso compartimento per limitare i continui cambi di piano agli impiegati. La parte più

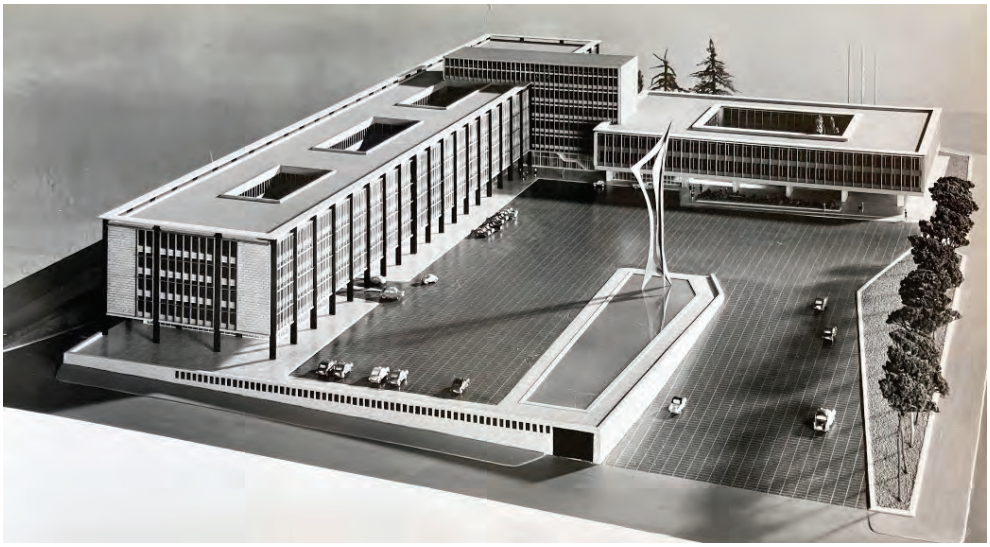


Fig. 4 - Gaetano Minnucci e Giuseppe Cigni: sede del Ministero della Marina Mercantile, maquette. Roma 1958-1967.

interessante del progetto è quella del volume quadrangolare con il grande cortile centrale in quanto, a causa della inconsistenza meccanica del terreno, i progettisti scelgono di mettere in opera un telaio strutturale misto in calcestruzzo e acciaio, in Figura 5, una soluzione tecnica certo non ordinaria nell'Italia di quegli anni e sulla quale Cigni aveva sicuramente inciso sia sulla scorta di una coeva pubblicazione (Cigni, 1961) che su quanto avrebbe scritto anche in seguito (Cigni, 1968).

Altrettanto indicativo per definire le abilità di Cigni nelle questioni inerenti gli aspetti strutturali degli edifici e decisivo in senso positivo per lo studio Minnucci-Cigni risulterà essere il progetto del policlinico Agostino Gemelli, in Figura 6, integrato con la sede della facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università Cattolica del Sacro Cuore. A partire dal conferimento dell'incarico nella primavera 1961 fino all'estate 1985, quindi cinque anni dopo la morte di Minnucci con Cigni che seguirà la progettazione e il cantiere degli ultimi comparti, si darà compimento a uno dei complessi ospedalieri più grandi d'Europa, capace di ospitare oltre 1.500 degenti per un volume totale di circa 700.000 metri cubi. La sfida vede Minnucci e Cingi, qui in collaborazione con l'ingegnere Anselmo Poma, impegnati soprattutto nel cercare di garantire la coesistenza di tre differenti funzioni, separate e al contempo strettamente connesse tra loro: gli spazi per la ricerca scientifica, quelli per l'attività didattica e quelli di degenza ospedaliera. Il risultato conseguito avrà notevole riscontro, tanto che Minnucci e Cigni, oltre a lavorare a incarichi per altri ospedali romani, saranno inviati a partecipare a progetti-concorso sia in Italia fra il 1977 e il 1978, ad esempio

Fig. 5 - Gaetano Minnucci e Giuseppe Cigni: sede del Ministero della Marina Mercantile, cantiere, novembre 1965. Roma 1958-1967.

Fig. 6 - Gaetano Minnucci e Giuseppe Cigni, policlinico universitario Agostino Gemelli, Roma 1961-1985, vista esterna.

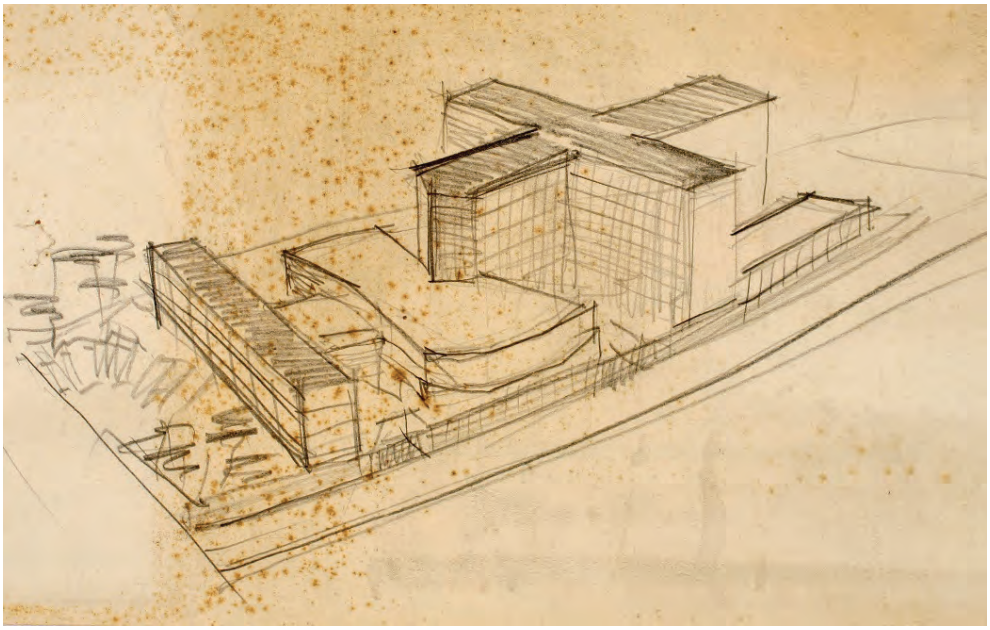


Fig. 7 - Gaetano Minnucci e Giuseppe Cigni: nuova sede della facoltà di Economia e Commercio, schizzo di progetto. Roma 1961-1965.

a quello bandito nella città di Jesi che all'estero, in particolare nel 1973 a Lisbona e Coimbra, in collaborazione con lo studio Valle e la società di costruzioni Condotte, dove Minnucci e Cigni sono invitati a partecipare a due conferenze e presentare le loro relazioni sul tema degli edifici ospedalieri.

Il terzo grande cantiere romano portato a termine in quegli anni ha per oggetto la nuova sede della facoltà di Economia. L'edificio risulta evidentemente impostato su una logica funzionalista che prevede l'articolazione del complesso universitario in tre volumi visibilmente differenziati disposti in sequenza: il blocco lamellare con gli uffici e gli spazi di rappresentanza posto in diretta contiguità con l'accesso principale in via del Castro Laurenziano, la parte caratterizzata da una forma a losanga che rimanda a riferimenti organici posta al centro della composizione con le aule per le lezioni, l'aula magna e la hall e infine il volume con le sedi dei dipartimenti e degli uffici dei docenti caratterizzato da una pianta a doppio asse ortogonale, in Figura 7. Qui in particolare, ancora più che nei progetti finora analizzati, è percepibile il contributo di Cigni alla genesi del progetto; in particolare colpisce l'ardita articolazione dei corpi di fabbrica oltre che della soluzione degli spazi interni, che difficilmente può essere rintracciata nelle architetture della pur avanguardista e coraggiosa attività giovanile vissuta da Minnucci negli anni Venti e Trenta.

È altresì da rilevare l'ardita struttura in calcestruzzo armato a sostegno dell'aula magna data dall'accostamento di setti rastremati, travi a sbalzo e pilastri in falso ascrivibili alla vena creativa del giovane Cigni che in questa fase non ha ancora compiuto quarant'anni. Allo stesso modo esemplare per la logica e la razionalità degli aspetti strutturali e per la razionalità dell'impianto planimetrico è anche uno degli ultimi incarichi a cui lavorano insieme Minnucci e Cigni questa volta a Jesi, nelle Marche. La commessa arriva dalla Banca Popolare delle Province di Ancona e Macerata, che aveva già affidato allo studio il progetto della sede della filiale di Fabriano[6], una cui vista è mostrata in Figura 8. La richiesta del progetto questa volta è per un centro direzionale in cui avrebbero dovuto essere allocati, oltre agli uffici amministrativi dell'Istituto di credito, anche un complesso sistema di catalogazione e immagazzinamento dei dati tramite schede perforate supportate da un impianto ibrido in parte di tipo meccanico e in parte elettronico con le prime applicazioni di un sistema computerizzato. Qui l'architetto toscano è protagonista ancor più che nei progetti precedenti non solo per la regia in fase di progettazione, ma soprattutto perché dalla fine degli anni Settanta governa in prima persona l'esecuzione del complesso cantiere.

I prospetti di quest'ultimo progetto, contraddistinti dalla ripetizione ritmata dei montanti verticali in cui si alternano i filanti elementi in lega leggera color bron-

Fig. 8 - Gaetano Minnucci e Giuseppe Cigni: centro direzionale Esagono per la Banca Popolare di Ancona e Macerata, vista del complesso. Jesi 1976-1984.

zo e i pilastri in calcestruzzo, ben sintetizzano l'essenza del disegno che Minnucci aveva iniziato a utilizzare dai primi anni Cinquanta e che Cigni ha ereditato con piena consapevolezza. Da segnalare ancora una volta, come nella sede ministeriale all'EUR, la scelta di mettere in opera una struttura mista in calcestruzzo e acciaio, quest'ultimo utilizzato per le travi reticolari a sostegno della copertura di una delle ali del complesso in cui trova posto all'ultimo piano l'archivio rotante, imponente macchinario il cui funzionamento implicava una luce libera di oltre 15 metri senza pilastri intermedi. Dopo la morte di Minnucci il 1° maggio 1980, l'attività di Cigni continua sia con il completamento dei cantieri romani che marchigiani oltre che con nuove commesse sia nel Lazio che nelle Marche. Qui in particolare proseguono i lavori per conto della Banca Popolare delle Provincie di Ancona e Macerata che affida all'architetto toscano il progetto di una serie di piccole filiali ultimate nei primi anni novanta che, oltre al nuovo volume previsto in località Monterado, vedono in particolare Cigni attivo sul tema del restauro e in particolare sul seicentesco palazzo Marcolini di Senigallia che dai primi anni Novanta diverrà una delle sedi più rappresentative della Banca Popolare di Ancona[7].

Conclusioni

Questa breve biografia, certamente non esaustiva rispetto alla vivace attività professionale e ai poliedrici interessi che Giuseppe Cigni ha portato avanti fino alla sua scomparsa nel 1996, evidenzia le capacità di una straordinaria generazione di progettisti. Le opere di Cigni, come quelle di molti altri suoi colleghi a oggi parimenti misconosciuti, dimostrano la capacità di progettisti perfettamente a loro agio tra esigenze creative e preparazione tecnica. Ritengo utile rimarcare in particolare quest'ultimo punto che nel caso di Cigni ha avuto notevole rilievo sia nella sua carriera accademica che professionale, profondo conoscitore delle questioni strutturali connesse sia al restauro che alla nuova edificazione di edifici. Questo tema è particolarmente evidente scorrendo l'elenco delle opere qui presentate e anche di altre che per ragioni di spazio non è stato possibile illustrare. Cigni, come altre figure professionali attive in Italia nei decenni passati, garantiva questa interdisciplinarità professionale e culturale di cui oggi si avverte sempre più la mancanza. In conclusione Giuseppe Cigni è stato certamente una figura a tutto tondo che meriterebbe oggi, a una distanza storica sufficientemente ampia, un più approfondito studio monografico anche in confronto con altre coeve figure professionali, analisi biografica e critica del tutto auspicabile vista soprattutto la disponibilità del prezioso e ricco archivio oggi custodito dalla famiglia.

Ringraziamenti

Ringrazio sentitamente la famiglia di Giuseppe Cigni che ha generosamente condiviso i materiali d'archivio legati all'attività professionale e accademica e gli aneddoti più significativi che hanno contraddistinto la vita dell'architetto senese.

Bibliografia

Bellucci G. 2023. *Gaetano Minnucci (1896-1980). Vita, opere e scritti*. Wuppertal: Steinhäuser Verlag.

Briganti P., Mazza A. (a cura di). 2010. *Roma Architetture Biografie 1870-1970*. Roma: Prospettive.

Cigni G. 1961. *Dispositivi strutturali negli edifici per uffici*. Roma: Edizioni dell'Ateneo.

Cigni G. 1968. *La struttura metallica negli edifici pluripiano*. Roma: Edizioni dell'Ateneo.

Cigni G. 1971. *Le zone terremotate della valle del Belice. Indagine tecnica per le futura ricostruzione*. Roma: Istituto di Tecnologia dell'Architettura.

Cigni G. 1976. *Consolidamento e ristrutturazione dei vecchi edifici. Problemi tecnico-costruttivi.* Roma: Edizioni Kappa.

Cigni G. 1977. *Murature degradate dall'umidità e dell'inquinamento ambientale. Protezione e interventi di risanamento*. Roma: Edizioni Kappa.

Cigni G. 1978. *Il consolidamento murario. Tecniche d'intervento*. Roma: Edizioni Kappa.

Cigni G. 1981. Nuove tecniche di consolidamento di travi in legno. Roma: Edizioni Kappa.

Musmeci S. 1976. Rapporto tra struttura ed architettura nell'ultima esperienza dell'architetto Libera: il palazzo della Regione a Trento. L'industria italiana del cemento, 4, 237-250.

Pogacnik M. (a cura di). 2007. *Adalberto Libera Sergio Musmeci. Il palazzo della Regione a Trento. Tra antico e decoro e nuove figure strutturali*. Rovereto: Nicolodi.

Note

[1] La scuola fiorentina, dopo il traumatico addio di Giovanni Michelucci nel 1948, poteva contare in quegli anni oltre che su Adalberto Libera, arrivato a Firenze proprio nel 1953, anche su Roberto Papini, Raffaello Fagnoni, Giuseppe Giorgio Gori, Italo Gamberini.

[2] Ricordiamo in particolare, dai materiali dell'archivio privato dell'architetto Cigni, il primo premio al concorso per il palazzo del Governo della regione Trentino Alto Adige del 1954, progettato da Libera con il giovane ingegnere Sergio Musmeci.

[3] L'incarico porterà qualche anno alla pubblicazione di un volume monografico sul tema edito per i tipi Kappa di Roma (Cigni, 1977).

[4] I risultati di questo incarico verranno presentati in occasione del convegno dal titolo "Giornata del mattone" tenuto alla fondazione Cini di Venezia il 22-23 ottobre 1979.

[5] Gli Uccelli, guidati da Paolo Ramundo che Cigni nella relazione descrive al pari di Adachiara Zevi come l'animatore del gruppo, erano già stati nelle zone colpite dal sisma e in particolare pochi mesi dopo le scosse del gennaio 1968 misero in scena il celebre sbarco a Marsala con un barcone per poi guidare i terremotati nell'occupazione simbolica degli uffici della Regione.

[6] Per questa stessa tipologia di edifici Minnucci e Cigni firmano insieme anche il progetto della sede dell'Istituto Romano Beni Stabili, poi acquisito dalla Banca d'IItalia, realizzata tra il 1956 e il 1959 in via Milano a Roma e quello della sede provinciale della Banca d'Italia a Pesaro tra il 1961 e il 1966.

[7] A Roma Cigni lavora nei primi anni Ottanta al progetto di restauro di una parte del complesso di San Salvatore in Lauro, storica sede del Pio Sodalizio dei Piceni.

Giuliana Ricciardi

Affreschi di vita benedettina nel chiostro del Platano a Napoli: interventi novecenteschi per la risoluzione del problema dell'umidità

Benedectine life's frescoes in Chiostro del platano in Naples: twentieth-century interventions to solve the problem of damp

Sommario
Tra gli anni '50 e gli anni '80 del Novecento il chiostro del Platano nell'ex monastero benedettino dei SS. Severino e Sossio a Napoli è oggetto di interventi di restauro finalizzati al recupero del ciclo pittorico di storie benedettine ivi collocate e degradate principalmente a causa dell'umidità. Negli anni '50, sulla base dei risultati delle analisi chimiche condotte dall'Istituto Centrale del Restauro si decide di ripristinare la chiusura ottocentesca del chiostro con infissi e si interviene sulla muratura sottostante gli affreschi praticando dei fori per favorire l'aerazione. Negli anni '80, per contrastare il fenomeno di risalita capillare dell'acqua, si attua un taglio meccanico orizzontale della muratura con inserimento di uno strato di malta di resina poliestere, che si sovrappone alla lamina di piombo già presente fin dagli anni '20 del Novecento, primo parziale tentativo di risoluzione del problema dell'umidità sulle pareti dipinte.

Abstract
Between the 1950s and 1980s in the Chiostro del Platano of the *Monastero dei SS. Severino e Sossio* in Naples several restorations were carried out with the aim of recovering the Benedictine pictorial cycle placed there. For the first time the problem of damp was analyzed by experts on masonry renovation: it was identified as one of the main causes of frescoes' deterioration. Following the chemical analyzes carried out in the 1950s by the *Istituto Centrale del Restauro* in Rome, the cloister was closed with fixtures again like in nineteenth-century and some holes were drilled in the masonry below the frescoes to promote ventilation. In the 1980s in order to counteract capillary rising damp, a horizontal mechanical cutting was made in the masonry with the insertion of a layer of polyester resin mortar, which overlaps the lead sheet already present since the 1920s, first partial attempt to solve the problem of humidity on the painted walls.

Introduzione

Risale alla prima metà del XVI secolo l'opera pittorica di Antonio Solario, detto Lo Zingaro, che realizza nel monastero benedettino dei SS. Severino e Sossio, oggi sede dell'Archivio di Stato di Napoli, una serie di affreschi sulla vita di San Benedetto. Considerato un esempio rappresentativo di pittura rinascimentale napoletana, il ciclo si sviluppa per un totale di venti scene lungo due lati del chiostro del Platano, edificato nella seconda metà del Quattrocento con arcate aperte verso il giardino e sorrette da singolari pilastri a candelabro, poi chiuse temporaneamente con infissi a metà Ottocento e definitivamente negli anni '50 del secolo scorso per proteggere gli affreschi. Nel corso dei secoli e con il coinvolgimento di varie istituzioni competenti in materia, il ciclo pittorico viene sottoposto a svariati interventi di restauro mediante i quali si tenta di porre rimedio, tra l'altro, al problema dell'umidità.

Gli interventi dell'Accademia di Belle Arti

Fin dagli anni '40 dell'Ottocento l'Accademia di Belle Arti di Napoli inizia a fare dei sopralluoghi per verificare lo stato di conservazione degli affreschi collocati nel chiostro del Platano, proponendo soluzioni per contrastare l'abbandono e il deperimento del ciclo pittorico. Si procede così per la prima volta a chiudere con telai e vetri le arcate aperte sul giardino e a elaborare una stima della spesa occorrente per il restauro, iniziato da Andrea Russo nel 1843 e poi sospeso nel 1844 per mancanza di mezzi[1].

Il problema dell'umidità viene identificato in un rapporto dell'Accademia del 22 marzo 1855, quando, analizzando lo stato di conservazione degli affreschi si afferma che uno straniero «visitando così preziosi oggetti li troverebbe in sì squallido stato esposti alle ingiurie dell'umidità, del sudiciume e quello che più sorprende senza essere custodite» [2].

In un verbale dell'11 gennaio 1856, a nome dell'Accademia di Belle Arti, si sostiene che l'intervento di restauro del pittore Salvatore Fergola era stato attuato su alcuni affreschi senza il suo parere e adoperando la tecnica dell'encausto nella convinzione «che in tal modo si potesse allontanare l'umidità permanente in quella località e che rovina in ragion crescente quei preziosi dipinti» [3]. In questo periodo il chiostro del Platano è ancora utilizzato dai monaci benedettini, che, seppure allontanati fin dal 1799 con i primi provvedimenti di soppressione degli ordini monastici emanati da Ferdinando IV di Borbone, sono riusciti a ritornare nel monastero e a riservare per sé la chiesa con il vicino chiostro.

Gli interventi di Francesco Trinchera, Eugenio Casanova e Riccardo Filangieri

Il chiostro del Platano, in Figura 1, viene incluso definitivamente nel patrimonio demaniale solo con la definitiva soppressione degli ordini monastici del 1861, anno in cui Francesco Trinchera viene nominato Sovrintendente generale degli Archivi delle Province Napoletane, ruolo che manterrà fino al 1874[4].

Fig. 1 - Chiostro del Platano, Napoli: uno dei due lati affrescati del chiostro del Platano nell'ex monastero benedettino dei SS. Severino e Sossio in Napoli (foto dell'Autrice).

A Trinchera va il merito di aver confutato la petizione indirizzata al Parlamento italiano dai monaci benedettini di San Severino «per conservare intatto e per loro uso esclusivo quella parte del Convento che di presente occupano»[5], che, come detto, include anche il chiostro. Trinchera, tra l'altro, nella sua *Relazione* descrive «coperti di polvere, di fango e di muffa, guasti e quasi scancellati» gli affreschi dello Zingaro (Trinchera, 1872, p. 49).

Eugenio Casanova alla guida dell'Archivio di Stato nel primo decennio del Novecento, dal 1907 al 1915, attua alcuni interventi per contrastare il problema dell'umidità: «Mi preoccupò parimenti il tanfo che ammorba l'aria della monumentale sala dei Catasti. Procurai di provvedervi con sfiatatoi e ventilatori; ma invano! Credo che non si riuscirà mai a purificare e prosciugare quell'ambiente, se non se ne scaverà il suolo per costruirvi de' vespai. Tali vespai dovranno pure estendersi al porticato del 3° chiostro o atrio, detto Atrio del platano; ove i celebri affreschi dello Zingaro, già malamente ridotti dalla scempiaggine umana, continuano a deperire, per azione dell'umidità del suolo e delle pareti, sulle quali sono i dipinti. Affinché l'umidità dell'atrio e delle fronde del secolare platano, così detto di s. Benedetto, non unisse l'opera sua deleteria alla precedente, ebbi cura di ottenere dal Ministero di rifare i

telai e le vetrate, che chiudono quel porticato; come, per riparare gli affreschi dagli ardori del sole, il mio predecessore aveva rinnovato le tende a queste numerosissime vetrate» (Casanova, 1910, p. 13).

Entrato in servizio come archivista di Stato a Napoli nel 1911 fino poi a ricoprire il ruolo di soprintendente dal 1935 al 1955, Riccardo Filangieri si distingue subito per la brillante formazione umanistica, ma anche come appassionato di arte napoletana. I suoi studi prima e la sua direzione sono volti non solo all'accrescimento del patrimonio archivistico napoletano, ma anche all'ampliamento degli spazi dell'ex monastero benedettino dei SS. Severino e Sossio e alla tutela delle importanti testimonianze artistiche ivi custodite, tra cui il ciclo di affreschi dello Zingaro. Risale all'agosto del 1919 la fitta corrispondenza tra Filangieri e il soprintendente ai monumenti, gallerie ed oggetti d'arte della Campania, Basilicata e Calabria, sul grave stato di conservazione degli affreschi del Platano e sulla necessità di intervenire seriamente per frenarne il degrado in corso, provvedendo a «rimuovere qualunque invetriata e intelaiatura che possa ostacolare la libera circolazione dell'aria»[6]. Gli infissi, che nel 1912 erano stati modificati con l'inutile provvedimento di apposizione di una grata più alta per favorire l'aerazione dell'ambiente, vengono rimossi. Filangieri, infatti, dispone «la completa apertura delle vetrate per avere l'aerazione necessaria all'eliminazione dell'umidità», seguendo il consiglio del soprintendente che concludeva: «non vi è altro rimedio fuorché levare completamente ogni chiusura, riportando il chiostro al suo stato originale».

Nell'agosto 1919 l'ispettore Macchioro, inviato dalla Soprintendenza ai monumenti per un sopralluogo, decreta che l'umidità proviene dal sottosuolo, soprattutto da sotto i muri, e invita la direzione a fare qualche saggio di approfondimento. Filangieri con grande solerzia segue i consigli dell'ispettore, coinvolgendo alcuni ingegneri incaricati di lavori all'Archivio, per comunicare infine alla Soprintendenza ai monumenti che l'umidità non dipende da infiltrazioni d'acqua. Tutte le misure adottate vengono comunicate nel novembre 1920 anche al Ministero dell'interno, da cui dipende l'Archivio di Stato, «pel caso che credesse opportuno dare, alla sua volta, qualche provvedimento in proposito»[7].

Nel dicembre 1920 finalmente si incarica il «Signor Carlo D'Avino, capo d'opera agli Scavi di Pompei…a presentare concrete proposte per preservare da altri danni gli affreschi»[8]. Filangieri si rivolge contemporaneamente anche al Genio civile di Napoli per ulteriori sondaggi con questo esito: «essendosi fatti gli assaggi a piè del muro tra l'atrio del Platano ed il portico del 2° atrio, è risultato che la condotta dell'acqua del Serino passa a m 2.00 di profondità in cunicolo investito d'intonaco di cemento, rinvenuto perfettamente asciutto. La terra venuta fuori dagli assaggi parimenti non presenta tracce d'umidità tali da poter pregiudicare, a parere di questo ufficio, i muri sotto terra»[9]. Nell'ottobre 1921 l'intervento del restauratore D'Avino ancora non trova attuazione, mentre si accelera il degrado degli affreschi per la polvere derivata da

interventi di demolizione in corso nell'edificio che, mescolata alle piogge, forma un sottilissimo strato duro su alcune pitture, essendo le arcate aperte. Filangieri afferma ancora che «oltre alla causa accidentale dei temporali dei giorni scorsi, contribuisce a mantenere umido l'ambiente lo stato dei canali esterni, che sono tutti rotti, mentre una gran quantità di erbe verdeggia sulla parete esterna del fabbricato, ciò che ha totalmente impregnato d'umidità tutto il muro esterno e parte delle volte del chiostro»[10].

Il restauro avviato probabilmente nei primi mesi del 1922 si conclude nell'ottobre dello stesso anno: questa la sintesi di quanto fatto da D'Avino, che era stato incaricato «di studiare ed attuare un sistema di isolamento delle dette pareti affrescate, che vennero, infatti, munite d'una lamina di piombo a livello di pavimento e per tutto lo spessore del muro; si creò verso il fronte postico di questo una parziale intercapedine con relative feritoie d'aerazione e si applicò sull'intera superficie dei dipinti un abbondante strato di paraffina, per ravvivarne le tinte e col proposito di difendere i medesimi dall'azione dell'umidità» [11]. Ma l'intervento di D'Avino non ha successo: gli affreschi ben presto vengono ricoperti da una sorta di patina, alla quale tenta di porre rimedio il prof. Pasquale Chiariello, rimuovendo la paraffina con l'utilizzo di «un solvente composto di spirito e acqua ragia e con ferri speciali riscaldati per ammorbidire la superficie verniciata»[12].

Nel 1925 è Gino Chierici, soprintendente all'arte medievale e moderna della Campania, a scrivere al Genio civile lamentando lo stato di manutenzione del chiostro del Platano, che nuovamente aggrava il problema dell'umidità: «Basterà dare uno sguardo ai viali dell'orto, irto di rovi e di erbe parassite, per giudicare del resto, in quanto che i viali stessi sono ingombri di calcinacci venuti giù dagli intonachi delle facciate dell'atrio, prive ora di ogni decorazione architettonica. Le grondaie ricoperte di folta vegetazione riversano le acque a stento incanalate sui muri adiacenti, provocando larghi infiltramenti di umidità nelle volte del quadriportico quando già tanto lavoro e danaro si spesero per allontanare quella che minacciava le pitture. Le tendine poste nei vani delle arcate a protezione delle pitture stesse dai raggi solari e dalla polvere giacciono ravvolte su loro stesse ricoperte di fuliggine»[13].

Il problema dell'umidità viene ripreso nel maggio 1937 quando si conclude che «per salvare l'importante opera d'arte non vi è che un rimedio: lo isolamento delle pareti affrescate»[14]. Gli ingegneri Roberto Siano, Benedetto Civiletti e Onofrio Calvanese con l'architetto Oreste Siviero, incaricati di accertare le cause del deperimento degli affreschi dello Zingaro, concludono la loro relazione nell'agosto 1937 proponendo di «affidare l'incarico di una adatta soluzione ad un provetto restauratore che, d'intesa con un chimico di reputata fama e con l'assistenza di funzionari che si occupano della materia e di competenti cultori d'arte, proponga le competenze che il caso richiede»[15].

La questione pare arenarsi nuovamente, probabilmente per la guerra, fino a che non viene rimessa all' Istituto Centrale del Restauro di Roma.

L'intervento dell'Istituto Centrale del Restauro

L'Istituto Centrale del Restauro-ICR viene fondato nel 1939 su progetto di Giulio Carlo Argan e Cesare Brandi, che ne è il primo direttore. Proprio Argan e Brandi, nell'analizzare il caso degli affreschi del chiostro del Platano affermano che occorre innanzitutto rendersi conto delle cause del deterioramento, «se cioè, si tratti di muffa o di salnitro, e se le larghe efflorescenze biancastre si debbano alla paraffina, che fu data agli affreschi; perciò è necessario che venga subito incaricato l'Istituto del Restauro di compiere le ricerche chimiche preliminari»[16], per procedere poi a fare dei «saggi di pulitura e di fermatura del colore, oltre a quelle eventuali provvidenze che le risultanze delle analisi suggeriranno».

L'intervento dell'ICR nella prima fase è volto a trovare un sistema per asportare la cera applicata agli affreschi nei restauri già compiuti. Tuttavia le analisi compiute dal chimico Selim Augusti, direttore dei Gabinetti scientifici dell'Istituto dal 1941 al 1944, rivelano anche che «la causa della formazione delle efflorescenze è dovuta all'eccesso di umidità della parete e dell'ambiente». Al problema della presenza della cera, dunque, si associa subito anche quello dell'umidità, confermato dalla presenza di filamenti di muffe sulle superficie del dipinto, mentre i rigonfiamenti e le screpolature della superficie risultano determinati dall'alternarsi di clima umido e clima secco: «i vari strati di materiali che formano il dipinto hanno subito e subiscono dei processi di idratazione e successiva disidratazione, che costituiscono dilazioni e contrazioni, le quali portano ad una rottura dello stato di equilibrio esistente fra le varie parti del dipinto e lo sottopongono ad un tormento continuo, il cui risultato è la formazione dei rigonfiamenti e successivamente delle screpolature e della caduta dello strato pittorico e dell'intonaco».

Augusti era al corrente dell'intervento realizzato negli anni '20, che tra l'altro avrebbe riguardato soltanto la parete destra, posta al confine con il chiostro Capasso: «Allo scopo di combattere la forte umidità, le pareti su cui sono adagiati gli affreschi sono state negli anni passati, isolate alla base, mediante interposizione di lamine di piombo, e sono stati isolati dal muro retrostante mediante la creazione di intercapedini, che funzionano da camere d'aria. Ma il loro deterioramento è continuato ugualmente, il che dimostra che l'umidità non viene dal basso verso l'alto» (Augusti, 1944-46, p. 3). Il chimico conferma la diagnosi degli ingegneri del Genio civile di Napoli interpellati da Riccardo Filangieri: l'umidità non proviene dal basso, ma è necessario verificare le grondaie, che sono causa di infiltrazione nelle murature. Augusti individua, tuttavia, un nuovo responsabile del fenomeno, il platano, «che viene a costituire un notevole serbatoio di acqua nelle giornate umide e piovose ed una forte sorgente di evaporazione nelle giornate calde ed asciutte»[17]. Il chimico rileva che gli affreschi collocati sulla parete entrando a destra, esposta a mezzogiorno, sono in un migliore stato di conservazione per l'evaporazione più veloce dell'umidità rispetto a quanto avviene a quelli sulla parete sinistra esposta, invece, a ovest; Augusti

identifica, infine, la cera presente sui dipinti come «una concausa del danneggiamento dei dipinti, poiché costituendo sulla loro superficie uno strato impermeabile, che impedisce la normale traspirazione del muro e del dipinto, è venuta ad aumentarne l'umidità e quindi ad accelerare il processo di deterioramento dei dipinti stessi» (Augusti, 1944-46, pp. 4-5). La proposta elaborata dal chimico nel marzo 1942 prevede l'eliminazione della cera e il «distacco degli affreschi dalle pareti, curandone la sistemazione su un supporto più adatto e soprattutto allontanandoli da quel Chiostro del Platano (e per esso da quel platano) che tanto male ha loro prodotto».

Gli eventi bellici in corso rallentano, se non addirittura interrompono, l'attività pratica dell'Istituto, che solo nell'estate del 1949 affronta il problema dell'asportazione della cera, per poi cercare un rimedio al problema dell'umidità.

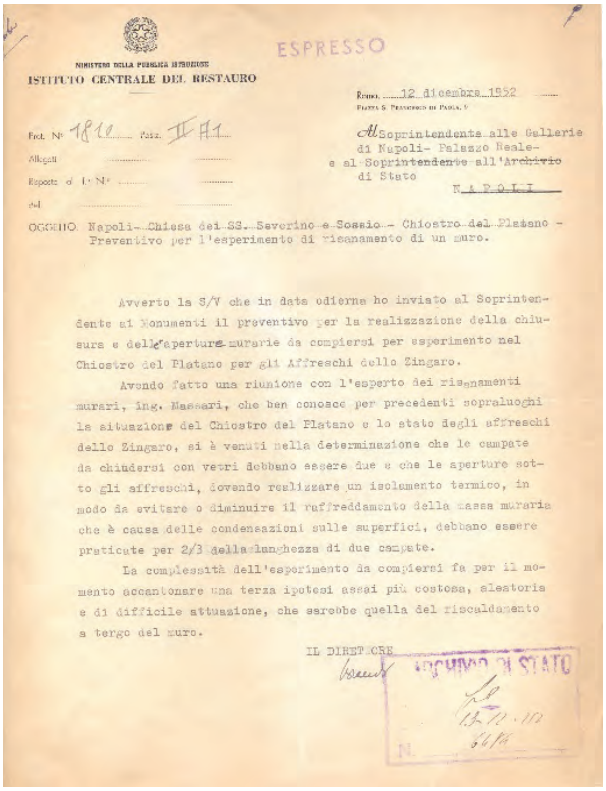
Dalle analisi chimiche condotte da Selim Augusti nel 1942-1944 e nel 1950-1951 risulta che l'umidità che danneggia gli affreschi è solo quella di condensazione e «dato che il muro è sano i soli tentativi sono, o di aprire delle bocche d'aria in basso in modo da impedire l'umidità stagnante oppure tentare di rimettere le vetrate che furono richieste da Domenico Morelli nel 1869 e successivamente ritolte, ma in questo caso di [sic] dovrebbe fare delle prese d'aria dagli altri Chiostri»[18].

Nel giugno del 1952 Cesare Brandi scrive più volte al direttore dell'Archivio di Stato di Napoli, Riccardo Filangieri, per fornire primi consigli pratici volti a ridurre l'umidità dell'ambiente, come rimuovere le piante in vaso nel giardino del platano, in attesa di individuare uno studio tecnico adatto a intervenire.

L'intervento dello studio Massari

Una prima fase di intervento dell'Istituto Centrale del Restauro, negli anni 1950-1951, riguarda l'asportazione della cera dalle scene II, III e IV della parete destra, il cui risanamento dall'umidità è oggetto dell'intervento realizzato tra la fine del 1952 e il 1955.

Il 12 dicembre 1952 Cesare Brandi invia al Soprintendente ai monumenti di Napoli la lettera in Figura 2, riferendo degli esiti dell'incontro con l'ing. Massari, esperto di risanamenti delle pareti umide, con il quale ha considerato l'opportunità di chiudere nuovamente a vetri il chiostro. Per valutare se procedere con tale intervento oppure no è necessario fare un primo esperimento su due campate, procedendo contemporaneamente a praticare delle aperture nel muro sotto gli affreschi. «Tuttavia, poiché tali aperture avrebbero come scopo fondamentale non tanto quello di favorire un cambiamento dell'aria quanto quello di determinare, un isolamento termico del muro portante gli affreschi, le aperture dovrebbero essere fatte per i 2/3 della lunghezza delle due campate»[19]. In questi anni il chiostro del Platano risulta aperto e si propone di sperimentare la chiusura delle arcate verso il giardino corrispondenti ai due affreschi già restaurati, cioè la II e la III. Due anni più tardi, a chiusura evidentemente realizzata, Brandi scrive nuovamente al soprintendente ai monumenti di Napoli, Antonino Rusconi, per confermare l'efficacia dell'intervento realizzato e per



ESPRESSO

MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE
ISTITUTO CENTRALE DEL RESTAURO

Roma, 12 dicembre 1952
Piazza S. Francesco di Paola, 9

Prot. N° 1810 Pass. II A1
Allegati
Risposta al L. N°
del

Al Soprintendente alle Gallerie di Napoli- Palazzo Reale- e al Soprintendente all'Archivio di Stato
NAPOLI

OGGETTO: Napoli- Chiesa dei SS. Severino e Sossio - Chiostro del Platano - Preventivo per l'esperimento di risanamento di un muro.

Avverto la S/V che in data odierna ho inviato al Soprintendente ai Monumenti il preventivo per la realizzazione della chiusura e delle aperture murarie da compiersi per esperimento nel Chiostro del Platano per gli Affreschi dello Zingaro.

Avendo fatto una riunione con l'esperto dei risanamenti murari, ing. Massari, che ben conosce per precedenti sopraluoghi la situazione del Chiostro del Platano e lo stato degli affreschi dello Zingaro, si è venuti nella determinazione che le campate da chiudersi con vetri debbano essere due e che le aperture sotto gli affreschi, dovendo realizzare un isolamento termico, in modo da evitare o diminuire il raffreddamento della massa muraria che è causa delle condensazioni sulle superfici, debbano essere praticate per 2/3 della lunghezza di due campate.

La complessità dell'esperimento da compiersi fa per il momento accantonare una terza ipotesi assai più costosa, aleatoria e di difficile attuazione, che sarebbe quella del riscaldamento a tergo del muro.

IL DIRETTORE

ARCHIVIO DI STATO
13-12-952
N. 6616

Fig. 2 - Nota di Cesare Brandi al Soprintendente alle gallerie di Napoli sull'esperimento di risanamento di un muro del chiostro, 12 dicembre 1952 (ASNa, Segretariato nuovo, III serie, 7/13).

proporre il prosieguo del restauro delle scene affrescate con contestuale chiusura con infissi delle arcate[20].

L'autunno del 1954 viene dedicato dall'ICR a staccare l'affresco X dalla parete, restaurarlo nei laboratori romani, posizionarlo su telaio metallico e riposizionarlo in sede nel marzo del 1955 con l'intervento dei restauratori Enzo Pagliani e Alberto Polidori.

L'intervento di restauro degli anni '50 pare non interessare tutto il ciclo di affreschi e si conclude in coincidenza con l'ultimo anno di direzione di Riccardo Filangieri.

L'intervento degli anni '80 e l'applicazione del "metodo Massari"

L'ultima campagna di restauri al ciclo di affreschi benedettini viene condotta negli anni 1981-1986 dalla società CBC di Roma, che considera come propedeutico a un intervento di restauro complessivo dell'intero ciclo un'indagine di approfondimento del problema dell'umidità, finalizzata all'elaborazione di un progetto di risanamento murario. Nel preventivo per il restauro dei dipinti si afferma, infatti, che «l'intero

intervento operativo […] deve essere eseguito su dipinti già risanati per quanto concerne i problemi di umidità, a rischio in caso contrario di non apportare alcun giovamento, se non nocumento ai dipinti in questione; per tali motivi l'intervento globale deve prevedersi nell'arco di tre anni, in concomitanza con un lavoro di risanamento che risolva gli annosi problemi di umidità che hanno danneggiato e danneggiano le pitture»[21]. È nuovamente lo studio tecnico Massari con la ditta Sanamuro a intervenire, dopo aver effettuato a gennaio 1981 un sopralluogo nel chiostro, risultato particolarmente disagevole per la presenza di scaffali lungo le pareti affrescate, montati provvisoriamente per contenere la documentazione trasferita da altri locali danneggiati dal terremoto del 23 novembre 1980. Nella relazione del 27 novembre 1981[22] l'ing. Ippolito Massari comunica alla Soprintendenza ai beni artistici e storici della Campania che alle spalle delle pareti non esiste un'intercapedine muraria continua, ma solo piccole camere d'aria realizzate sostituendo l'originario muro di tufo con muratura di mattoni a una testa dietro le scene prima, quinta, nona e decima, entrando a destra. Anche dietro tre scene del lato entrando a sinistra vengono individuate tre camere d'aria. Sia nell'uno che nell'altro lato viene individuata la lamina di piombo inserita non completamente nello spessore per trattenere l'umidità di risalita. L'ingegnere propone allora di completare l'intervento di sbarramento all'umidità di risalita utilizzando il 'metodo Massari', basato sul taglio a carotaggio, privo di vibrazioni dannose, per realizzare un taglio orizzontale per tutto lo spessore murario. con inserzione a colata di uno strato impermeabile di malta di resina poliestere o epossidica. Massari ritiene, inoltre, opportuno chiudere le arcate con vetrate, senza tuttavia esagerare con le aperture, né in frequenza, né in durata, specialmente in primavera-estate. L'intervento viene realizzato e verificato positivamente dall'ing. Massari nel luglio 1985. Questi i consigli del tecnico: «È auspicabile inoltre che tutte le quattro ali del chiostro vengano, specialmente in estate…leggermente ventilate, anche solo lasciando accostata qualche finestra. In luglio personalmente abbiamo constatato quanto in assenza di aerazione la temperatura e l'umidità relativa diventino pericolosamente elevate, specialmente dal punto di vista della difesa degli affreschi da eventuali attacchi microbiologici. È da prendere infine in considerazione, anche se non immediatamente, la protezione dall'azione diretta del sole, una volta probabilmente affidata al platano al centro del chiostro, delle ali nord ed est. Queste infatti protette verso l'esterno da estese vetrate, si comportano come serre con escursioni giornaliere della temperatura dell'aria interna troppo elevate. Delle tende tipo veneziana, ma applicate all'esterno del vetro, consentirebbero una buona difesa».

Conclusioni

L'intervento di restauro effettuato nel 1985 dalla CBC con il supporto dello studio tecnico Massari per la risoluzione del problema dell'umidità è stato l'ultimo cui gli affreschi sono stati sottoposti.

Fig. 3 - Chiostro del Platano, Napoli: intervento di restauro degli anni '80 (Archivio di Stato di Napoli, Archivio fotografico).

Un problema molto discusso negli anni, come evidenziato nelle relazioni dei soprintendenti alle belle arti e nelle proposte degli esperti di risanamento, è stato quello della chiusura delle arcate del chiostro del Platano sul giardino: gli infissi in ferro esistenti fin dagli anni '80 del Novecento sono stati sostituiti nell'agosto 2021 con infissi a taglio termico parzialmente elettrificati, si veda la Figura 3, consentendo agevolmente l'apertura di piccole zone vetrate durante tutto l'anno e favorendo la ventilazione degli spazi chiusi porticati.

Bibliografia

Augusti S. 1944-46. Alterazioni osservate sugli affreschi dello Zingaro nel Chiostro del Platano in Napoli. Archivio storico napoletano, n.s., 1944/46(1946), 206-214.

Casanova E. 1910. *L'Archivio di Stato di Napoli dal 1° gennaio 1899 al 31 dicembre 1909*. s.l.: Cultori Arti Grafiche.

Ricciardi G. 2021. Così iniziò Colalucci. Il restauro degli affreschi dello Zingaro nel chiostro del Platano. Grand'A, 1, 38-45.

Trinchera F. 1872. *Degli archivi napoletani. Relazione a S. E. il ministro della pubblica istruzione*. Napoli: Stamperia del Fibreno.

Urbani G. 1950. Il restauro degli affreschi di Antonio Solario nel chiostro del Platano a Napoli. Bollettino dell'Istituto Centrale del Restauro, 2, 41-42.

Note

[1] Archivio di Stato di Napoli, ASNa, Ministero della pubblica istruzione, 411 I/48, 411 II/68, 421 II/4; ASNa, Amministrazione generale di ponti e strade, acque, foreste e caccia, Prima numerazione, 1660/5420.

[2] ASNa, Ministero della pubblica istruzione, 421 II/4.

[3] ASNa, Ministero della pubblica istruzione, 425 I/3.

[4] La maggior parte del monastero era stata già destinata a Archivio Generale del Regno, poi Archivio di Stato di Napoli fin dall'aprile 1835.

[5] ASNa, Ministero della pubblica istruzione, 740 II/16.

[6] Lettera del soprintendente ai monumenti al soprintendente al R. Archivio di Stato di Napoli Riccardo Filangieri (22 agosto 1919) (ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13).
[7] Lettera del soprintendente al R. Archivio di Stato di Napoli Riccardo Filangieri al Ministero dell'interno, (9 novembre 1920), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13
[8] Lettera del soprintendente ai monumenti al soprintendente al R. Archivio di Stato di Napoli Riccardo Filangieri (24 dicembre 1920), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[9] Lettera del Genio civile al soprintendente al R. Archivio di Stato di Napoli, (21 gennaio 1921), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[10] Lettera del soprintendente al R. Archivio di Stato di Napoli Riccardo Filangieri al soprintendente ai monumenti, (18 ottobre 1921), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[11] Relazione del 12 agosto 1937 in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[12] Archivio ICR, Relazione sugli interventi di restauro agli affreschi, (12 giugno 1948), Ares, AS0240.
[13] Lettera di Gino Chierici, soprintendente all'arte medievale e moderna della Campania al genio civile (5 ottobre 1925), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[14] Lettera del soprintendente all'Arte medievale e moderna della Campania a Riccardo Filangieri (27 maggio 1937), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[15] Relazione dei tecnici Roberto Siano, Benedetto Civiletti, Amerigo Calvanese e Oreste Siviero al soprintendente all'arte medievale e moderna della Campania a Riccardo Filangieri (12 agosto 1937), in ASNa, Segretariato nuovo, Terza serie, 7/13.
[16] Archivio dell'Istituto Centrale del Restauro (d'ora in poi ICR), Lettera di Cesare Brandi del 20 dicembre 1941, Ares, AS0240.
[17] Archivio ICR, Relazione di analisi eseguita su frammenti prelevati dagli affreschi dello Zingaro nel chiostro del Platano (SS. Severino e Sossio) in Napoli del prof. Selim Augusti, 23 marzo 1942, Ares, AS0240.
[18] Archivio ICR, Promemoria sulle ricerche di analisi compiute per gli affreschi dello Zingaro nel chiostro dei SS. Severino e Sossio, s.d., Ares, AS0240.
[19] Archivio ICR, Nota di Cesare Brandi al soprintendente ai monumenti di Napoli sul preventivo per l'esperimento di risanamento di un muro nel chiostro del Platano, 12 dicembre 1952, Ares, AS0240.
[20] Archivio ICR, Nota di Cesare Brandi al soprintendente ai monumenti di Napoli sullo stato di conservazione degli affreschi, 8 giugno 1954, Ares, AS0240.
[21] Centro di documentazione restauro del museo di Capodimonte, Archivio storico della Soprintendenza per i beni storici e artistici della Campania, "SS. Severino e Sossio", Preventivo per il restauro dei dipinti murali di Antonio Solario detto "Lo Zingaro", siti nel chiostro del Platano (Archivio di Stato) in Napoli della società CBC di Roma.
[22] Centro di documentazione restauro del museo di Capodimonte, Archivio storico della Soprintendenza ai beni artistici e storici della Campania, Aristos 53388, Chiostro del Platano - Napoli. Studio per la difesa dall'umidità degli affreschi di A. da Solario. Relazione alla Soprintendenza per i Beni artistici e storici della Campania.

Marialuce Stanganelli

Adriano Olivetti, la costruzione dell'urbanistica italiana e due visioni contrapposte dello spazio urbano

Adriano Olivetti, the built of Italian urban planning and two different way of understanding urban space

Sommario
Nel secondo dopoguerra Adriano Olivetti si impegnò a sostegno di una diversa idea di imprenditorialità, di Stato, di assetto spaziale. Tra le tante iniziative intraprese appare di estremo interesse la ri-fondazione della rivista Urbanistica nel 1949, di cui lo stesso Olivetti assunse la direzione. L'obiettivo della nuova rivista era costruire in tutti i suoi risvolti, diffondere e legittimare una nuova disciplina, l'urbanistica italiana. Il presente lavoro descrive il dibattito sulla pianificazione riportato dalla rivista e il modello spaziale messo a punto a supporto della nuova disciplina, molto diverso da quello che poi si affermerà nella seconda parte del XX secolo.

Abstract
After World War II, Adriano Olivetti promoted a different idea of entrepreneurship, policy and spatial planning. Among the many initiatives undertaken, the re-foundation of the journal *Urbanistica* in 1949, of which Olivetti himself took over as editor, is extremely interesting. The targets of the new *Urbanistica* were to build, disseminate and legitimate a new discipline, the Italian town planning, in all its implications. This paper describes the debate on urban planning reported by *Urbanistica* and the spatial model defined to promote the new discipline that was different from the one prevailing in the second part of XX century.

Introduzione
Nel secondo dopoguerra Adriano Olivetti si distinse per essere un instancabile e munifico promotore della ricostruzione culturale e politica della nuova Italia. Tra le sue tante iniziative, appare di estremo interesse per la storia dell'urbanistica italiana il rilancio della rivista dell'Istituto Nazionale di Urbanistica-Inu che venne completamente rimodellata sotto la direzione di Adriano Olivetti, in una breve stagione in cui la cultura italiana era pervasa dall'entusiasmo per l'uscita dal conflitto e dalla dittatura ed era percorsa da una forte tensione idealistica per le nuove responsabilità

che investivano le élite culturali e professionali attivamente impegnate nel ricostruire una nuova società libera e democratica. Per questo, la rivista di Olivetti è rappresentativa di un periodo unico per l'urbanistica italiana, un periodo di ri-fondazione in cui la disciplina era ispirata ai nuovi ideali ed era sentita come una missione. Ma questa non è solo la storia di un tentativo di rifondazione disciplinare, è anche la storia della competizione tra due diverse concezioni dello spazio urbano che ispirarono l'urbanistica Europea tra le due guerre e giunsero a un confronto definitivo nel secondo dopoguerra. Ciascuna di queste idee venne supportata attraverso specifiche strategie e reti di diffusione per la circolazione delle idee[1].

Nell'ambito di questo studio, si analizzerà, quindi, come queste organizzazioni, portatrici di una propria specifica visione dello spazio urbano, siano entrate in contatto tra loro e come, nello scambio di idee che ne è derivato, alcune idee siano state adottate e adattate a un diverso contesto, mentre altre ne siano state respinte.

Il punto di partenza - Il dopoguerra

Ogni idea nasce da uno specifico contesto e nel processo di circolazione delle idee viene recepita e adattata in modo diverso in relazione a un contesto differente. Il progetto fondativo di Olivetti non nacque dal nulla ma fu fortemente influenzato dalla più matura esperienza urbanistica anglosassone. Nel secondo dopoguerra, in ambito urbanistico, molti Paesi europei avevano già fatto grandi passi avanti già nei primi decenni del secolo e disponevano di leggi, apparati procedurali, enti amministrativi e scuole di urbanistica. L'Inghilterra, inoltre, disponeva anche di modelli di organizzazione spaziale e di realizzazioni progettuali esemplificative di rilievo, in pratica era dotata di un sistema di pianificazione completo e maturo. Non erano solo le teorie e i modelli spaziali anglosassoni a destare ammirazione, ma anche la solida struttura organizzativa della pianificazione inglese, le cui leggi fornivano una coerente corrispondenza geografica tra le amministrazioni preposte all'urbanistica, gli strumenti di pianificazione e i relativi ambiti di applicazione, contrariamente a quanto accadeva in Italia che, al di là dei Comuni, era priva di organismi istituzionali preposti alla pianificazione di area vasta. L'Italia viaggiava con decenni di ritardo. Nel 1932 nacque la prima associazione di urbanisti, l'Istituto Nazionale di Urbanistica, con la relativa rivista Urbanistica, suo organo ufficiale; per una legge quadro istitutiva di un sistema di pianificazione obbligatorio fu necessario attendere il 1942[2] e per una scuola bisognò arrivare agli anni Settanta. L'urbanistica italiana, com'è noto, scontava venti anni di isolamento culturale, anni in cui l'urbanistica si era pur praticata, a volte anche con realizzazioni rimarchevoli, come nel caso di Sabaudia, ma in assenza di una cornice sistematica di riferimento, di un dibattito culturale aperto e senza raggiungere, almeno agli occhi dei suoi contemporanei, risultati originali e trasferibili. Astengo (1949, 1950), più volte, fornì dei giudizi molto acri sui piani realizzati durante il ventennio classificandoli come piani di allineamento e di traffico. Ma al di là del giudizio dei

suoi contemporanei, che potrebbe essere in parte viziato da considerazioni ideologiche, l'urbanistica italiana dell'epoca sembra realmente avere una scarsa riconoscibilità anche all'estero. L'unico studioso di spicco della prima metà del '900 il cui pensiero aveva travalicato le frontiere, Giovannoni, veniva percepito più come esperto di restauro che come urbanista (Zucconi, 2002), anche per il diffuso riconoscimento attribuito all'Italia, da parte dei commentatori esterni, di una vera e propria supremazia culturale nel settore dei beni storico-artistici (Cohen, 1985). Povera di strumenti e di riferimenti teorici, priva di istituzioni specificamente preposte, con una normativa giovane e mai sperimentata sul campo, l'urbanistica italiana si avviava nel secondo dopoguerra tra mille difficoltà e diffidenze a un'opera di fondazione disciplinare. In quest'operazione, è riconosciuta a Olivetti una funzione salvifica nell'aver dotato l'urbanistica italiana di una visione, quella comunitaria, di un piano strategico di sviluppo e diffusione e, per sostenere concretamente l'impresa, anche di finanziamenti.

Adriano Olivetti

La rete italiana ruotava attorno alla figura di Adriano Olivetti, imprenditore, ingegnere, politico, personalità dai molteplici interessi tra cui l'urbanistica.

Nel secondo dopoguerra Olivetti raccolse intorno a sé numerosi intellettuali, artisti, tecnici, a sostegno delle sue innumerevoli iniziative. Al centro dei suoi interessi era la promozione di una visione politica spazializzata: un'idea federalista dello Stato basata sulle Comunità. Queste si configuravano come realtà sociali organizzate in unità territoriali omogenee e autonome dal punto di vista spaziale.

Fu questa visione che portò Olivetti a interessarsi di urbanistica, intendendola come parte integrante della politica: «tra politica ed urbanistica esiste un nesso così intimo ed evidente che i due termini si identificano, poiché essi esprimono lo stesso concetto» (Olivetti, 1952). L'urbanistica appare come politica, da interpretare come il "manifesto dell'ordine politico delle comunità", secondo la titolazione di una rubrica della rivista Comunità fondata dall'ingegnere Olivetti nel 1946.

Nell'anno successivo, Olivetti creò il "Movimento Comunità" con l'obiettivo di costruire uno spazio politico tra DC e PCI, dove unire liberali e socialisti. A supporto della sua idea comunitaria, Olivetti si fece promotore di una fitta rete di organizzazioni dove l'urbanistica aveva un ruolo trasversale. Di questa rete, ampiamente descritta da Carlo Olmo (1992), qui si riprendono soltanto i tratti utili per comprendere le politiche e le strategie portate avanti e le relazioni intrecciate con le altre organizzazioni europee. Olivetti, forse anche grazie alla sua formazione di ingegnere chimico, aveva una visione sistemica della realtà e una naturale propensione all'azione strategica che lo portavano a lavorare contemporaneamente su più campi per risolvere tutte le implicazioni insite nel raggiungimento di un obiettivo.

La promozione delle sue idee passò attraverso azioni capaci di coinvolgere una moltitudine di attori in una rete intricata di attanti in cui a volte si sovrapponevano

teorie e azioni. A supporto del Movimento e delle proprie idee Olivetti si impegnò non soltanto per una loro diffusione attraverso numerosi canali editoriali costruiti *ad hoc*, ma anche per l'attuazione di una molteplicità di azioni concrete, dimostrative, sul territorio, come la promozione e la realizzazione di numerosi progetti architettonici e urbanistici[3], l'attivazione di azioni di supporto sociale e culturale all'interno della propria fabbrica e della propria città, la partecipazione attiva ai più importanti enti istituzionali in materia urbanistica e di abitazione sociale[4]. Una gamma variegata di azioni, che oggi chiameremmo integrate, che spaziano dal sociale all'economia, all'urbanistica, all'architettura, alla promozione culturale, alla politica. I canali di azione erano molteplici e diversificati, nel campo dell'urbanistica e dell'architettura azioni e idee sostenute dai vari canali si presentavano a volte apparentemente contraddittorie. Olivetti giocava su più campi, sia editoriali, con la Rivista del Movimento Comunità, Urbanistica, Edizioni di Comunità e Zodiac[5], che progettuali: si muoveva con naturalezza tra l'approccio organico veicolato da Urbanistica e quello razionalista di Le Corbusier e dei CIAM, i *Congrès Internationaux d'Architecture Moderne*, seguito da alcuni dei suoi architetti preferiti. Così, se da un lato la rivista Urbanistica, di cui era direttore, era fortemente impegnata nella battaglia per il "quartiere organico", dall'altro, negli stessi anni, la ditta Olivetti promuoveva il quartiere Canton Vesco a Ivrea ispirato ad altri canoni, come poteva commentare sulla stessa rivista Astengo, che cercava di smorzare la scelta razionalista dell'orientamento parallelo e uniforme degli edifici, con considerazioni sulle altre qualità del progetto «a questa corrente [plasticismo puro] appartiene pure, ma con molta maggiore aderenza all'istanza della vita sociale degli abitanti, il piano per Canton Vesco a Ivrea, dovuto alla lungimirante azione di un'Azienda industriale che, resasi promotrice del piano, ha convogliato in esso varie altre forze economiche locali» (Astengo, 1951).

D'altro canto, come ribadisce Olmo (1992), se l'urbanistica italiana dell'immediato dopoguerra conosce «molte strade attraverso cui viene portata avanti la sperimentazione di tecniche e linguaggi», certamente Olivetti ne percorre diverse contemporaneamente. Le interpretazioni di questo eclettismo sono molteplici. Da un lato, in quegli anni, non vi era percezione di quella semplificazione interpretativa che ha portato in seguito a individuare una cesura tra i due approcci e di conseguenza le commistioni erano frequenti; così alcuni aspetti di chiara appartenenza razionalista, come l'avversione alla "strada-corridoio" propugnata da Le Corbusier, la libera disposizione dei volumi, i punti della Carta di Atene, l'approccio scientifico, costituivano una base culturale comune. Da un altro lato, come evidenzia Olmo, probabilmente per Olivetti era secondaria la forma che l'urbanistica assumeva: l'eclettismo, la contaminazione tra generi erano dovuti forse al fatto che «Olivetti non riteneva utile o corretto identificare Comunità e l'azienda con uno "stile"» (Olmo, 1992). O ancora, questo orientamento dipendeva dalla convinta adesione di Olivetti all'eterogeneità e alla pluralità, un'adesione conseguenza della sua vocazione a

essere sempre inclusivo, a unire piuttosto che a dividere. La stessa ambizione di comprendere, attraverso il Movimento Comunità, sia liberali che socialisti è una conferma di questa attitudine: «la verità non si può imprigionare in formule parziali, semplicistiche o astratte, ma deve dar luogo a una sintesi creativa dove quanto è vivo e vitale della democrazia, del liberalismo, del socialismo, trovi una nuova e più felice espressione» (Olivetti, 1960, p. 86). Il bisogno di mediare posizioni diverse attraverso una "sintesi creativa", di affrontare la complessità con consapevolezza ma senza cercare facili semplificazioni furono alcune delle caratteristiche più originali e innovative del pensiero di Olivetti. Ad affiancarlo nella direzione di Urbanistica era Giovanni Astengo in qualità di redattore capo. Per altro, Astengo era parte integrante della rete olivettiana che comprendeva anche altre riviste come Metron, alla quale Astengo collaborava in qualità di membro del Consiglio direttivo insieme a un folto gruppo di urbanisti, tra cui Zevi, Calcaprina e Piccinato che facevano parte anche dell'Inu. Anche Astengo era un ammiratore dell'urbanistica anglosassone e un fautore dell'approccio organico; sostenitore tra l'altro su Urbanistica del modello di pianificazione olandese, con i casi studio di Amsterdam e Rotterdam, e dei nuovi quartieri svedesi. Era un convinto difensore del metodo scientifico e dell'apparato analitico a questo collegato, aveva una visione processuale del piano e fu uno dei precoci patrocinatori di un approccio dialettico e condiviso alla pianificazione.

Il primo numero di Urbanistica 1949

La rivista Urbanistica nacque nel 1932 come bollettino della sezione piemontese dell'Inu, nel 1934 divenne rivista ufficiale dell'Istituto, dal 1945 al 1949 si trasformò in semplice bollettino (Galuzzi e Vitillo, 1993) e "rinacque" nel 1949 con un'elegante veste editoriale, una nuova struttura, una precisa missione, e, come già ricordato, un prestigioso direttore, Adriano Olivetti, e un redattore capo, Giovanni Astengo, esperto urbanista. La "nuova" Urbanistica fu progettata in breve tempo. Nel 1948 l'Inu si dotò di un nuovo consiglio direttivo che affrontò già nel corso della sua prima riunione il tema della rivista. Venne nominata una commissione composta da Astengo, Fuselli, Melis, Natoli, Olivetti, Samonà e Dodi con il compito di elaborare, entro novembre dello stesso anno, un dettagliato progetto. Il primo numero della nuova serie fu pubblicato a luglio dell'anno successivo. La brevità del tempo intercorso tra il mandato conferito alla commissione e la pubblicazione della nuova serie di Urbanistica traspare evidente nel primo numero, pubblicato senza pubblicità, con un indice essenziale, ma con un'architettura completa. Appare infatti rilevante l'organizzazione ben strutturata della nuova Urbanistica con un Comitato direttivo e una redazione composta da redattori regionali, uno o più per ciascuna sede Inu, da responsabili di rubriche e da un folto gruppo di corrispondenti esteri. Ciascun numero della rivista era caratterizzato da un ampio articolo curato da un eminente esponente della cultura urbanistica internazionale e da rubriche fisse riguardanti la

legislazione urbanistica italiana e quella estera, con riferimento a Polonia, Francia, USA e Inghilterra, un notiziario estero con articoli su esperienze messe in atto in altri Paesi, a cura dei corrispondenti esteri, la letteratura urbanistica con recensioni di libri internazionali a cura di Bruno Zevi, una rassegna didattica, presente solo nei primi numeri, le cronache urbanistiche, comprendenti articoli da ogni corrispondente regionale la biografia di un grande studioso di urbanistica di livello internazionale quali Mumford, Howard, Poëte, Osborn, Geddes e Wright, rubrica che si chiuse con il numero 7, oltre a un notiziario dell'Istituto, che riportava i verbali delle assemblee e altre notizie sull'attività dell'Inu. La doppia scala, regionale-internazionale, della rivista rivela l'orientamento nel contempo federale-regionale e transnazionale di Olivetti; gli autori scelti, i libri censiti, i corrispondenti esteri individuati, identificano in maniera univoca l'approccio organico adottato.

Il primo numero si apriva con due editoriali. Il primo, breve, del direttore Olivetti dall'emblematico titolo "Riprendendo il cammino". Il secondo, "Attualità dell'Urbanistica", del redattore capo Giovanni Astengo. Nell'incipit del suo editoriale Olivetti legava discontinuità e continuità: la rivista «rinasceva», ma «riprendendo il cammino in questo lungo dopoguerra». Anche nelle parole successive è possibile percepire il cauto avanzare di chi è consapevole di come una ricomposizione del Paese fosse possibile solo accettando degli elementi di continuità, nelle leggi, nelle procedure, nelle persone (Olivetti, 1949). Il contesto storico era turbolento, caratterizzato dal «generale scompiglio del Paese e delle Amministrazioni, la produttività fortemente contratta in tutti i settori, l'inflazione monetaria, lo squilibrio e l'instabilità del mercato, l'accentuato e persistente ventaglio dei prezzi, la mancanza di risparmio e poi ancora la crisi costituzionale ed il travaglio politico» (Astengo, 1949). Urbanistica rinasce, spiegava Olivetti, non solo perché c'era bisogno di coordinare le tante operazioni edilizie che l'Italia stava per mettere in cantiere, ma anche perché occorreva definire nuove modalità di pianificazione «libere e democratiche» adeguate al nuovo assetto politico (Olivetti, 1949) Da questi due editoriali emergono le istanze programmatiche della rivista: costruire in tutti i suoi risvolti, diffondere e legittimare in tutte le sedi una nuova disciplina, l'urbanistica italiana. Olivetti, in particolare, metteva in evidenza alcuni concetti chiave: la necessità di un'urbanistica in grado di ricomporre «la relazione persona-comunità», il metodo scientifico come principale elemento di legittimazione della disciplina e l'importanza del coordinamento delle attività sul territorio. Astengo, a quattro anni dalla fine della guerra, faceva il punto sull'attività urbanistica in Italia mettendo in evidenza l'esiguità dei risultati dell'attività culturale, scientifica e pratica della disciplina; più avanti dichiarò esplicitamente che l'unico piano del passato che si possa ricordare senza arrossire era quello di Piccinato per Sabaudia. Se Olivetti si era limitato a enunciazioni di principio, Astengo fu preciso e puntuale nel definire in sequenza il punto di partenza, i riferimenti, la finalità e gli obiettivi della rivista.

Il concetto di comunità che permeava tutto il progetto fondativo portava a individuare i principali riferimenti teorici: «una riorganizzazione sociale che riconduca a dignità la persona umana si basa sulla formazione di nuovi raggruppamenti sociali in articolate comunità organiche, economicamente autosufficienti e con amministrazione autonoma e decentrata, auspicate da Howard, Wright, Mumford» (Astengo, 1949). Solo tre anni prima Olivetti aveva fondato il suo Movimento di Comunità. I due legavano il loro progetto di fondazione urbanistica a una generale riorganizzazione sociale e politica, ma la città che volevano definire attraverso la nuova disciplina non era uno schema teorico, un disegno utopico, bensì il contributo concreto alla «nuova civiltà che sta per delinearsi attraverso le profonde perturbazioni di questi anni» (Astengo, 1949). Ciò che interessava principalmente era definire un modello urbanistico coerente con il progetto "totale" di organizzazione della società. Le tesi organicistiche adottate erano portatrici di valori quali l'autonomia, la cooperazione e la socialità, funzionali al progetto di nuova civiltà su basi etiche e morali di Olivetti. I riferimenti alla cultura anglo-americana sono chiari: Geddes, Mumford, Abercrombie, Wright, Howard e Owen e la consolidata struttura della pianificazione inglese portata più volte ad esempio da Olivetti.

Nel corso dei numeri successivi, lo sforzo fondativo venne sviluppato in maniera estensiva argomentando la legittimazione e delimitazione del campo disciplinare, definendo le modalità di approccio, affinando la strumentazione tecnica, battagliando per creare uno spazio istituzionale e operativo per la figura dell'urbanista e definire un disegno di istituzioni coerente con il sistema di pianificazione delineato dalla normativa, elaborando strategie di diffusione e trasmissione della conoscenza. Tutto ciò, fu promosso attraverso quella "strategia dell'attenzione" definita da Olmo, una strategia costruita attraverso gli strumenti di comunicazione di massa dell'epoca. In Urbanistica niente è casuale: dalla struttura, alla scelta dei corrispondenti, dei temi, dei riferimenti, tutto era funzionale alla realizzazione del progetto di costruzione di una «urbanistica organica di comunità» (Olmo, 1992). In tal senso i contenuti del primo numero rappresentano un'evidenza programmatica.

Ai due editoriali già richiamati seguono un articolo di apertura di Mumford, condiviso con Town Planning Review, alcuni esempi di pianificazione regionale in Italia e la presentazione della new town di Harlow progettata da Abercrombie per il piano della Grande Londra. Il numero si conclude dedicando ampio spazio ai risultati del Concorso per il Piano Generale di Torino, dove uno dei vincitori era Astengo, in gruppo con Renacco e Rizzotti. L'articolo su Harlow e la relazione introduttiva del progetto di piano di Torino rappresentano quasi due manifesti dell'idea di urbanistica sostenuta da Olivetti e Astengo. Harlow costituisce un esempio emblematico dell'idea di crescita urbana sostenuta dalla rivista, non a macchia d'olio ma per federazione di quartieri autosufficienti di dimensione contenuta e immersi nel verde: il modello del "quartiere organico autosufficiente" che fu il principale tema d'interesse

della rivista nei successivi quattro anni[6] (Chitty, 1949). Nella relazione al progetto di Piano Generale di Torino di Astengo, Renacco e Rizzotti i toni sono chiaramente enunciativi e ambiziosamente paradigmatici. Si parte dalla premessa che introduce il tema della legittimità della disciplina: è convinzione degli autori, si dichiara, che «ogni ragionata e coerente applicazione urbanistica debba essere guidata da principi teorici e metodologici, onde evitare la distribuzione casuale di edifici e attrezzature sul territorio». Pertanto, gli autori, nell'enunciare i propri principi «dichiarano di aver abbandonato la concezione puramente geometrico-spaziale dei vecchi piani» e ritengono di poterla superare con una nuova concezione urbanistica definita «organica, elastica e positiva». Il tono è declamatorio e assertivo, la relazione prosegue con la spiegazione dei tre termini. «"Organica" poiché considera la città unitariamente [...] e come somma ed associazione di elementi proporzionati alla vita associata»; «"Elastica" perché il piano generale propone le linee d'intervento d'insieme, la trama entro cui saranno tracciati i futuri sviluppi progettati mediante i piani particolareggiati»; "Positiva" in quanto «il piano non contiene solo vincoli ma [la definizione di] una continua azione politica ed economica che ne promuova la realizzazione e che coordini le opere nel tempo e nello spazio» (Astengo *et al*., 1949).

Nel progetto fondativo, la continua esemplificazione di esperienze condotte in altri Paesi dove l'urbanistica vantava basi più solide si proponeva come necessaria, e, anche se il riferimento principale restava l'Inghilterra, l'apertura era su scala globale. D'altronde, il progetto fondativo non era un progetto esclusivo, non rappresentava la presa di potere di una tendenza che portava avanti solo le proprie istanze ed escludeva tutte le altre. Sia Olivetti che Astengo erano interessati alla differenza, alla varietà, alla molteplicità dei caratteri e alla pluralità delle posizioni. Nel loro progetto ebbero spazio anche altre posizioni e voci fuori dal coro. Più volte Astengo invitò dalle pagine di Urbanistica al dibattito con gli oppositori, e non nell'ottica di una strategia della persuasione, ma dell'apprendimento: «per imparare reciprocamente» e perché «dal confronto diretto delle opinioni potrà scaturire non solo una più esatta valutazione, ma anche talvolta una rettifica degli stessi principi» (Astengo, 1950). Ne sono riprova due episodi, l'articolo fortemente polemico di Michelucci (1951) e il premio assegnato a Carlo Doglio per il suo saggio "Equivoco della città giardino" (1953), estremamente critico verso il modello di Howard.

I due direttori

Olivetti restò direttore di Urbanistica per soli quattro anni. Fu un direttore poco appariscente, autore di pochissimi editoriali, sembrò incidere apparentemente solo nella «impostazione iniziale della rivista, oltre che per il suo finanziamento» e la progettazione grafica del prodotto (Di Biagi, 2001, pp. 165-166). Non è così, Olivetti ebbe senz'altro un'influenza sui contenuti, sulle strategie, sulla scelta degli autori di Urbanistica, un'influenza che si manifesta nella completa aderenza al progetto di comunità

che la rivista mantenne sotto la sua direzione, nella scelta dei temi e nei cambiamenti che Urbanistica subì al termine della sua direzione. L'aderenza di Urbanistica al progetto di Comunità si riflette negli approcci e negli interlocutori prescelti: nell'edizione diretta da Olivetti, ad esempio, Gutkind ebbe tantissimo spazio, soprattutto in virtù della sua teoria sulle comunità, tradotta dalla casa editrice del direttore.

Nel breve corso della direzione di Olivetti, Urbanistica affrontò principalmente tre temi: la pianificazione regionale, il quartiere organico autosufficiente e la relazione tra pianificazione urbanistica e programmazione economica. Erano temi molto cari al direttore, che peraltro aveva fatto la sua prima esperienza operativa di pianificazione con la partecipazione agli studi per il Piano regolatore della Val d'Aosta. Il tema del quartiere organico autosufficiente, legato al concetto dell'abitare della comunità, ebbe ampio spazio nei quattro anni della direzione di Olivetti, anche per la fervente attività in quegli anni di Unrra-Casas e di Ina-casa, due enti nei quali Olivetti deteneva ruoli apicali. Anche la questione delle relazioni tra pianificazione e programmazione economica che comparve negli ultimi numeri della sua direzione era legata fortemente alla sensibilità di Olivetti, che in qualità di imprenditore aveva avuto modo di rilevare in forma diretta le discrasie che si generavano dalla separazione tra la programmazione economica, che determinava la localizzazione delle attività industriali, e la pianificazione urbanistica, dalla quale dipendevano i servizi e le attrezzature a supporto di tali localizzazioni.

Olivetti e Astengo avevano capacità e attitudini complementari, Olivetti aveva la visione strategica della missione da compiere, nonché i mezzi e la capacità di coinvolgere attori e attivare azioni, Astengo possedeva la competenza tecnico-scientifica. Un esempio di questa suddivisione dei ruoli è nel numero 4 della rivista, dove Olivetti (1950), neo-presidente dell'Inu, indicava un programma strategico di azioni per inserire nella vita nazionale italiana la "componente" urbanistica «oggi inesistente». I cinque punti elencati erano rivolti all'Inu, ma definivano necessariamente anche i temi del dibattito e le strategie della rivista che era il suo organo di divulgazione ufficiale[7]. Essi delineavano una campagna strategica che prevedeva azioni su diversi fronti, comunicativo, legislativo, tecnico, politico e operativo, per l'acquisizione di uno spazio politico e culturale all'interno della società italiana. Seguiva l'articolo di Astengo sul terzo Congresso Inu, che riprendeva e circostanziava dal punto di vista tecnico i punti strategici indicati dal direttore. Infine, la riprova della forte influenza che Olivetti ebbe sulla rivista negli anni della sua direzione, al di là della mera impostazione grafica, dell'organizzazione strutturale e dell'incentivazione finanziaria, sta nel diverso corso seguito alle sue dimissioni.

Sotto la nuova direzione di Astengo, la doppia struttura per inviati regionali e internazionali scomparve dopo i primi tre numeri, il comitato direttivo si dissolse nel 1960 e restò solo la lista dei redattori regionali, destinata anche questa a scomparire un anno dopo la morte di Olivetti. Le rubriche non erano più una presenza fissa su

ogni numero della rivista, anche perché Astengo cominciò a orientarsi sempre di più verso il numero monografico. Progressivamente scomparvero gli articoli degli studiosi stranieri, Gutkind già dal primo numero, più resistenti gli autori polacchi e Auzelle. Urbanistica si chiuse progressivamente in una dimensione nazionale, gli articoli su esperienze estere non furono più narrazioni "dal di fuori" a opera di corrispondenti esteri, ma sguardi "dal di dentro" dell'esperienza nazionale a opera di studiosi italiani. La rivista sembrò perdere anche la visione strategica dell'azione diversificata su più settori e col tempo Astengo allontanò progressivamente Urbanistica dal contatto con le istituzioni per rinchiuderla in una dimensione tecnico-scientifica (Olmo, 1992). Con il passaggio della direzione da Olivetti ad Astengo, Urbanistica perse di vista progressivamente la visione strategica, l'impostazione idealistica e l'utopismo. Astengo portò avanti il progetto di codificazione e consolidamento della disciplina depurandolo dalla carica utopistica e staccandolo dall'obiettivo complessivo di rifondazione sociale. Pragmaticamente si concentrò su questioni di metodo e procedurali. La rivista finì col prediligere la pubblicazione delle esperienze concrete di pianificazione urbanistica che in quegli anni finalmente cominciavano a decollare.

La competizione delle idee - Due modelli a confronto

L'interrogativo più interessante che la vicenda pone è perché alcune idee vincono e si impongono mentre altre perdono e vanno in disuso. L'Actor Network Theory propone una prospettiva secondo cui la diffusione delle idee ha meno a che fare con la loro qualità e più con l'azione di innumerevoli attori tesa a importare, cambiare, utilizzare l'idea in contesti differenti[8].

Olivetti, trascorse l'intera vita a creare in forma completa una rete per la diffusione delle proprie idee sull'urbanistica e sulla città, ma alla fine l'Italia si orientò sempre di più verso il modello di quartiere razionalista piuttosto che verso l'esempio del quartiere organico autosufficiente. Naturalmente anche il partito "vincente" si era progressivamente articolato e organizzato in un fitto network di attori e intermediari. Ma i motivi per cui l'ideologia *machiniste* vinse sono forse diversi. In primo luogo l'approccio modernista era funzionale alla risoluzione dei problemi che le amministrazioni avevano rispetto alla ricostruzione (Harvey, 2015). Le reti create da Olivetti, infatti, fallirono nella "problematizzazione" dei modelli proposti, ovvero nella descrizione dei problemi che le idee da loro avanzate potevano risolvere. Anche perché, forse, questi problemi non si erano ancora manifestati in tutta la loro evidenza: la riconoscibilità dei luoghi, il senso di appartenenza, la disponibilità di spazi naturali e di servizi urbani a distanze contenute, la socialità. La problematizzazione contrapposta dei modernisti faceva invece riferimento alla praticità, alla velocità di realizzazione, all'adeguatezza igienico-funzionale, all'economicità. Argomenti certo più convincenti nel contesto della ricostruzione postbellica in cui a una forte domanda di nuove abitazioni si contrapponeva un altrettanto forte scarsità di risorse economiche. La

produzione in serie e il montaggio progettuale di unità edilizie tutte uguali venivano incontro in tempi rapidi a queste esigenze. In secondo luogo, la forza del Movimento moderno fu quella di legarsi alle nuove ideologie, al socialismo democratico che interessò tutta l'Europa nel secondo dopoguerra. I sostenitori dell'approccio organico erano legati a temi spirituali, alla religione, alla famiglia, valori considerati sempre più spesso di matrice conservatrice e fuori dal tempo. Inoltre, dal punto di vista dello spazio architettonico, il Movimento moderno rappresentava l'innovazione in grado di rompere e scardinare tutti i canoni della architettura precedente; un'innovazione che fallì però nell'azione urbana, semplificando in maniera eccessiva l'approccio allo spazio urbano, senza vedere le implicazioni sociali del passaggio di scala dall'architettura alla città. Per contro, l'approccio organico percepiva in maniera adeguata l'incremento di complessità insita nello spazio urbano, ma spesso falliva nell'innovazione formale delle architetture; in questo campo non riuscì a definire un canone condiviso: emersero solo singole specifiche personalità, Aalto, Gaudì e Wright, dalla forte carica creativa, mentre la massa dei progettisti si collegava a forme tradizionali, finendo per riconfermare la percezione di un approccio passatista.

Bibliografia

Astengo G. 1949. Attualità dell'urbanistica. Urbanistica, 1, 3.
Astengo G., Renacco N., Rizzotti A. 1949. Riassunto della Relazione di progetto per il piano generale di Torino. Urbanistica, 1, 34.
Astengo G. 1950. Urbanistica assente. Urbanistica, 3, 2.
Astengo G. 1951. Nuovi quartieri in Italia. Urbanistica, 7, 9.
Chitty A. 1949. Harlow nuova città. Urbanistica, 1, 19.
Cohen J.L. 1985. Le détour par l'Italie. Esprit, 109(Décembre).
Di Biagi P. 2001. Adriano Olivetti e l'Inu: l'impegno nella "comunità" degli urbanisti (1948-1960). In: *Costruire la città dell'uomo* (a cura di C. Olmo), 165-166. Torino: Edizioni di Comunità.
Doglio C. 1953. L'equivoco della città-giardino. Urbanistica, 13.
Fisher e Forester (Eds). 1993. *The argumentative turns in policy analysis and planning*. Londra: UCL Press.
Galuzzi P., Vitillo P. 1993. La pubblicistica, i libri e le riviste nella costruzione della disciplina urbanistica. In: *Cinquant'anni di Urbanistica in Italia* (a cura di G. Campos Venuti e F. Oliva). Roma-Bari: Editori Laterza.
Harvey D. 2015. *La crisi della modernità*. Milano: Il Saggiatore.
Latour B. 1996. On actor-network theory. A few clarification plus more than a few complications. Soziale Welt, 47
Michelucci G. 1951. Punti Interrogativi. Urbanistica, 7.
Olivetti A. 1949. Riprendendo il cammino. Urbanistica, 1, 2.
Olivetti A. 1950. Punti per la vita dell'istituto. Urbanistica, 4, 3.
Olivetti A. 1952. Discorso del Presidente al Convegno di Venezia. Urbanistica, 2.
Olivetti A. 1960. *Città dell'uomo*. Milano: Edizioni di Comunità.
Olmo C. 1992. *Urbanistica e Società*. 13, 102. Torino: Bollati Boringhieri.

Tait M., Jensen O.B. 2007. Travelling Ideas, Power and Place: The Cases of Urban Villages and Business Improvement Districts. International Planning Studies, 12(2).

Zucconi G. 2002. Un manuale mancato. Gustavo Giovannoni, Vecchie città ed edilizia nuova 1931. In: *I classici dell'urbanistica moderna* (a cura di P. Di Biagi). Roma: Donzelli Editore.

Note

[1] Nel corso degli ultimi anni, diverse tecniche sono state messe a punto nel tentativo di comprendere come le idee emergono e si diffondono in ambiti differenti. Le due principali tecniche, Actor Network Theory-ANT e Interpretative Policy Analysis-IPA, differiscono tra loro per la diversa attenzione prestata, in un caso, al processo sociale che porta alla costituzione delle reti di supporto alla trasmissione delle idee (Latour, 1996), in un altro caso, all'analisi dei discorsi e dei significati trasmessi (Fisher e Forester, 1993). L'uso incrociato delle due tecniche consente di incrementare le capacità di comprensione dei processi di circolazione e riconfigurazione delle idee. Questo studio, pur non adottando in forma specifica alcuna delle due tecniche, utilizza strumenti e criteri desunti da ambedue, in particolare si avvale della ANT nella prima parte per la definizione delle reti, per poi passare nella seconda parte all'analisi dei discorsi.

[2] Vi era già una prima legge del 1865 (2359/1865) che introduceva in via facoltativa alcuni strumenti di pianificazione: un "Piano Regolatore dell'esistente nucleo urbano", e un Piano di Ampliamento.

[3] Basti citare i numerosi quartieri di Ivrea, nel Canavese, a Pozzuoli, la partecipazione agli studi per il piano regolatore della Val d'Aosta, il finanziamento e la collaborazione per il PRG di Ivrea.

[4] Dal 1948 rivestì cariche di rilievo all'INU e dal 1950 ne diventò Presidente. Assunse cariche di rilievo in enti pubblici che si occupavano di abitazioni sociali: nel 1959 fu eletto Presidente dell'Istituto UNRRA-Casas per la ricostruzione post-bellica in Italia di case per i senzatetto e membro della giunta tecnico-consultiva dell'INA-casa.

[5] Zodiac, Rivista Internazionale di Architettura fondata da Olivetti e diretta da Bruno Alfieri nel 1956 Edizioni di Comunità.

[6] Harlow si presenta come un ambiente urbano in mezzo alla natura composto da 13 unità, separate dal verde, di 5000 abitanti ciascuna. Le unità sono a loro volta raggruppate in 3 clusters con un nucleo centrale provvisto di servizi urbani.

[7] I cinque punti vertono su: 1. intensa campagna di divulgazione attraverso tutti i media; 2. studio preliminare di una nuova legge urbanistica; 3. messa a punto di dispositivi legislativi urgenti su: quartieri organici autosufficienti nelle regioni industriali, borghi residenziali agricoli, risanamento di quartieri urbani, introduzione di dispositivi urbanistici nel piano Ina-casa e nelle azioni della Cassa per il Mezzogiorno, compilazione di piani particolareggiati anche nei comuni senza PRG, acquisizione di aree di espansione comunale a condizioni eque; 4. richiesta di rappresentanze dell'istituto nei comitati e nei consigli direttivi preposti all'urbanistica ed all'edilizia; 5. istituzione di organi di studio permanenti nell'Inu.

[8] Un'efficace sintesi della Teoria messa a punto da Bruno Latour, Callon e Law è in (Tait e Jensen, 2007).

Marika Mangosio

Sperimentazioni strutturali del secondo Novecento: il nuovo mattatoio di Torino

Structural experimentations in the second half of the 20th century: the new slaughterhouse in Turin

Sommario
All'inizio degli anni Sessanta del Novecento le condizioni deplorevoli in cui ormai versa da tempo l'antico stabilimento che ospita il mattatoio e il mercato del bestiame della città di Torino, determinano la scelta della sua sostituzione con un nuovo insediamento in un'area periferica del territorio comunale. Il progetto del nuovo mattatoio di Torino diventa occasione di sperimentazione di nuove soluzioni tecniche, non solo relative alla salvaguardia igienica e alla funzionalità produttiva, ma anche di tipo strutturale. La ricerca di strutture funzionali ed economiche e soprattutto di coperture leggere ed efficaci, unita alla maggiore libertà anche formale che il progetto di architetture industriali e di servizio consente, portano ad esiti costruttivi di elevato valore tecnologico. In quest'ottica, particolare interesse riveste la cosiddetta tettoia delle contrattazioni del mercato del bestiame, progettata e realizzata dall'impresa Bertone, formata da una grande galleria centrale coperta con una volta sottile in calcestruzzo armato a elementi di paraboloide iperbolico su pianta romboidale. Attraverso l'analisi di questa singolare struttura, attualmente in fase di progressivo abbandono, e la sua contestualizzazione nell'ambito dell'attività professionale del progettista, l'ingegner Felice Bertone, principalmente noto per l'ardita soluzione di copertura del Teatro Regio di Torino, si intende contribuire con un nuovo tassello di cultura tecnica alla ricerca sulla storia dell'ingegneria strutturale italiana del secondo Novecento.

Abstract
In the early of the 1960s, the deplorable conditions of the old slaughterhouse and cattle market in Turin lead to the decision to replace them with a new settlement in a peripheral area of the city. The project for the new slaughterhouse in Turin becomes an opportunity to experiment with new technical solutions, not only in terms of hygiene and production functionality, but also of a structural nature. The search for functional and economic structures, and, above all, for light and efficient roofs, combined with the greater formal freedom, that the design of industrial and service architectures al-

lows, lead to constructive outcomes of high technological value. In this context, the cattle market trading roof, designed and built by Felice Bertone's construction company, is particularly interesting: it consists of a large central gallery covered with a thin reinforced concrete vault with hyperbolic paraboloid elements on a rhomboid plan. Through the analysis of this unique structure, currently being progressively abandoned, and its contextualisation within the professional activity of the designer, engineer Felice Bertone - best known for his daring roofing solution for the Teatro Regio in Turin – the paper aims to contribute a new piece of technical culture to the research on the history of Italian structural engineering in the second half of the 20th century.

Introduzione

Le architetture di servizio e in particolare le architetture industriali sono spesso state luoghi privilegiati di sperimentazione di soluzioni tecniche innovative per l'ingegneria strutturale del secondo Novecento, grazie alla maggiore libertà formale del tema progettuale e alla capacità dei progettisti di cogliere con creatività le sfide tecnologiche poste da mutate esigenze funzionali e prestazionali e spesso anche all'intuizione dei committenti di un sicuro ritorno di immagine legato alla singolarità costruttiva del proprio fabbricato produttivo.

In questo panorama professionale, particolarmente significativa risulta l'attività dell'ingegner Felice Bertone, attivo a Torino tra il 1946 e il 1974, la cui opera, per buona parte legata proprio all'architettura industriale e caratterizzata da soluzioni funzionali di copertura di notevole impegno tecnico, è ancora poco esplorata e apprezzata.

L'ingegnere Felice Bertone

La formazione di Bertone come ingegnere inizia all'Università di Catania nel 1928 con un biennio propedeutico e prosegue alla Scuola Superiore di Ingegneria del Regio Politecnico di Milano, presso la quale si laurea nel 1934 per poi seguire, nel 1935, il corso di specializzazione di costruzioni in cemento armato, fondato da Luigi Santarella (Raineri e Raineri, 1992, p. 3). Nel 1939 viene inviato a Torino a dirigere i lavori di consolidamento dei resti del Teatro Regio, distrutto da un incendio nel 1936, per conto dell'impresa S.A. Ing. C. Bonomi e G. Federici di Roma, che aveva vinto l'appalto delle opere murarie. Nel 1946 fonda a Torino l'impresa di costruzioni Ing. Felice Bertone.

Il suo percorso professionale è caratterizzato principalmente dall'attività di progettazione strutturale e costruzione di numerosi stabilimenti industriali in cemento armato, in ambito metalmeccanico e manifatturiero, con soluzioni che si contraddistinguono per l'originalità e l'ingegno con cui vengono elaborati i sistemi di copertura. Significativa nella sua attività professionale è proprio la complementarietà di competenze specialistiche e operative, che gli consentono di gestire il calcestruzzo armato a volta sottile plasmandolo come un tessuto e di spingerne il comportamento strutturale verso nuovi limiti d'impiego. Le sue soluzioni strutturali riflettono una

certa attenzione al dibattito tecnico contemporaneo sulle volte sottili in cemento armato, in particolare sulle potenzialità compositive, tecnologiche e strutturali del paraboloide iperbolico come elemento generatore della copertura[1].

Il perfezionamento della formazione teorica avviene attraverso la pratica di cantiere, come impresario, secondo un approccio che caratterizza, indubbiamente con ben altri esiti tecnici e formali, anche l'opera di Pier Luigi Nervi e di altri maestri della scuola di ingegneria strutturale italiana del secondo Novecento.

La sua decennale sperimentazione sul campo, che contempla anche numerosi interventi di edilizia scolastica pubblica, gli consente di conseguire nella fase matura della sua produzione due opere di grande prestigio, la copertura a paraboloide iperbolico del Teatro Regio di Torino (Bertone, 1973; Ostorero, 2010) e la struttura del nuovo Palazzo Affari di Torino (Tamagno, 2010), poco prima della morte avvenuta nel 1974, opere che finalmente fanno emergere Bertone da un ingiusto anonimato.

Nell'ambito del percorso professionale dell'ingegnere catanese la commessa per la progettazione e la realizzazione delle opere in cemento armato per il nuovo mattatoio civico di Torino, a metà degli anni Sessanta, assume un ruolo centrale. In particolare uno dei fabbricati del complesso, la tettoia delle contrattazioni, principale oggetto di indagine di questo contributo, rappresenta infatti l'esito intermedio più significativo di un filone di sperimentazione condotta da Bertone sull'impiego del paraboloide iperbolico nei sistemi di copertura, che troverà la più alta sintesi proprio nella soluzione elaborata per il Teatro Regio.

Uno stabilimento moderno e all'avanguardia

L'inaugurazione del nuovo mattatoio di Torino, avvenuta il 16 marzo 1969 alla presenza del sindaco di Torino Andrea Guglielminetti e dell'assessore ai Lavori Pubblici Giovanni Porcellana, conclude la complessa vicenda di studi, dibattiti, progetti e realizzazioni iniziata nel 1951, quando il Comune di Torino assume la determinazione di sostituire il vecchio e superato mattatoio di Corso Vittorio Emanuele II con un complesso moderno per il macello dei bovini e per il mercato delle carni, da erigersi in una zona della città più consona da un punto di vista non solo funzionale, ma anche igienico[2]. La scelta dell'area dell'insediamento viene definita solo nel 1959: si tratta dell'area di proprietà comunale sita nella periferia nord-ovest della città, su cui insiste la cascina Continassa, salita all'onore delle cronache nazionali per la costruzione dello Stadio delle Alpi negli anni Novanta del Novecento e, più recentemente, per l'imponente progetto di riqualificazione finalizzato all'insediamento della sede sociale e di un centro sportivo-polifunzionale della società di calcio Juventus.

Il progetto del nuovo mattatoio viene varato dal consiglio comunale nel settembre del 1960, ma i lavori di costruzione delle strutture in cemento armato dei fabbricati industriali hanno inizio solo nel maggio 1965. L'impianto entra in funzione il 15 aprile 1970, con un costo complessivo di 4 miliardi di lire[3].

Alla base della scelta dello schema distributivo dello stabilimento, vi sono da un lato il criterio dell'eliminazione di ogni interferenza tra il circuito "sporco", legato al percorso degli animali vivi, e il circuito "pulito", relativo alla carne macellata, dall'altro la necessità di assicurare una successione delle fasi di lavorazione secondo una progressione a senso unico. Accanto a questa linea produttiva, si sviluppano i circuiti secondari dei diversi operatori all'interno dello stabilimento stesso. L'impianto del nuovo mattatoio viene organizzato secondo un sistema a padiglioni: i diversi poli funzionali sono raggruppati in unità edilizie e la loro distribuzione planimetrica segue il tracciato del circuito principale. Particolare attenzione è posta alle soluzioni di connessione tra essi, che riflettono i passaggi produttivi e le varie necessità di controllo. Il percorso delle lavorazioni si sviluppa in tal modo in senso prevalentemente orizzontale e viene perfezionato prevedendo l'organizzazione di alcune lavorazioni su due piani, smistando e svincolando così i differenti circuiti su due livelli. Le attrezzature di macellazione, trasporto e conservazione delle carni si avvalgono di una rete di guidovie aeree doppie che si dirama in tutti i locali.

Entrando nei dettagli, il nuovo stabilimento si estende per 180.000 m^2 ed è articolato in tre parti: il complesso del mercato del bestiame, il gruppo comprendente macello, frigoriferi e mercato della carne e il complesso direzionale, dove sono collocati gli uffici amministrativo, sanitario e di rappresentanza (Sibilla, 1967; 1969).

L'accesso del personale e degli operatori avviene in corrispondenza del fabbricato d'ingresso lungo via Traves, costituito da una tettoia a cinque campate, delle quali quella centrale accoglie gli uffici del sorvegliante. L'accesso del bestiame è invece posto alla sinistra della tettoia d'ingresso.

Nel complesso del mercato del bestiame si trova la cosiddetta tettoia delle contrattazioni nei cui pressi sorgono cinque blocchi di edifici, dei quali uno costituito da cinque concimaie e i restanti da quattro stalle e un fienile[4]. Il complesso è destinato alle contrattazioni e ad accogliere gli animali in attesa di essere venduti e poi macellati; in particolare, prima di entrare nelle sale di macellazione, gli animali vengono sottoposti al controllo fiscale e veterinario in un edificio di servizio, che si trova tra la tettoia delle contrattazioni e il macello

Le sale di macellazione sono tre, una per grossi capi, una per bovini piccoli e medi, una per ovini e suini. Disposte a pettine, ogni sala sfocia in una galleria di raffreddamento collegata al blocco frigoriferi comune: esso assolve anche alla funzione di "polmone" da un punto di vista della conservazione delle carni, bilanciando la discontinuità temporale tra carne in ingresso e prodotto richiesto in uscita. Ogni sala è corredata al piano seminterrato di locali per la lavorazione dei sottoprodotti.

Il mercato delle carni, disposto parallelamente alle sale di macellazione, occupa un'ampia area rettangolare di estensione pari a circa 4000 m^2. Lungo il lato est del complesso si trova il fabbricato degli uffici ferroviari, composto da un magazzino, quattro uffici per il personale ferroviario, tre uffici per i veterinari e due uffici imposte

e consumo[5]. Lungo il lato nord dell'area si trova invece l'edificio destinato ai servizi per il personale operativo, quali spogliatoi, mensa e lavanderia, e una autorimessa.

Completano l'impianto della nuova infrastruttura pubblica tre edifici residenziali a due piani fuori terra, collocati in un'area separata posta a sud-ovest ed esterna al recinto, uno destinato ai veterinari, che rappresentano il personale dirigente, e gli altri due al personale operativo[6].

Nel caso degli operatori di commercio, inoltre, la precisa localizzazione planimetrica dell'area di loro interesse risponde all'esigenza di evitare interferenze e contatti con la zona di lavorazione e di conservazione del prodotto destinato all'alimentazione.

Il nuovo mattatoio si configura quindi come un'architettura industriale a tutti gli effetti, con un ciclo produttivo reiterato che influenza lo schema distributivo del complesso e dei singoli spazi operativi e che si esplicita in un processo lineare di lavorazioni a elevata meccanizzazione.

Le scelte progettuali di Felice Bertone

L'impresa Ingegner Felice Bertone & c. s.n.c. si aggiudica l'appalto per la realizzazione delle opere in cemento armato del nuovo mattatoio civico in due lotti, il primo nel 1965, relativo alle sale di macellazione e lavorazione dei sottoprodotti, oltre che al mercato carni, e ai frigoriferi e alla centrale termica; il secondo nel 1966, relativo al fabbricato di ingresso, all'edificio per gli operatori esterni, al blocco servizi per gli operatori interni, agli uffici ferroviari e alla tettoia per la contrattazione del bestiame.

Bertone non ha solo il ruolo di impresario, ma anche di progettista delle strutture e di direttore dei lavori delle opere in cemento armato.

Lo stabilimento del nuovo mattatoio non si caratterizza solo per la scelta di un impianto e di attrezzature all'avanguardia, ma anche per la singolarità e l'originalità delle scelte strutturali ed edilizie. Sebbene Francesco Sibilla, vice ingegnere capo dell'Ufficio Tecnico dei Lavori Pubblici del Comune di Torino, figuri ufficialmente come progettista architettonico e direttore dei lavori, l'analisi della documentazione d'archivio rivela in molti casi la paternità di Bertone non solo della concezione strutturale degli edifici principali, ma anche delle scelte tecnologiche di dettaglio.

Le soluzioni proposte si dimostrano efficienti dal punto di vista delle prestazioni offerte dalle soluzioni tecniche, in termini ad esempio di illuminazione, aerazione, isolamento termico e tenuta all'acqua, efficaci dal punto di vista dell'organizzazione degli spazi, che prevede tra l'altro grandi luci, assenza di appoggi intermedi e flessibilità d'uso, contenute dal punto di vista economico, strutturale, per la capacità di ridurre al minimo le sezioni resistenti e gli strati funzionali, quindi l'impiego di materiale, e, infine attente al ricorso alla standardizzazione di soluzioni tipo e alla manutenibilità.

Da un punto di vista strutturale, il contributo di Bertone si esplicita su tre fronti: la struttura dei fabbricati di servizio e delle pensiline; la copertura delle sale di macellazione e del mercato carni; la tettoia delle contrattazioni.

Nel primo caso si osserva come tutti gli edifici minori del complesso siano del tipo in linea, con impianto modulare scandito da un'ampiezza di campata costante, che può essere implementato nel senso della lunghezza a seconda delle necessità organizzative. L'unificazione e la standardizzazione dell'elemento resistente base, costituito da un portale in cemento armato sagomato, che ha un traverso conformato a V, a sezione variabile e i montanti rastremati verso il basso, caratterizza la concezione strutturale di questo gruppo di edifici, ma anche di tutte le pensiline che corredano altri fabbricati, come nel caso del mercato delle carni e della stessa tettoia delle contrattazioni. La luce dei portali varia tra 8 m e 15 m, il passo è di 4 m e gli sbalzi laterali hanno lunghezza pari a 4 m. Tali sporti sono collegati all'estradosso da una soletta continua, che definisce una pensilina di copertura e ombreggiamento[7].

Il complesso del macello vero e proprio si caratterizza per la disposizione planimetrica a pettine, nella quale il corpo principale è costituito dai magazzini frigoriferi di dimensioni pari a 36,5 m · 150 m e le tre ali trasversali in cui sono collocate le sale di macellazione, ognuna delle quali misura 28 m · 56 m. La copertura delle tre sale consiste in volte sottili disimmetriche a sezione cilindrica, di raggio pari a 2,4 m, collegate tra loro longitudinalmente da un canale di raccolta delle acque a U, cui vengono sospese le guidovie aeree. Esse sono disposte in serie con una superficie di apertura verso nord, per garantire un'illuminazione naturale ottimale. Ogni volta è costituita da una soletta di soli 6 cm di spessore, completata da un sottile strato isolante in lana di vetro e un manto di copertura in lastre opportunamente conformate in cemento amianto. Le volte sottili sono disposte per una lunghezza di 28 m con un solo punto di appoggio centrale, costituito da una fila di pilastri assiali alla sala. Si tratta di elementi autoportanti (Krall, 1959, pp. 739-771), che si configurano come volte-travi di 4 m di interasse ed estese su due luci continue di 14 m l'una, essendo solidali a pilastri di estremità e intermedi mediante portali arcuati a timpano[8]. Ciascuna volta-trave costituisce quindi una trave continua su due campate di luci eguali e solidali ai pilastri.

Per la copertura del mercato delle carni Bertone adotta una soluzione analoga alla precedente, ma in questo caso le volte-travi sono eseguite in cemento armato precompresso, per la maggiore luce da coprire. Il salone è infatti di dimensioni pari a m 40,40 m · 144 m. I cavi di precompressione scorrono entro guaine in lamierino metallico e sono posti in opera, completi delle relative testate di ancoraggio terminali, dalla ditta Prebeton Cavi s.p.a. di Milano, che si occupa anche delle operazioni di messa in tensione, bloccaggio e iniezione finale[9].

La tettoia delle contrattazioni

Il progetto della tettoia delle contrattazioni risponde con una soluzione tecnica originale alla necessità di uno spazio coperto di grandi dimensioni, senza sostegni intermedi, da illuminare e ventilare in modo naturale.

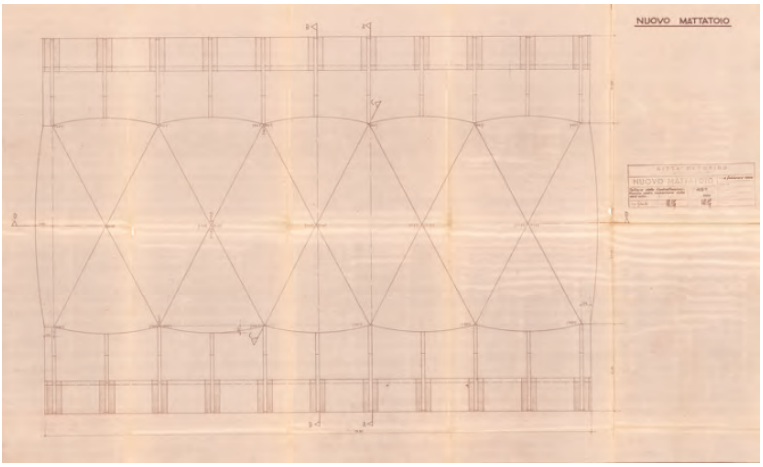


Fig. 1 - Torino, mattatoio civico, tettoia delle contrattazioni: pianta della copertura vista dall'alto, scala 1:100, 2 febbraio 1966 (Politecnico di Torino, Archivi della Biblioteca "Roberto Gabetti", fondo Bertone, dossier 35, BRT_Dos35_451).

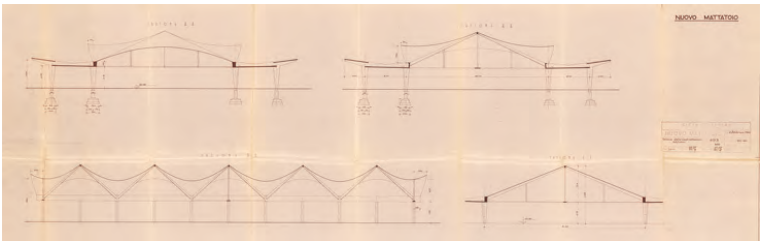


Fig. 2 - Torino, mattatoio civico, tettoia delle contrattazioni: sezioni, scala 1:100, 2 febbraio 1966. (Politecnico di Torino, Archivi della Biblioteca "Roberto Gabetti", fondo Bertone, dossier 35, BRT_Dos35_453).

L'architetto Giorgio Raineri definisce la tettoia «pura copertura attraversata dal vento, fluente dai pilastri rastremati» (Raineri e Raineri, 1992). Essa è una struttura complessa di ragguardevoli dimensioni, pari a 51,7 m · 74,5 m ed è composta da una porzione centrale a pianta rettangolare, di dimensioni 27,7 m · 74,5 m e da due porticati larghi 8 m, con interasse di 7,2 m, che si sviluppano lungo il lato maggiore e che si completano ognuno con una pensilina laterale, come mostrato in Figura 1.

La copertura principale è una volta sottile composta, di soli 6 cm di spessore, che si configura come un aggregato di cinque elementi di paraboloide iperbolico a pianta romboidale, B, e dieci elementi triangolari a unghia, A, cinque per lato, che creano una singolare superficie ondulata, si veda la Figura 2.

L'armatura della volta centrale si compone di quattro strati, in Figura 3. Nel caso delle volte triangolari di tipo A, conformate a displuvio, Bertone prevede un primo strato inferiore costituito da un ferro ø 10 sul bordo e tre ferri ø 8 disposti come una foglia secondo un asse perpendicolare alla diagonale maggiore, un secondo strato dato da una maglia generale di ferri ø 6 cm 25 x 25 con andamento parallelo ai lati, un terzo strato costituito da una "foglia" di cinque ferri ø 10 GS "Galtarossa" perpendicolare alla diagonale minore e, infine, un quarto strato di ferri ø 8 ogni 50 cm con andamento parallelo alla diagonale maggiore. Nel caso delle volte romboidali di tipo B, il progettista prescrive un primo strato inferiore costituito da una "foglia" di due ferri ø 6 perpendicolare alla diagonale minore, un secondo strato dato da una maglia generale di ferri ø 6 25 cm · 25 cm con andamento parallelo ai lati, un terzo strato costituito da una "foglia" di cinque ferri ø 12 GS perpendicolare alla diagonale maggiore e un quarto strato di ferri ø 8 ogni 50 cm, con andamento parallelo alla diagonale minore.

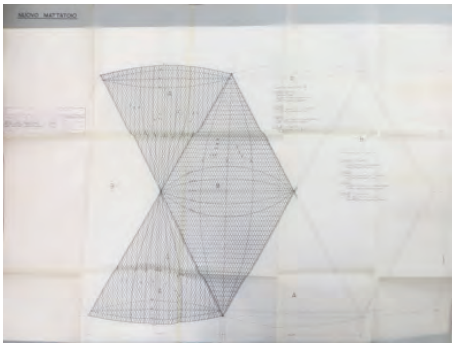


Fig. 3 - Torino, mattatoio civico, tettoia delle contrattazioni: pianta schematica dell'armatura delle volte della copertura centrale, scala 1:50, 2 febbraio 1966 (Politecnico di Torino, Archivi della Biblioteca "Roberto Gabetti", fondo Bertone, dossier 35, BRT_Dos35_455).

Tra i pochi studiosi ad aver analizzato in modo specialistico l'approccio strutturale di Bertone, l'ingegner Giuseppe Raineri, sempre in (Raineri e Raineri, 1992, p. 7), osserva come egli utilizzi il paraboloide iperbolico come elemento per coprire spazi rettangolari, ma in modo inconsueto, non facendo coincidere i lati del perimetro da coprire con la stessa direzione in pianta del duplice sistema di rette generatrici che descrivono il paraboloide stesso, ma impiegando il paraboloide iperbolico tagliato lungo un lato secondo una parabola compressa per adeguarsi al profilo rettangolare, secondo un approccio che Raineri non esita a definire geniale. Gli sforzi delle parabole di trazione normali al piano di taglio vengono così scomposti, in compressione, punto per punto lungo il bordo tagliato secondo la doppia rigatura della superficie. Se nel paraboloide iperbolico nella sua interezza le righe generatrici sono scariche, in questo caso esse acquistano carico e si equilibrano lungo i bordi, che lavorano ora anche a flessione e sono caricate ed equilibrate dalle costolature e dalle travi di crociera che innervano la copertura stessa. L'armatura della costolatura di connessione tra i diversi spicchi trova continuità nell'armatura degli undici portali paralleli che scandiscono i porticati laterali, con un nodo ogni due pilastri[10]. La componente orizzontale della risultante dei carichi della copertura centrale è quasi interamente

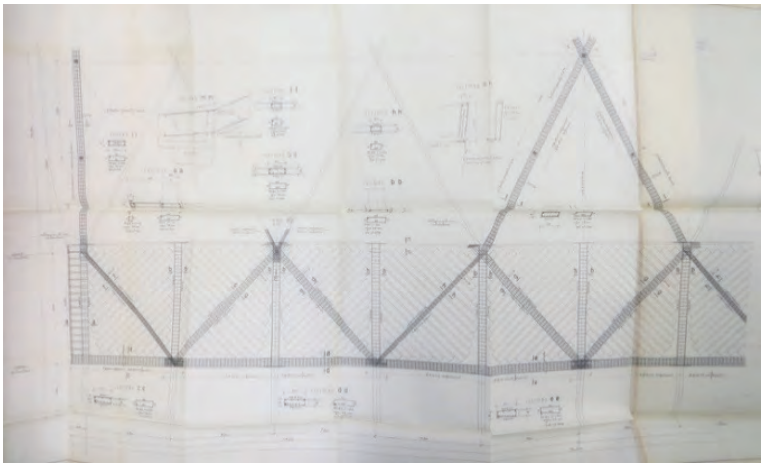


Fig. 4 - Torino, mattatoio civico, tettoia delle contrattazioni: armatura della soletta del porticato (Politecnico di Torino, Archivi della Biblioteca "Roberto Gabetti", fondo Bertone, dossier 35, BRT 35_s.n.).

assorbita dai due porticati, la cui soletta superiore è stata configurata e calcolata come trave per distribuire tale spinta in modo ottimale, come in Figura 4.

Analizzando lo schema dell'armatura, si osserva un reticolo resistente costituito dal rinforzo del bordo perimetrale esterno, dalle costolature lungo l'asse dei portali, e la creazione di nervature resistenti diagonali alla campata tra un portale e il successivo. Blocchi laterizi di alleggerimento sono disposti secondo una direzione normale a queste ultime nervature diagonali.

In corrispondenza delle due testate e delle due campate centrali della galleria, Bertone colloca dei dispositivi di controvento, che collaborano anche a ridurre le spinte laterali della struttura. All'intradosso della volta sottile si trovano delle travi reticolari in cemento armato, articolate in puntoni, dati da "pilastri pensili" di altezza variabile e sezione 20 cm · 16 cm e tiranti orizzontali, di sezione 50 cm · 16 cm. Il reticolo spaziale in corrispondenza delle due campate centrali condivide lo stesso pilastro pensile posto in posizione baricentrica, con sezione di 20 cm · 20 cm, in Figura 5.

Il 31 ottobre 1967 l'ingegner Cesare Castiglia, all'epoca libero docente di Scienza delle Costruzioni presso il Politecnico di Torino, collauda la tettoia, dichiarando che i valori verificati sono ampliamente positivi e ben maggiori ai minimi di legge[11].

La qualità della concezione strutturale conseguita da Bertone nei fabbricati in linea, nella copertura del mercato carni e delle sale di macellazione, improntati sui criteri di economicità, flessibilità, igiene e massima illuminazione naturale si pone tutto sommato pienamente in continuità con i più alti esiti delle coeve realizzazioni

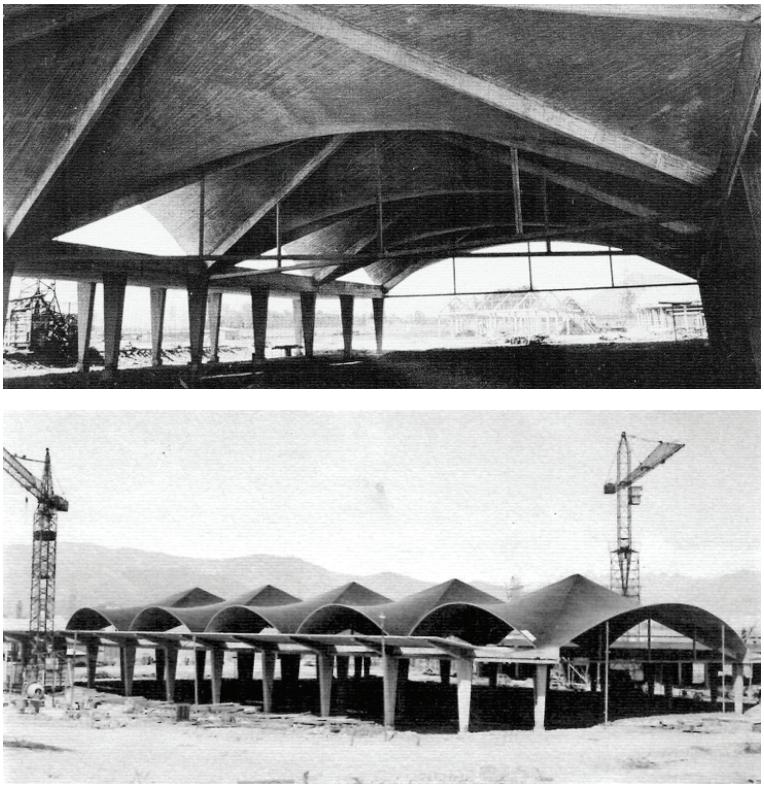


*Fig. 5 - Torino, mattatoio civico, tettoia delle contrattazioni: vista interna della galleria (*s.a. 1975, p. 5)*, in alto, e veduta d'insieme alla fine dei lavori* (s.a., 1975, p. 5)*, in basso.*

in ambito industriale. La tettoia delle contrattazioni rappresenta invece un episodio significativo non solo nell'ambito dell'evoluzione professionale dell'ingegnere catanese, come esempio più completo e consolidato di una soluzione tecnica che trova numerose applicazioni nella sua opera fin dagli anni Cinquanta del Novecento, ma anche nell'ambito della cultura tecnica nazionale. Essa può essere considerata come contributo significativo al perfezionamento dell'impiego dei gusci a volta sottile di tipo complesso e in particolare del paraboloide iperbolico.

Conclusioni

Il mattatoio di Torino è ormai in fase di progressiva e irreversibile dismissione. Attualmente l'area del mattatoio ospita un centro di accoglienza per i migranti e recentemente è stata avanzata dallo Juventus Football Club l'ipotesi di acquistare l'area su cui insiste lo stabilimento di via Traves per insediarvi il Juventus Training Center per le squadre giovanili e femminili, dismettendo il centro di Vinovo.

La tettoia delle contrattazioni, che si distingue ancora oggi per la singolarità strutturale e l'originale soluzione formale, stagliandosi nella desolazione dell'area in cui è inserita, è attualmente in totale stato di abbandono, come purtroppo molti dei singolari edifici industriali realizzati da Felice Bertone. Pur avendo tutte le caratteristiche per essere riconosciuta come opera di architettura del secondo Novecento da conservare e valorizzare[12], essa è oggi un "soggetto a rischio".

La nitidezza della concezione spaziale e strutturale e l'elevata qualità delle soluzioni tecnologiche riflettono la capacità di Bertone di concretizzare la propria idea progettuale, "piegando" il calcolo alle esigenze formali e strutturali perseguite.

Valorizzare questa e altre architetture industriali di Bertone significa anche preservare dall'oblio una cultura del costruito che sta rapidamente scomparendo, ma che è fondamentale per impostare progetti di recupero del patrimonio industriale colti e consapevoli.

Ringraziamenti

L'autrice ringrazia il professor Sergio Pace, Referente del Rettore per le Biblioteche e gli Archivi storici del Politecnico di Torino, e in particolare l'architetto Enrica Bodrato, responsabile dell'Ufficio gestione del Patrimonio storico di Ateneo, per il prezioso contributo all'attività di ricerca e di consultazione del Fondo Bertone e per l'autorizzazione alla riproduzione dei relativi disegni che accompagnano il presente articolo.

Bibliografia

Bertone F. 1973. Il calcolo statico della copertura della sala. Le coperture del Teatro. Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, 9-10, 67-89.

Comoli Mandracci V., Lupo G.M. 1974. Il mattatoio civico e il foro boario di Torino. Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, 3-4, 48-64.

Farroni L., Novello G. 2018. Contributi della scienza dell'ingegneria rilevati nel disegno degli ammazzatoi italiani dell'Ottocento: i casi di Torino e Roma. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on History of Engineering - Atti del 7° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), I, 223-234. Napoli: Cuzzolin Editore.

Krall G. 1959. Le volte autoportanti. In: *Manuale dell'Ingegnere Civile*. Roma: Cremonese.

Ostorero C. 2010. Concezione e costruzione dell'impianto strutturale. In: Bardelli P.G. *et al*. *Il Teatro Regio da Carlo Mollino ad oggi. Consistenza materica ed esito architettonico*, 107-127. Palermo: Dario Flaccovio Editore.

Raineri G., Raineri G. 1992. Felice Bertone in memoriam. Progetto e cronache, 9, 3-10.

Redazionale. 1969. Inaugurato il nuovo mattatoio. Torino, 2, 70-71.

Redazionale. 1970. Un mattatoio da 4 miliardi. La Stampa, 15 aprile, p. 5

s.a. 1975. *Bertone & C. s.r.l.* Torino: Tipografia Valetto.

Sibilla F. 1967. Il nuovo Mattatoio di Torino. Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, 8, 225-236.

Sibilla F. 1969. *Il nuovo mattatoio di Torino*. Torino: Comune di Torino.

Tamagno E. 2010. *Il Palazzo degli Affari di Carlo Mollino: architettura d'autore nella storia della Camera di commercio di Torino*. Torino: Adarte.

Sitografia

[1] http://www.spsae-vr.beniculturali.it/

Note

[1] Parte integrante del fondo archivistico di Bertone, conservato presso la Biblioteca "Roberto Gabetti" del Politecnico di Torino, è la raccolta delle riproduzioni di numerosi disegni progettuali di Eduardo Torroja, provenienti dallo studio tecnico dell'ingegnere madrileno (Politecnico di Torino, Archivi della Biblioteca "Roberto Gabetti", fondo Bertone, cartella 4).

[2] Per ulteriori approfondimenti sul mattatoio ottocentesco si vedano (Comoli Mandracci e Lupo, 1974; Farroni e Novello, 2019).

[3] Si veda (Redazionale, 1970).

[4] Il progettista delle opere in cemento armato è l'ingegner Piero Ernesto Antonino, mentre l'impresa esecutrice delle opere strutturali è l'impresa SALPEA dell'ingegner Salvatore Siragusa che, in qualità di direttore dei lavori delle opere in c.a., intraprende i lavori a partire dal gennaio 1967 (Archivio di Stato di Torino, Sezioni Riunite, Pratiche Cemento Armato, II versamento, mazzo 796, fascicolo 26206).

[5] Per garantire un efficace connessione del nuovo mattatoio alla rete ferroviaria, viene realizzato un raccordo di circa 2 km alla linea Torino-Ciriè, a sua volta connessa alla rete statale presso lo scalo merci Dora.

[6] La progettazione e la direzione lavori degli edifici è affidata all'ingegner Luigi Mottura, mentre l'esecuzione delle opere è appaltata all'impresa del geometra Giovanni Perotti (Archivio di Stato di Torino, Sezioni Riunite, Pratiche Cemento Armato, II versamento, mazzo 796, fascicolo 27901).

[7] Le solette di copertura di questi fabbricati sono di spessore molto contenuto, pari a 12 cm e l'involucro opaco è costituito da tamponamenti in paramento di mattoni faccia a vista, alternati a pannelli prefabbricati in c.a. (Ivi, fascicolo 27900, tavola 386, 19.11.1965).

[8] Si veda il *Calcolo statico della copertura delle sale di macellazione*, con riferimento al disegno 1334/A, aggiornato il 23 giugno 1965 (Politecnico di Torino, Archivi della Biblioteca "Roberto Gabetti", fondo Bertone, dossier 35).

[9] (Ivi, dossier 60, disegno n. 1340).

[10] Ogni costolatura ha una sezione rettangolare di 25 cm · 60 cm, come ricavabile dalla *Pianta delle costolature viste dall'alto (particolare dell'incrocio con i portali)*, scala 1:20 (Ivi, dossier 35, s.n.).

[11] Archivio di Stato di Torino, Sezioni Riunite, Pratiche Cemento Armato, II versamento, mazzo 796, fascicolo 25900.

[12] Il nuovo mattatoio di Torino è già stato incluso nel *Censimento delle architetture del secondo Novecento*, a cura della Direzione Generale Creatività Contemporanea del Ministero della Cultura [1].

Chiara Mommi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andrea Migliosi

Il progetto ottocentesco della Stazione di Perugia-Fontivegge e sua ricostruzione virtuale

The nineteenth century project of the Perugia-Fontivegge Station and its virtual reconstruction

Sommario

La ricerca si incentra sulle origini del progetto della stazione di Perugia Fontivegge[1] identificate nei disegni storici di Antonio Cipolla del 1851, protagonista dell'Unità di Italia. Il caso di studio analizzato rappresenta un paradigma emblematico di una cultura costruttiva che sviluppò nel contesto europeo. Gli elaborati progettuali, che non forniscono una rappresentazione esaustiva della stazione, impongono studi filologici sulle scuole di ingegneria ferroviaria al fine di condurre alla formulazione di ipotesi interpretative atte a delineare la struttura nella sua interezza, come mostra l'approfondimento relativo alla ricostruzione della galleria dei treni, realizzata mediante l'utilizzo di una travatura reticolare ibrida in ferro e legno. Lo studio qui riportato, che ha come obiettivo la realizzazione di un modello digitale, reso fruibile attraverso un *tour* virtuale, ricercando, tramite esso, una maggior diffusione della conoscenza del patrimonio culturale tra la comunità, permettendo così a tutti di riscoprire le ragioni del luogo e rafforzare il proprio legame con esso.

Abstract

The research focuses on the origins of the project of the Perugia Fontivegge station identified in the historical drawings of Antonio Cipolla of 1851, a leading figure of the Unification of Italy. The case study examined represents an emblematic paradigm of a building culture that developed in the European scene. The design drawings, not providing an exhaustive representation of the train station, require philological studies on the railway engineering sciences in order to lead the formulation of interpretative hypotheses to delineate the structure in its totality, as shown in the in-depth study related to the reconstruction of the train tunnel, made through the use of a hybrid iron and wood lattice truss. The study shown here, which aims to create a digital model, made accessible through a virtual tour, searching, through it, for a wider dissemination of knowledge of cultural heritage among the community, thus enabling everyone to rediscover the meaning of the place and strengthen their connection with it.

Introduzione

Lo studio parte dalle tavole riferite alla prima ipotesi progettuale della stazione di Perugia Fontivegge del 1851, a oggi realizzata, ma con soluzioni profondamente diverse dall'originale visibili in Figura 1, depauperate dai valori architettonici proposti in una soluzione architettonica dal carattere più tipologico visibile. Tali tavole, curate dall'architetto Antonio Cipolla e custodite nell'archivio storico dell'Accademia di San Luca a Roma, sono state poste alla base della ricostruzione del modello digitale, con l'obiettivo di realizzare una navigazione immersiva del fabbricato in questione. In tal modo si vuol rendere accessibile una "utopia" del passato, identificata nella stazione mai realizzata, al fine di far emergere ed enfatizzare la memoria architettonica del luogo, oramai dimenticata. Tuttavia, poiché le tavole della prima ipotesi progettuale della stazione di Perugia rappresentano solo una porzione dell'edificio è stato indispensabile condurre un'analisi filologica dettagliata al fine di integrare i dati esistenti tramite analogie tipologiche e completare la digitalizzazione del fabbricato nella sua totalità.

Nel presente contributo, si descrivono i casi di studio e le ipotesi che hanno permesso la ricostruzione della copertura della galleria dei treni, una struttura in ferro e legno intercalata da elementi in vetro.

L'architettura del ferro

L'Ottocento fu un secolo di grandi trasformazioni sociali, politiche ed economiche. In tale ricco e complesso contesto storico, prese forma l'architettura del ferro, che diede origine a un'innovazione materica senza precedenti, un cambiamento che non si era manifestato sin dai tempi dell'Impero Romano (Benjamin, 2014). Ghisa e acciaio mutarono la loro funzione da materiali accessori a primari, grazie anche all'industrializzazione e agli sviluppi delle tecnologie di produzione, che portarono a una forte riduzione dei loro costi (De Fusco, 1993).

Nella prima metà del XIX secolo, l'architettura del ferro non delineò uno stile architettonico unitario e ben definito, ma si affiancò all'architettura eclettica dell'Ottocento, mediante la realizzazione di parti della struttura, ad esempio coperture di edifici, sia esistenti sia di nuova realizzazione, o la costruzione di armature metalliche occultate da altri materiali, producendo una significativa, seppur lenta, innovazione nelle tecniche costruttive (Roisecco, 1972; Pisanu, 2015). Nella seconda metà del XIX secolo la nascita di stazioni, serre, gallerie e mercati coperti, caratterizzati da una nuova concezione spaziale interna, portò alla sperimentazione di nuove tipologie di coperture, che rispondevano alla richiesta di chiusure con ampia luce e grandi vetrate per permettere l'illuminazione naturale. Tale sperimentazione diede vita a innovative soluzioni costruttive, a un nuovo linguaggio, tramite la combinazione di ferro e vetro, dove alla base dell'idea progettuale si impostano leggerezza, solidità e trasparenza (Selvatico, 1856; De Fusco, 1980). Con il tempo, infatti, si sviluppò una

Fig. 1 - Stazione di Perugia Fontivegge: configurazione attuale.

vera e propria «architettura dell'ingegneria» (Roisecco, 1972). L'architetto, di fronte ai nuovi materiali di cui non conosceva le caratteristiche e le potenzialità, si rivolse alla figura emergente dell'ingegnere con solide competenze nel campo della matematica e della fisica, ma con lacune nel campo artistico. Si creò così una nuova figura professionale, l'architetto-ingegnere, che ha rivoluzionato l'estetica delle costruzioni attraverso la creazione di un connubio tra i diversi stili architettonici e l'adozione di nuove tecniche e materiali. Si segna quindi: «il momento dell'incontro tra l'innovazione tecnologica dettata dall'introduzione del nuovo materiale e l'invenzione progettuale indirizzata a promuovere l'affinamento e la successiva generalizzazione dei sistemi costruttivi correlati» (Zorgno, 1988).

Le stazioni ferroviarie

Intorno agli anni Trenta dell'Ottocento cominciò a diffondersi la tipologia edilizia della stazione ferroviaria. La progettazione, nel periodo iniziale, a causa dell'alta complessità venne scissa fra architetti e ingegneri. I primi si occuparono di facciate e ambienti destinati al pubblico, mentre i secondi, principalmente, della copertura della galleria delle macchine, ricercando entrambi un'armonia fra le due parti non sempre riuscita. Successivamente alla pubblicazione di manualistica ferroviaria (Chabat, 1862; Fadda, 1915), aiutato da standardizzazioni in essa presenti, l'ingegnere si occupò anche della progettazione degli edifici ferroviari nella loro interezza. Nella progettazione della chiusura orizzontale della galleria dei treni conversero la problematica della grande ampiezza di luce, richiesta dalla disposizione dei binari e delle banchine, e quella di un'adeguata illuminazione naturale. Grazie all'introduzione del ferro e del vetro in architettura, che permise una quasi totale smaterializzazione delle strutture portanti e un'illuminazione zenitale, fu risolto tale problema (D'Agostino, 2013). La copertura, nella maggior parte degli edifici ferroviari, si impiantava su una costruzione di stile neorinascimentale, estremizzando così la dicotomia fra le parti: la monumentalità della base e la leggerezza della copertura.

La galleria dei treni assunse, quindi, quasi nella totalità dei casi carattere a sé stante, divenendo entità distinta e autonoma rispetto al fabbricato principale.

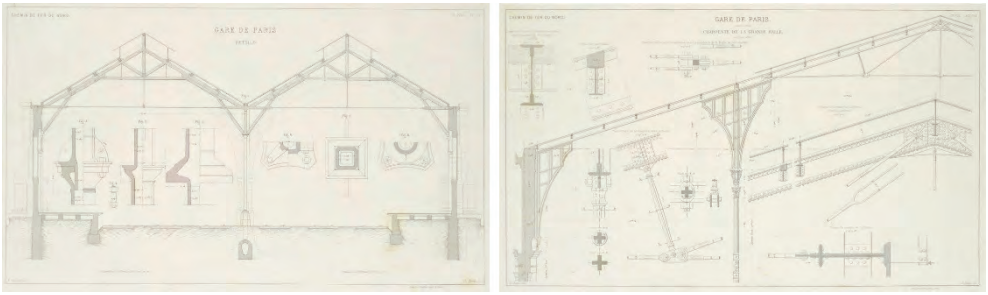


Fig. 2 - Gare du Nord: dettagli e particolari costruttivi della copertura di Gare du Nord I, a sinistra, e Gare du Nord II, a destra (Chabat, 1862).

Nella parigina Gare du Nord di Hittorf, costruita nel 1840, architettura di riferimento per le stazioni francesi, si compì un primo tentativo embrionale di una copertura per la galleria dei treni tecnologicamente all'avanguardia, tramite accostamento di due capriate lignee. Nella Gare du Nord II del 1846 la chiusura orizzontale evolvé divenendo un'unica entità in ferro e vetro, con la facciata innestata nel prospetto principale per permetterne la lettura anche dall'esterno (Chabat, 1862). Si riscontra una progressione nella dicotomia fra fabbricato e copertura cercando una prima interazione e integrazione fra le parti (Pevsner, 1976). In Figura 2 sono riportati alcuni dettagli e particolari costruttivi delle due coperture.

Nella stazione di Gare de l'Est II la copertura dei binari si imposta su travature reticolari ad arco ribassato, con lanternino sommitale per permettere una corretta evacuazione dei fumi dovuti ai convogli sottostanti e la struttura si prolunga e proietta nel prospetto tramite vetrata semicircolare, come mostrato in Figura 3; questa soluzione compositiva fu riproposta in King's Cross, nella Gare du Nord II, a Roma Termini, a Batignoles, a Francoforte sul Meno e a Torino Porta Nuova (Ventura, 2004). Con l'aumentare delle linee, nelle stazioni di testa aumenta anche il numero di binari da servire, rendendo obsoleto il sistema di copertura singolo; in Germania, infatti, si decise di accostare orizzontalmente più gallerie dei treni, come ad esempio nella stazione di Monaco (D'Agostino, 2013).

Le prime stazioni italiane, Monza, Milano, Napoli Porta Nolana e Napoli al Carmine, furono realizzate nel 1840 e si componevano esclusivamente di un corpo principale in stile neoclassico. Nel ventennio successivo, gli edifici ferroviari italiani si allinearono alle tendenze europee, per cui fu inserita la galleria dei treni con componenti principali in ferro e vetro, come si nota nelle grandi stazioni di Milano, Napoli Centrale (1866), Genova Piazza Principe (1860) (Zordan, 2006). Invece, nelle stazioni ferroviarie meno rilevanti, sempre a livello nazionale, si fece ricorso a una combinazione di ferro, legno e vetro, come nella stazione di Alessandria di Alessandro Mazzucchetti. Tale scelta fu motivata principalmente da un costo minore senza compromettere la solidità e l'effi-

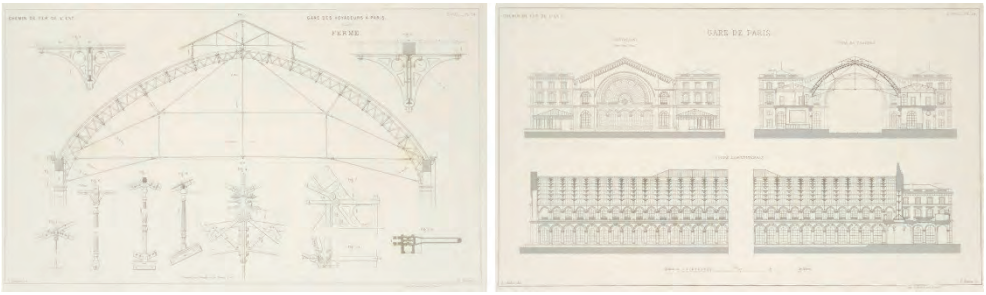


Fig. 3 - Gare de l'Est II: dettagli e particolari costruttivi della copertura, a sinistra, e prospetti e sezioni, a destra (Chabat, 1862).

cienza delle strutture; anche per questo motivo, oltre che facilitare l'assemblaggio sul luogo, si ricercò costantemente l'applicazione di tecniche di prefabbricazione e modularità, privilegiando in particolare l'impiego di sistemi di fissaggio come la chiodatura (Cantalupi, 1858). Consigliata nella manualistica ferroviaria (Chabat, 1862; Fadda, 1915), la tipologia costruttiva più utilizzata nella copertura della galleria dei treni fu quindi quella della travatura reticolare (D'Agostino, 2013).

Stazione di Perugia Fontivegge

In tale contesto si inserisce la prima ipotesi progettuale della stazione di Perugia Fontivegge ideata dall'architetto Antonio Cipolla nel 1851, mai realizzata nella sua concezione iniziale, attualmente in esame. Tale progettazione ben si inserisce nel contesto dell'architettura del ferro presentando una struttura neorinascimentale sormontata da una galleria dei treni. Le tavole progettuali presenti nell'Archivio dell'Accademia di San Luca la rappresentano solo nei prospetti, non offrendo così una descrizione esaustiva della costruzione. Con il fine di riprodurre un modello tridimensionale che si avvicinasse nel modo più accurato possibile al progetto originale, è stata seguita la seguente metodologia. In una prima fase sono state replicate digitalmente le tavole presenti negli archivi, come evidenziato nelle Figure 4 e 5, al fine di fornire un punto di partenza. In seguito, sono stati ipotizzati i prospetti mancanti e la pianta delle coperture; infine è stato ricostruito il modello tridimensionale esplorabile nella sua interezza. In merito alla ricostruzione della galleria dei treni, si è intrapresa un'analisi approfondita di diversi casi similari al fine di trarne spunto per la sua determinazione. Tra i casi di studio analizzati, vi sono quelli del manuale ferroviario di Fadda, la galleria Vittorio Emanuele II di Milano, il progetto della galleria dei treni di Alessandria di Cipolla e il progetto della stazione di Alessandria, qui di seguito brevemente descritti. Tale scelta viene motivata dalle analogie tipologiche e costruttive rilevate fra la stazione di Perugia e i casi di studio in analisi, oltre che alla loro rilevanza storica, architettonica e tecnologica nell'ambito dell'architettura ferroviaria dell'Ottocento.

Fig. 4 - Digitalizzazione della tavola di progetto della prima ipotesi progettuale del prospetto principale della stazione di Perugia Fontivegge del 1851.

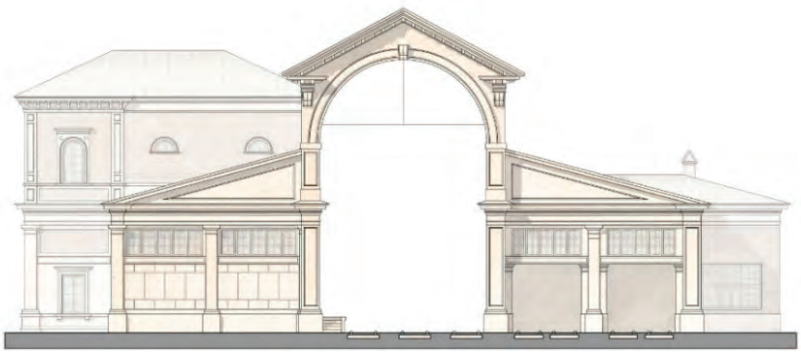


Fig. 5 - Digitalizzazione della tavola di progetto della prima ipotesi progettuale del prospetto laterale della stazione di Perugia Fontivegge del 1851.

Galleria Vittorio Emanuele II

Come primo caso di studio per la ricostruzione della galleria dei treni della stazione di Perugia, viene analizzata la Galleria Vittorio Emanuele II di Milano, a causa dei legami professionali intercorsi tra Cipolla e Giuseppe Mengoni, dove il secondo ha ricoperto il ruolo di allievo e collaboratore del primo nei cantieri delle strade ferrate, operando sotto la supervisione dell'ingegnere francese Jean Louis Protche (Boito, 1895; Sarlin, 2010). Il progetto complessivo fu affidato a Mengoni, ma per i calcoli, la messa a punto esecutiva e la produzione delle componenti venne incaricata la ditta francese Henri Joret et Cie. Costruita fra il 1865 e il 1867, questa Galleria è un ampio spazio cruciforme a destinazione commerciale, ristretto solo al traffico pedonale, sormontato da una chiusura in ferro e vetro, come si vede in Figura 6 (Ramazzotti e Bezzera, 1852). La copertura a botte ad arco ribassato è interrotta nella parte centrale, per quasi tutta la lunghezza, da una costruzione sopraelevata, sempre in ferro e vetro, con copertura a doppia falda, detta lanternino. Nell'intersezione dei bracci si erge una cupola monumentale a base ottagonale, composta da sedici centine colle-

Fig. 6 - Galleria Vittorio Emanuele II: foto di cantiere della costruzione (Selvafolta, 2018).

gate da sei anelli di irrigidimento poggiati su otto archi perimetrali con gli attacchi mascherati sotto decorazioni in ferro (Gioeni, 1994; Pisanu, 2015; Selvafolta, 2018).

Nella Galleria Vittorio Emanuele II il ferro assunse una diversa connotazione, da materiale subordinato alla mera funziona statica divenne concorrente diretto delle classiche strutture murarie e lignee (Jorini, 1892). La galleria Vittorio Emanuele II fu innovativa rispetto alle costruzioni europee del suo genere divenendo un modello da imitare (Jodice, 1985).

Da un confronto tra il prospetto della stazione di Perugia e quello della galleria di Milano, si osserva una discontinuità materica nella copertura della seconda, assente nella prima; conseguentemente si ipotizza che la copertura della stazione di Perugia non fosse integralmente costituita in vetro. Inoltre, le centine in ferro richiedevano una struttura di sostegno laterale molto estesa, ma nel prospetto laterale di Perugia, si constata che la copertura della galleria delle macchine, come si nota in Figura 5, posa su sottili colonne, per cui è stata eliminata l'ipotesi di un'ossatura esclusivamente metallica simile a quella milanese, che sarebbe risultata estremamente dispendiosa.

Stazione di Alessandria

La stazione di Alessandria, in Figura 7, ideata da Mazzucchetti, è stata analizzata in virtù delle relazioni professionali tra l'architetto e Cipolla, che collaborarono nella metà dell'Ottocento nella progettazione degli edifici ferroviari dell'Italia Centrale, supervisionati da Protche. Tra i documenti relativi ai progetti di Cipolla per le strade ferrate, conservati presso l'Accademia di San Luca a Roma, emerge un disegno riguardante l'ideazione della copertura della stazione di Alessandria. Si evidenziano notevoli somiglianze tra i due progetti: in entrambi la struttura reticolare si dispone ad arco, sostenuta da colonne e da un tirante centrale in metallo, ed è composta da centine di legno collegate e integrate mediante bulloni in ferro e ghisa.

Fig. 7 - Galleria dei treni di Alessandria progettata da Alessandro Mazzucchetti (Bodrato e Perin, 2018).

Alla luce di tali analogie, si avanza l'ipotesi che il progetto per la stazione di Perugia possa condividere similitudini concettuali con le due soluzioni precedentemente esaminate, nello specifico in una copertura non interamente metallica bensì caratterizzata da una composizione mista di ferro e legno.

Manualistica ferroviaria

A partire dalla prima metà dell'Ottocento furono realizzate delle pubblicazioni di carattere tecnico sulla realizzazione delle opere ferroviarie, poiché si sentiva l'esigenza di predisporre per i tecnici un corpo di informazioni atte a snellire le fasi progettuali (Reynaud, 1867). Tale manualistica di settore assunse un ruolo cardine, identificando le linee guida per i fabbricati in cui erano standardizzati i processi progettuali mediante l'inclusione di tavole rappresentative che illustravano le configurazioni delle stazioni e i dettagli costruttivi significativi. Tali documenti hanno costituito preziose risorse di riferimento, fornendo modelli esemplificativi e aiutando così a garantire la coerenza e l'efficienza nelle pratiche costruttive. Diviene rilevante come il progettista interpreta tali modelli e li modifica adeguandosi a contesto, cultura e stile del tempo. Manuale degno di nota fu quello di Chabat Pierre, trattatista ferroviario francese, che nel 1860 standardizzò le costruzioni ferroviarie, raccogliendole e sintetizzandole in tipi e tipologie in base al numero di viaggiatori previsti nell'edificio (Chabat, 1862).

In Italia, inizialmente venne tradotta la trattatistica estera, principalmente di origine francese, ma, in seguito, dopo svariati anni e a tecnica acquisita, nacquero i primi manuali italiani. Il principale fu "Costruzione delle strade ferrate e delle tramvie", di Stanislao Fadda (Fadda, 1915): circa 8000 pagine e 900 tavole nelle quali erano descritti dispositivi, apparati e veicoli attinenti alle ferrovie, compresa la tavola in Figura 8 che descrive una tipologia di copertura reticolare con struttura portante interamente lignea impostata su una centina ad arco ribassato, poggiata su colonne.

Copertura della stazione di Perugia

L'ipotesi, operata dagli autori, per la ricostruzione digitale della copertura della galleria dei treni si basa, a seguito dell'analisi dei casi di studio sopra descritti, sul progetto di per la stazione di Alessandria e le tavole progettuali presenti nel manuale di Fadda. La copertura a botte, la cui ricostruzione è in Figura 9, fu realizzata attraverso l'impiego di una travatura reticolare ibrida, composta da elementi sia in ferro che in legno, con l'uso di bulloni chiodati per garantire un solido collegamento tra le varie parti strutturali. Questa complessa struttura si integra con la muratura attraverso l'uso di un supporto metallico, il quale non solo offre ancoraggio, ma contribuisce anche a contenere le spinte orizzontali. Un ulteriore elemento di stabilità è dato dalle decorazioni in pietra, strategicamente posizionate in corrispondenza della centina, che svolgono un ruolo chiave nel garantire la solidità dell'intera struttura.

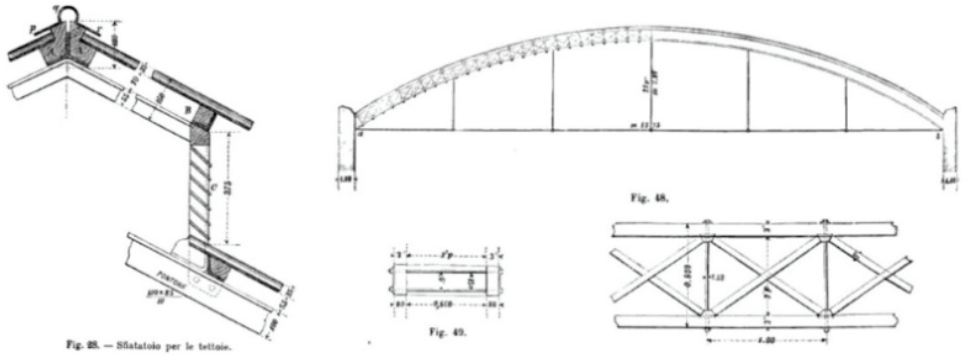


Fig. 8 - Linee guida per la progettazione di lanterne e copertura lignea per la galleria dei treni secondo il manuale di Stanislao Fadda (Fadda, 1915).

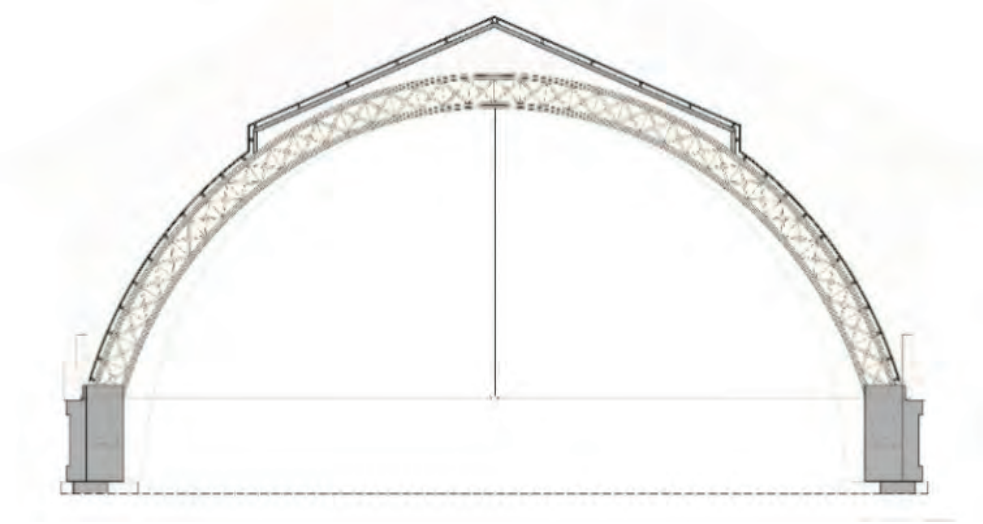


Fig. 9 - Ipotesi progettuale per la copertura della galleria delle macchine della stazione di Perugia Fontivegge.

Nella parte superiore della copertura, gli arcarecci svolgono la funzione di supporto per le tegole in ardesia, mentre una travatura lignea è posizionata accuratamente per offrire sostegno alle vetrate dei lanternini. Questo approccio meticoloso alla progettazione non solo mira a garantire la stabilità strutturale dell'edificio, ma tiene conto anche di considerazioni estetiche e funzionali, assicurando un'armoniosa integrazione tra materiali ed elementi architettonici, come mostrato in Figura 10.

Fig. 10 - Fotoinserimento, nello stato attuale, della stazione di Perugia nella sua ipotesi originaria.

Conclusioni

L'analisi rappresentativa delle tavole di Antonio Cipolla, sostanziata dalla ricerca filologica, conferma il ruolo del disegno nel comprendere ed evidenziare le peculiarità architettoniche di un periodo storico. Attraverso un'analisi dei progetti iniziali e delle fonti storiche, è stato possibile esaminare le caratteristiche distintive e le sfide affrontate da alcuni progettisti di stazioni ferroviarie dell'epoca, capaci di innovare l'architettura realizzando strutture leggere, trasparenti e luminose con composizioni di soluzioni integrate fra i materiali trasformati nel loro utilizzo, quali ferro, legno e vetro. Le stazioni ferroviarie, in particolare, emergono come esemplari emblematici, incarnando sia l'innovazione tecnologica che la ricerca di una nuova espressività architettonica. Questi nodi di scambio e connessione si configurano non solo come luoghi di transito e movimento, ma anche come autentici manifesti delle possibilità offerte dall'architettura del ferro nell'ambito della costruzione di spazi pubblici di rilevanza sociale e culturale.

La presente ricerca, portando a fare emergere la cultura progettuale originaria, può permettere di ricollocare il progetto iniziale nell'attuale configurazione urbana (Bianconi *et al.*, 2022). Essa si sviluppa all'interno del percorso di rigenerazione urbana che ha interessato l'area di Fontivegge a Perugia (Bianconi e Filippucci, 2018) e che ha visto il pieno coinvolgimento dell'Università degli Studi di Perugia. L'approccio filologico presentato si propone con l'obiettivo prettamente culturale di condividere i significati, aprendo nelle simulazioni alla comunità il valore del patrimonio culturale presente nel luogo e nella storia, attraverso un coinvolgimento che si basa su logiche di *serious games* insite nella ricostruzione della realtà virtuale (Bianconi et al., 2020; Bianconi et al., 2023). Lo studio diviene quindi l'occasione per rendere tangibile ed esplorabile ciò che altrimenti sarebbe immateriale, proponendo una fruizione del patrimonio culturale con linguaggi contemporanei (Bianco-

ni e Filippucci, 2018). Impostando il modello digitale come punto di partenza è stato realizzato un *tour* immersivo, tramite la piattaforma *Unity online* [1], della stazione mai realizzata, inserita nel contesto reale. Lo scenario virtuale della stazione mai realizzata crea interesse per la stazione ferroviaria reale, aiutando a leggere il luogo da un punto di vista diverso e in tal modo operare una riqualificazione: dai disegni, intuibili e leggibili solo da chi ha conoscenze specifiche, si passa a una lettura accessibile a tutti (Bianconi *et al*., 2022). In una seconda fase il modello è stato importato nella piattaforma di *Unreal Engine* per permettere l'esplorazione del modello in loco. È stata sviluppata un'applicazione che permetta due livelli di conoscenza: la visualizzazione del modello dall'esterno e l'esplorazione in realtà virtuale dell'interno. Con tale modalità diviene possibili osservare da vicino i dettagli e le caratteristiche dell'edificio trasformando l'intangibile in tangibile, promuovendo un dialogo costante fra passato e presente (Bianconi *et al.*, 2023; Picon, 2010).

Bibliografia

Benjamin W. 2014. *Parigi, capitale del XIX secolo* (a cura di A. Fortini). Brescia: Temperino Rosso.

Bianconi F., Filippucci M. 2018. Rappresentazione, percezione, progetto. Il ruolo dell'Università per Perugia città smart. In: *Rappresentazione Materiale/Immateriale - Drawing as (in) Tangible* (a cura di R. Salerno). 37-48. Roma: Gangemi.

Bianconi F., Filippucci M., Cornacchini F. 2020. Play and transform the city. *Sciresit.It*, *2*.

Bianconi F., Filippucci M., Cornacchini F., Meschini M., Mommi C. 2023. Cultural Heritage and Virtual Reality: Application for Visualization of Historical 3D Reproduction. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-M–2.

Bianconi F., Filippucci M., Mommi C. 2022. The Seduction of the Simulation. 3D Modelling and Storytelling of Unrealized Perugia Rail Station. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 43 (B2-2022).

Bodrato E., Perin A. 2018. Strada ferrata e militari: alcune stazioni sulla linea Torino-Genova. In: *Gli spazi dei militari e l'urbanistica della città l'italia del nord-ovest (1815-1918), 10/2018* (a cura di C. Devoti), Acquapendente: Edizioni kappa

Boito C. 1895. Rivista di giornali e notizie varie - il Balzaretti, il Garavaglia, il Cipolla. il politecnico. Giornale Dell'Ingegnere Architetto Civile ed Industriale.

Cantalupi A. 1858. *Le strade ferrate considerate nei rapporti tecnici, amministrativi e commerciali*. Milano: Tipografia di Domenico Salvi e c.

Chabat P. 1862. *Bâtiments de chemins de fer: embarcadères, plans de gares, stations, abris, maisons de garde, remises de locomotives, halles à marchandises, remises de voitures, ateliers, réservoirs, etc.* Paris: A. Morel.

D'Agostino P. 2013. *Stazioni ferroviarie. Riflessioni tra disegno e progetto*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

De Fusco R. 1980. *L'architettura dell'Ottocento*. Torino: UTET.

De Fusco R. 1993. *Mille anni d'architettura in Europa*. Bari: Laterza

Fadda S. 1915. *Costruzione ed esercizio delle strade ferrate e delle tramvie*. Torino: Unione tipografico-editrice torinese.

Gioeni L. 1994. Giuseppe Mengoni ingegnere-architetto (1829-1877). In: *Un architetto dell'ottocento: Giuseppe Mengoni* (a cura di B. Bonantini). Bologna: Edizioni Cooperativa Marabini.

Jodice R. 1985. *L'Architettura del ferro: l'Italia, 1796-1914*. Roma: Bulzoni.

Jorini A. F. 1892. La cupola della Galleria Vittorio Emanuele II a Milano. L'Edilizia Moderna, 1(2), 4–6.

Migliosi A., Bianconi F., Filippucci M., Mommi C. 2024. La fabbrica della Perugina a Fontivegge: ricostruzione di un luogo identitario della storia. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S, D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Pevsner N. 1976. *A history of building types*. Princeton: Princeton University Press.

Picon A. 2010. *Digital culture in architecture*. Basel: Birkhäuser.

Pisanu M. 2015. Steel construction in Italy in the 1930s: the case of the Società Nazionale Officine di Savigliano. In Tema: Technology, Engineering, Materials and Architecture, 1(2), 42-47.

Ramazzotti G., Bezzera I. 1852. *Milano illustrato: album* (a cura di T.G. Longoni). Milano: Arrigoni.

Reynaud L. 1867. *Traité d'architecture, Deuxiéme Partie: Composition del édifices.* Paris: Dunon Editeur.

Roisecco G. 1972. *L'architettura del ferro*. 3. Roma: Bulzoni.

Sarlin S. 2010. Antonio Cipolla, architecte du palais Farnèse. Mélanges de l'École Française de Rome - Italie et Méditerranée Modernes et Contemporaines, 122–2, 347–370.

Selvafolta O. 2018. *Sotto il cielo di cristallo - Un racconto della Galleria Vittorio Emanuele II a 150 anni dall'inaugurazione*. Milano: Civica stamperia.

Selvatico P. 1856. *Storia estetico-critica delle arti del disegno, ovvero l'Architettura, la pittura, la statuaria considerate nelle correlazioni fra loro e negli svolgimenti storici, estetici e tecnici lezioni dette nella IR Accademia di belle arti in Venezia* (Vol. 1). Venezia: Company'tipi di Pietro Naratovich.

Ventura P. 2004. *Città e stazione ferroviaria*. Firenze: Firenze University Press.

Zordan M. 2006. *L'architettura dell'acciaio in Italia*. Roma: Gangemi Editore.

Zorgno A. M. T. 1988. *La materia e il costruito*. Firenze: Alinea.

Sitografia

[1] https://play.unity.com/mg/other/compresso1

Nota

[1] L'analisi presentata nel contributo è frutto di un lavoro di ricerca condotto in parallelo al Piano Periferie e alla riqualificazione del quartiere di Fontivegge a Perugia che analizza l'evoluzione storica dell'ampia area interessata dai progetti di risanamento. Dopo la realizzazione della stazione ferroviaria nel XIX secolo, quest'area perse progressivamente il suo carattere agricolo e acquisì una grande importanza, soprattutto a partire dal secolo successivo, con l'insediamento nelle vicinanze della Perugina e di altre grandi realtà industriali. Alla stessa ricerca fa riferimento (Migliosi *et al.*, 2024).

Lia Maria Papa

L'ingegnere Pasquale Amodio e l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli

The engineer Pasquale Amodio and the Aeronautical Academy of Pozzuoli

Sommario
Nel 2023 è ricorso il centenario dell'Accademia Aeronautica di Pozzuoli, prestigiosa scuola militare sita nell'area flegrea, nota per le sue risorse storiche e paesaggistiche ma anche per i numerosi eventi sismici che hanno inciso sulla sua morfologia. Con l'ausilio di un opportuno apparato di immagini e disegni, questo intervento vuole fornite un contributo di conoscenza dell'opera e della figura del suo progettista, l'ingegnere Pasquale Amodio. Laureatosi nel 1931 presso la Reale Scuola di Ingegneria di Napoli, egli ha saputo ben inserirsi nel contesto culturale e politico della metà del Novecento coniugando la sua attività di progettista con l'insegnamento del Disegno tenuto in quella struttura formativa di prestigio che, nel 1935, diventa la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II, dalla quale peraltro l'Accademia attinge i suoi docenti non militari. L'ingegnere Amodio ha quindi l'opportunità di essere coinvolto nella progettazione dell'Accademia Aeronautica, un'opera complessa che interessa un'area di oltre 240.000 m^2, organizzata funzionalmente in vari corpi di fabbrica e ampi spazi aperti. Nel lungo iter progettuale egli fa tesoro dei principi espressi dall'architettura classica, guardando nel contempo al linguaggio di alcuni noti maestri del Novecento; inoltre utilizza elementi di tamponamento prefabbricati che assumono un ruolo non secondario nel disegno dei vari involucri edilizi, mentre molti coevi progettisti, pur attirati dalla produzione industriale, non sono in grado di comprendere a fondo le potenzialità del binomio industria-architettura.

Abstract
In 2023 was celebrated the centenary of the Aeronautical Academy of Pozzuoli, a prestigious military school located in the phlegraean area, known for its historical and landscape resources but also for the many seismic events that have affected its morphology. With the aid of an appropriate array of images and drawings, the article presented aims to provide a contribution to knowledge of building complex and of the figure of its designer, the engineer Pasquale Amodio. Graduated in 1931 at the Royal School of Engineering in Naples, he has been well placed in the cultural and political

context of the mid twentieth century, combining his activity as a designer with the teaching of drawing held in that prestigious educational structure that, in 1935, it became the Faculty of Engineering of the University of Naples Federico II, from which the Academy draws its nonmilitary teachers. The engineer Amodio therefore has the opportunity to be involved in the design of the Aeronautical Academy, a complex work involving an area of over 240,000 square meters, functionally organized in various buildings and large open spaces. In the long design process he treasures the principles expressed by classical architecture, while at the same time looking at the language of some well-known masters of the twentieth century; also uses prefabricated wall elements that take on a not secondary role in the design of various building envelopes, while many contemporary designers, although attracted by industrial production, are unable to fully understand the potential of the industry-architecture combination.

Introduzione

Per vari anni ho svolto attività didattica come docente federiciano di Disegno nell'ambito del Corso di Ingegneria Civile erogato presso l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli; ho avuto così modo di approfondire le conoscenze relative al complesso iter realizzativo dell'opera e alla figura del suo progettista, l'ingegnere Pasquale Amodio.

Le ricerche condotte, e soprattutto il repertorio di disegni e testi criticamente analizzato e solo in piccola parte riportato nel presente lavoro, hanno evidenziato alcuni interessanti aspetti del linguaggio descrittivo del progettista, della sua formazione, diremmo oggi di ingegnere-architetto, e della sua opera senz'altro più rilevante[1] che si colloca in un'area nota per le sue qualità storiche e paesaggistiche (Cardone e Papa, 1993), di cui in Figura 1 sono mostrate alcune immagini.

Una sede per la nuova Accademia Aeronautica

L'Accademia Aeronautica di Pozzuoli ha avuto una lunga gestazione, logistica e progettuale che è opportuno ricostruire, seppure sinteticamente. Il 28 marzo 1923 viene costituita la Regia Aeronautica, come terza e autonoma forza armata che necessita di percorsi e strutture adeguate alla formazione di ufficiali in servizio permanente, anche guardando all'esempio della Royal Air Force, creata nel 1918. Dal 1923, con apposito decreto, vengono quindi avviati i primi corsi di formazione ospitati presso l'Accademia navale di Livorno, sorta nel 1881 dalla fusione dell'Accademia Militare di Genova con quella di Napoli.

Gli insegnamenti di primo anno sono: Matematica generale, Letteratura italiana, Geometria descrittiva, Fisica, Chimica, Teoria elementare del volo, Teoria elementare dei motori, Navigazione aerea, Lingua inglese e francese. Gran parte dei docenti provengono dall'Accademia navale, come ad esempio Francesco Cecioni e Mario Tognetti, docenti di Geometria descrittiva, o Giuseppe Zanchetta, docente di Disegno di ornato e di architettura.

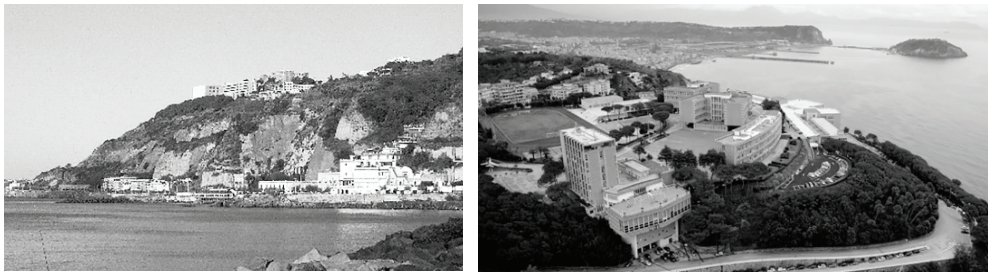


Fig. 1 - L’Accademia nel contesto paesaggistico flegreo: vista dal mare [1], a sinistra e vista aerea [2], a destra.

Successivamente, nel 1926, in relazione anche alla necessità di spazi più ampi e autonomi, si decide di trasferire l’Accademia a Caserta, dove rimane fino al 1935 (Rea, 1977, pp. 22-27**)**, anche per la relativa vicinanza a una sede universitaria dalla quale attingere docenti non militari[2], nonché con un campo di volo, quello di Capua, facilmente raggiungibile per le attività pratiche. I lavori di adattamento dell’ala occidentale del Palazzo Reale di Caserta, precedentemente occupati dalla Guardia di Finanza, sono diretti dal colonnello ing. Giuseppe Valle[3].

Nel 1945 l’Accademia si trasferìsce sull’isolotto di Nisida, prospiciente la costa puteolana. Nonostante la posizione sia favorevole in relazione al più ampio e ben servito contesto territoriale, gli spazi utilizzabili, circa 20.000 m^2, non sono rispondenti alle crescenti esigenze didattiche e di sviluppo dell’Istituto, sicché la ricerca di una sede definitiva per L’Accademia diventa un problema pressante, con la necessità di consentire anche un agevole raggiungimento della scuola di volo, nel contempo ubicata a Pomigliano D’Arco. Tra le varie possibilità logistiche si valuta anche quella della Reggia di Capodimonte, ipotesi fortemente osteggiata dal Collegio degli Ingegneri e degli Architetti di Napoli, nonché dalle competenti Soprintendenze territoriali (Rea, 1977, p. 235).

Nel 1955 il generale Umberto Fiori, con il supporto del generale Carlo Drago, suo predecessore, avvia ufficialmente la ricerca di un sito adeguato nei dintorni di Napoli (Rea, 1977, p.237), coinvolgendo l’ingegnere Amodio, progettista noto prevalentemente nel contesto locale e docente federiciano presso l’Accademia.
Dopo varie ipotesi, ben documentate da alcuni autori (Argenziano, 2011; 2020, pp. 11-19), primo tra tutti il citato Alberto Rea, e nonostante le polemiche e le opposizioni che la accompagnarono, la scelta cade su un’area di circa 240.000 m^2, posta a metà strada tra il quartiere di Bagnoli del comune di Napoli e il comune di Pozzuoli; il terreno è in gran parte demaniale ma presenta una morfologia non pianeggiante, a fronte di altri requisiti positivi tra i quali la vicinanza a Nisida, alle principali infrastrutture di collegamento, viarie e su ferro, nonché alla sede universitaria di Ingegneria, sita a Fuorigrotta.

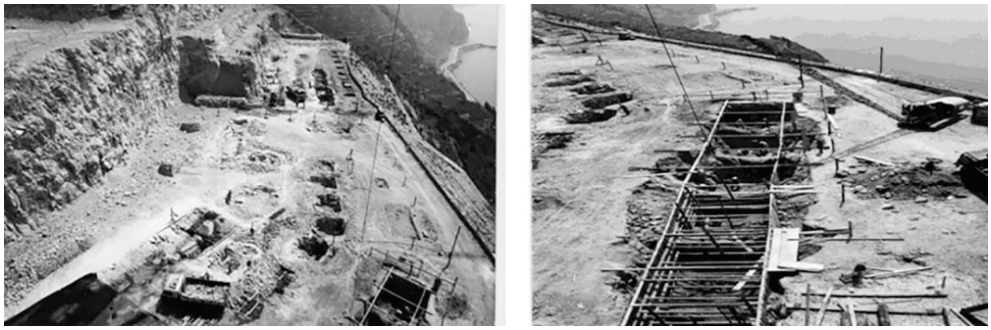


Fig. 2 - Alcune fasi di cantiere (Metta, 2020, p. 85).

I lavori di sbancamento dell'originaria collina, posta a 159 m s.l.m., iniziano nel 1958; essi sono onerosi e complessi, per poter ottenere un ampio piazzale posto a quota 151 m. s.l.m., oltre allo spazio per le residenze degli allievi ufficiali e gli altri edifici minori (Metta, 2020, p.85). Il contratto d'appalto di tutti gli edifici viene stipulato con varie, solide imprese, soprattutto di Roma e Milano, in relazione alle tipologie di opere a farsi: Eugenio Grassetto, S.A.B. De Girolami, Giocos. L'iter ideativo si conclude ufficialmente nel 1961 con la posa della prima pietra.

La figura di Pasquale Amodio, ingegnere

Pasquale Amodio nasce nel 1907 e si laurea nel 1931 presso quella che all'epoca è la Reale Scuola di Ingegneria partenopea (ASUnina, 1931). Le conoscenze tecnico-strutturali acquisite nel corso degli studi universitari e le successive esperienze di apprendistato cantieristico gli consentono un rapido inserimento nel contesto professionale campano. Fin dall'inizio della sua attività i suoi progetti evidenziano una spiccata vena artistica e pittorica, influenzata sicuramente dai contatti con Leonardo Paterna Baldizzi, architetto-ingegnere di origine palermitana che trascorre vari decenni a Napoli come docente, disegnatore e progettista (Paterna Baldizzi, 1943), conducendo numerose ricerche nell'ambito della storia dell'arte, dell'architettura e del restauro dei monumenti (Savorra, 2014). Ed è in particolare alla comprensione dei monumenti gotici attraverso la storia e il disegno che Amodio dedica una delle sue prime pubblicazioni (Amodio, 1941a)

Egli instaura scarsi rapporti di collaborazione con altri progettisti, anche nei concorsi di progettazione, pochi in verità, aventi inizialmente a oggetto soprattutto case littorie, in vari contesti, anche montani, si veda Figura 3. Coniuga la sua attività professionale con l'insegnamento del Disegno nella struttura formativa che dal 1935 diventa la Facoltà di Ingegneria dell'ateneo federiciano. Le sue pubblicazioni, in prevalenza su temi di Geometria descrittiva, insegnamento fondamentale nella formazione degli ingegneri civili e meccanici, sono date alle stampe soprattutto nella sua età più

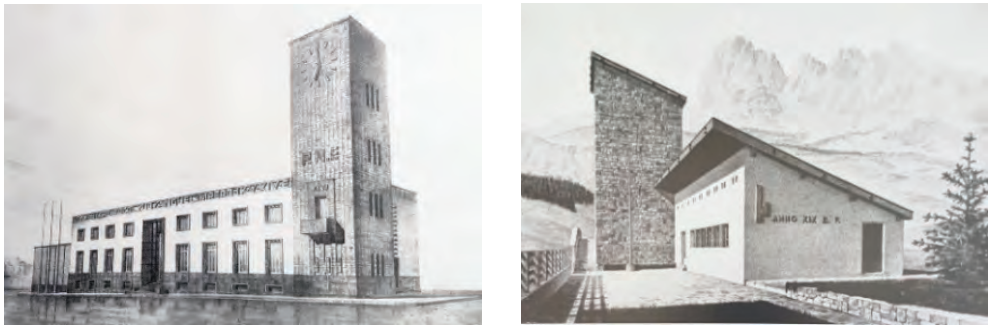


Fig. 3 - Progetto per casa littoria di Torre Annunziata (Amodio 1941b, p. 60)*, a sinistra, e progetto tipo di case littorie per piccolo centro di montagna* (Amodio 1941b, p. 50)*, a destra.*

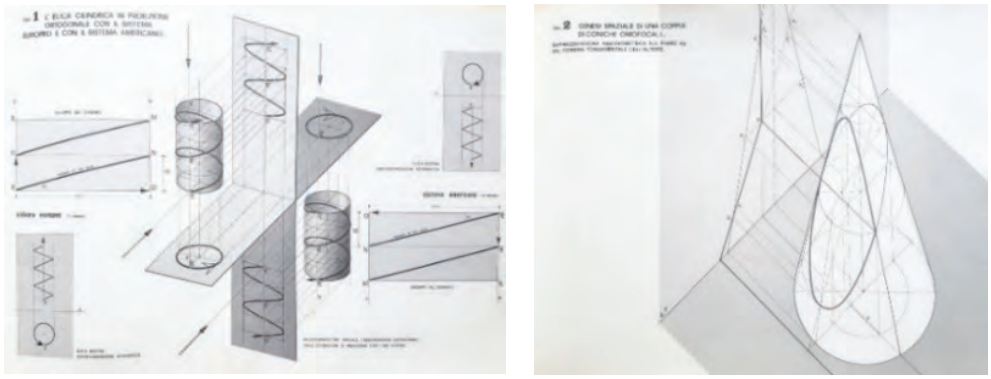


Fig. 4 - L’elica cilindrica in proiezioni ortogonali con il sitema europeo e con il sistema americano (Amodio, 1974a, Tav. 1)*, a sinistra, e genesi spaziale di una coppia di coniche omofocali* (Amodio, 1974b, Tav. 2)*, a destra.*

matura; esse si presentano prevalentemente in forma di album, di 47 cm · 33 cm, con sobria copertina in cartoncino in cui compare, oltre al nome dell’autore e al titolo, l’intestazione: Università di Napoli, Facoltà di Ingegneria, Istituto di costruzioni di macchine. In Figura 4 sono riportate due immagini tratte da sue pubblicazioni.

La vena artistica e la padronanza dei metodi di rappresentazione, soprattutto della prospettiva, consentono ad Amodio di evocare l’architettura pensata e il suo contesto ambientale, che disegna con grande efficacia servendosi anche degli effetti di scaglionamento percettivo indotti dalla introduzione artata degli alberi nelle sue scene, i quali invitano quasi l’osservatore all’interno dello spazio descritto. Tale padronanza grafica matura nel tempo assumendo un ruolo comunicativo più rilevante rispetto ai disegni tecnico-descrittivi redatti in proiezoni ortogonali e spesso essenziali o addirittura scarni nelle informazioni, come mostrato in Figura 5.

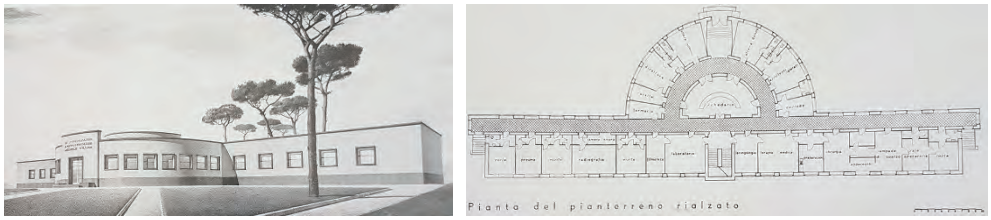


Fig. 5 - Dispensario antitubercolare Michele Villani di Torre del Greco (Amodio, 1941b, p. 68)*, a sinistra, e pontificio ospizio femminile Bartolo Longo di Pompei, pianta del pianterreno rialzato* (Amodio, 1941b, p. 106)*, a destra.*

Favorita anche dal clima culturale dell'epoca, la progettazione lo coinvolge sempre più, a scapito dell'impegno universitario e della ricerca. Nel 1974 pubblica una sorta di autobiografia per immagini, totalmente priva di commenti (Amodio, 1974c), con l'evidente finalità di dare contezza dei suoi vari interessi, nel campo della storia dell'architettura, della geometria descrittiva, del disegno dal vero, della pittura, ma soprattutto della progettazione a scala non solo ediliza ma anche urbana come risulta dal quartiere operaio Ilva realizzato a Torre Annunziata, sempre in Campania (Bizzarri, 2022, pp. 1135-1136).

Nel 1955 viene dunque coinvolto nell'iter progettuale dell'Accademia. che deve tra l'altro tener della configurazione del terreno dove si deve realizzare un complesso che, a lavori ultimati, è destinato a ospitare mille allievi. In tale percorso progettuale è stato indubbiamente rilevante il contributo di alcuni ufficiali dell'Aeronautica aventi formazione tecnica oltre che militare; infatti è anche grazie a tali costanti collaborazioni che l'ingegnere Amodio è in grado di dominare il complesso tema dell'inserimento dell'Accademia in un contesto di pregevole rilevanza, articolato morfologicamente e stratificato geologicamente e storicamente. Le varie soluzioni maturate testimoniano appunto le difficoltà della progettazione che mira a proporre corpi di fabbrica posti su terrazzamenti a quote diverse, sicché mentre le attività sportive trovano una loro coerente collocazione sfruttando le aree più pianeggianti, per le altre funzioni e soprattutto per i blocchi didattici e per quelli destinati alle residenze degli studenti le soluzioni si susseguono. In Figura 6 sono riportate la planimetria e la prospettiva di una delle prime soluzioni proposte da Amodio, quella del 1955. Nelle varie ipotesi sono proprio i disegni acquerellati, in prospettiva, a evidenziare alcuni orientamenti fondamentali per il progettista, il primo dei quali è la propensione per la forma curva, soprattutto cilindrica, intesa come elemento catalizzatore dal punto di vista percettivo oltre che funzionale. Egli inoltre tende a coniugare richiami classici con concetti di razionalità e funzionalità, per concorrere alla definizione di forme dalla nitida configurazione.

Una tale impostazione viene riproposta nel corso della sua attività in diversa misura ed esito, come ad esempio, nel già citato dispensario antitubercolare di Torre del

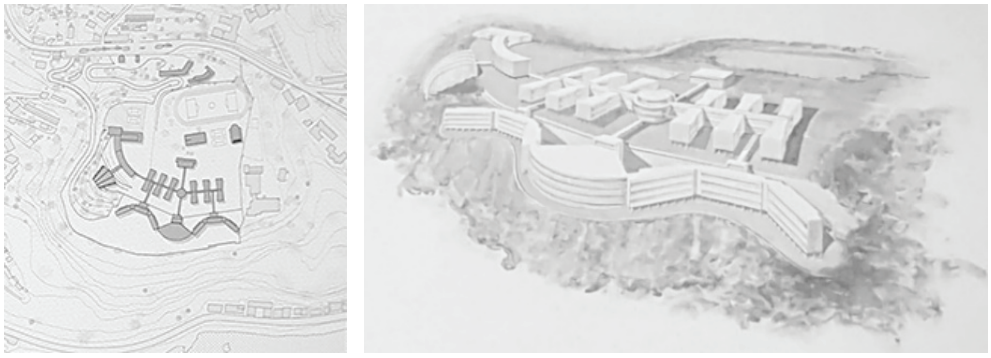


Fig. 6 - Prima proposta progettuale, 1955: planimetria, a sinistra, e prospettiva, a destra (Fondo Amodio, Biblioteca Ernesto Cesaro di Torre Annunziata).

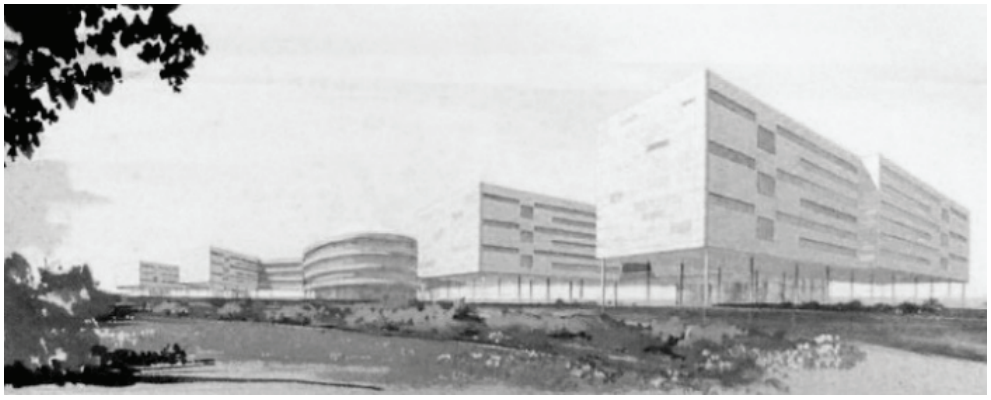


Fig. 7- Prospettiva acquerellata della seconda soluzione progettuale, 1958 (Fondo Amodio, Biblioteca Ernesto Cesaro di Torre Annunziata).

Greco, o nella Casa del Pellegrino a Pompei. Inoltre utilizza elementi prefabbricati di tamponamento che assumono un ruolo non secondario nel disegno dei diversi involucri edilizi, mentre molti coevi progettisti, attirati dalla produzione industriale, non sono in grado di percepire a fondo le potenzialità del binomio industria-architettura, probabilmente anche per la forte influenza che l’idealismo crociano ha esercitato sulla cultura italiana, compresa quella architettonica (Purini, 2016).

Il richiamo ai maestri del Novecento ispira una crescente permeabilità dei volumi sicché i blocchi edilizi, inizialmente pensati ancorati al suolo, si innalzano sui pilastri consentendo tra l’altro di leggere la regolarità della struttura verticale. La prospettiva acquerellata di una successiva soluzione, del 1958, in Figura 7, evidenzia la possibilità di traguardare i volumi, con una più efficace percezione del contesto paesaggistico.

La realizzazione dell'Accademia, tra funzione, forma e materia

I lavori del complesso vengono ultimati nel 1963, fatta eccezione per il corpo palestra-piscina, costruito nel 1967. Il sistema di viabilità interno all'Accademia si snoda per servire essenzialmente zone poste a quote diverse: un percorso conduce a quella in cui sono presenti, tra l'altro, la direzione e gli istituti scientifici, a quota 151 m s.l.m., mentre un altro percorso si snoda a quota inferiore per servire cinque blocchi destinati alle residenze degli allievi, posti a quota 122 m., dei quali quattro destinati a dormitori e servizi annessi, e quello centrale a mensa, aule studio, spazi ricreativi. In Figura 8 è riportata una foto dell'attuale complesso dell'Accademia.

Nella planimetria di Figura 9 sono evidenziati l'edificio comando e il blocco degli istituti scientifici, con riferimento alle foto di Figura 10, che fanno ben comprendere come le forme si relazionino agli spazi aperti dei piazzali antistanti, oltre ad avere un ruolo percettivo e di riconoscibilità.

In particolare, il corpo cilindrico accoglie i collegamenti che servono gli istituti scientifici i quali si sviluppano su tre livelli; al di sotto della loro quota sono collocate la chiesa e la sala proiezioni, con 1300 posti. Il perimetro complessivo è di 2.390 m, mentre i fabbricati hanno una superficie totale di 25.500 m^2, con una cubatura di 446 m^3 (Metta, 2020, p. 85).

I tamponamenti di facciata sono realizzati con pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato, con interposta armatura metallica a doppia orditura di barre dal diametro di 5 mm e finitura liscia in graniglia di marmo, in Figura 11.

I pannelli si presentano di forme e dimensioni diverse; in particolare quelli bugnati hanno una dimensione massima di 1,75 m, 1,60 m (A.M., 2012, p. 5), per garantire un effetto di chiaroscuro, come richiamo dell'autore all'architettura rina-

Fig. 8 - L'attuale complesso dell'Accademia [3].

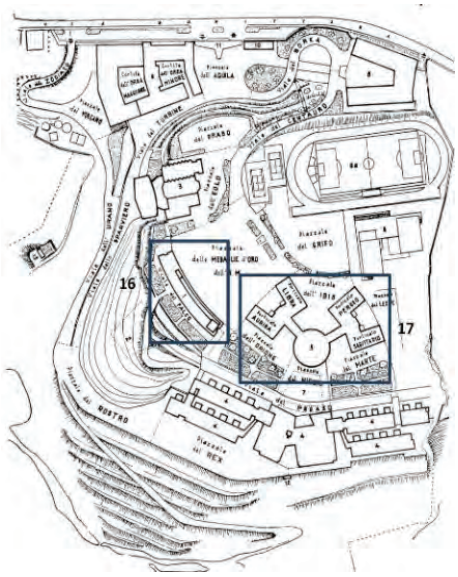


Fig. 9 - Planimetria generale (Rea, 1977, p. 292, rielaborato dall’Autrice).

Fig. 10 - Vista dell’edificio comando, in alto, e del nodo cilindrico degli istituti scientifici, in basso (foto dell’Autrice).

Fig. 11 - Pannelli di facciata, lisci e bugnati (foto dell’Autrice), *a sinistra e* (A.M., 2012, foto di copertina), *a destra.*

scimentale, si veda Figura 12. Non vi è dunque nessuna sovrapposizione decorativa ma sono gli stessi elementi modulari a movimentare la facciata con la loro nitida partizione geometrica, esposta alla luce.

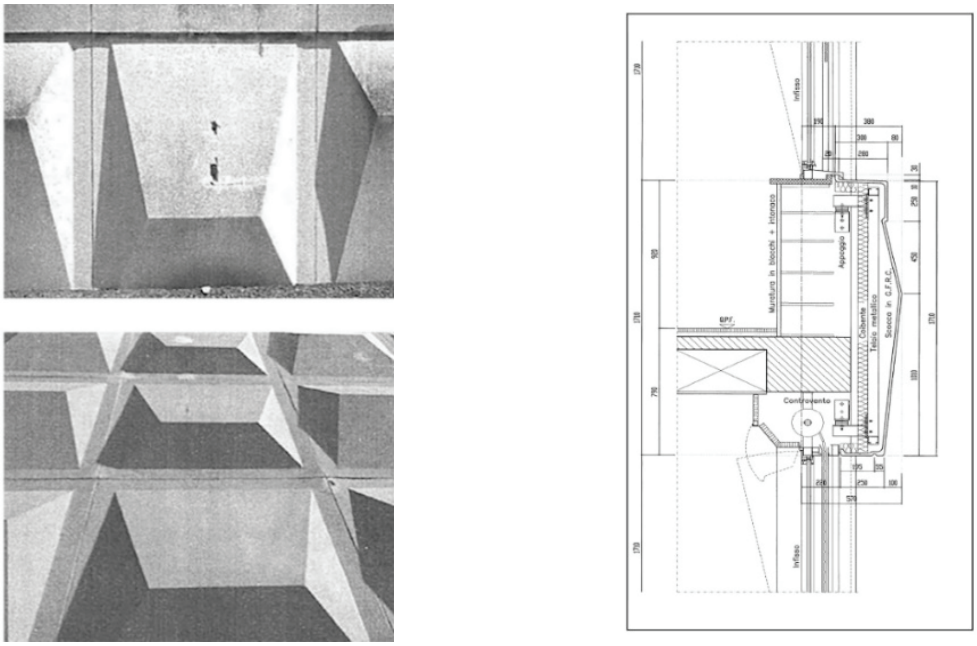


Fig. 12 - Pannelli bugnati di rivestimento (A.M., 2012, p. 6), a sinistra, e foto del disegno di dettaglio di un pannello bugnato (A.M. 2° Rep. Genio, 2012), *a destra*.

Conclusioni

In coerenza con le finalità del Convegno ho voluto fornire un contributo di conoscenza relativo a una figura di progettista che ha operato proficuamente in Campania nella metà del Novecento, esprimendo una delle componenti storiche dell'architettura italiana, ossia l'equilibrio tra tradizione e innovazione, e che si caratterizza per la varietà delle sue forme espressive, come si evince anche dalla sua opera più nota, l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli.

L'auspicio è di arricchire il quadro conoscitivo relativo a quelle figure di ingegneri e architetti che hanno operato nel territorio nazionale in un periodo storico ricco di eventi e fermenti, non solo culturali.

Ringraziamenti

Ringrazio il personale militare e civile dell'Accademia Aeronautica di Pozzuoli per aver favorito la mia ricerca. Un particolare ringraziamento al maggiore GArn costruzioni aeronautiche Alessandro Ferrara, nonché al capitano Gaetano Piccolo e al luogotenente Gennaro Calabrese, del 308° Servizio Tecnico Distaccato Infrastrutture-Pozzuoli.

Bibliografia

A.M. 2012. *Relazione tecnico-economica: Edificio 4-Residenze Allievi. Risultati sperimentazione in sito su pannelli di definizione e soluzioni progettuali.* Aeronautica Militare, 2° Reparto Genio, 8° G.G.C. Sezione Lavori Pubblici,

Amodio P. 1941a. *Ricerche e studi sui monumenti gotici napoletani*. Pompei: Scuola Tipografica Pontificia.

Amodio P. 1941b. *Concorsi e Costruzioni*. I. Pompei: Scuola Tipografica Pontificia.

Amodio P. 1974a. *Considerazioni sul disegno di un'elica*. Facoltà di Ingegneria, Istituto di costruzioni di macchine. Napoli: La stamperia di Fiorentino F.

Amodio P. 1974b. *Sulla genesi delle coniche omofocali nello spazio e nel piano*. Facoltà di Ingegneria, Istituto di costruzioni di macchine. Napoli: La stamperia di Fiorentino F.

Amodio P. 1974 c. *Pasquale Amodio*. Napoli: ST.I.L.T.E. s.r.l.

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.M. Papa). Napoli: CLEAN.

Argenziano P. 2020. Il Progetto per L'Accademia di Pozzuoli. Il Corriere dell'Aviatore, 10, 11-19.

ASUnina, 1931. Archivio Studenti dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, Facoltà di Ingegneria, laureati anno 1931. B. 52, fascicolo 56.

Bizzarri E. 2022. Il contributo delle industrie nella scrittura del territorio all'ombra del Vesuvio: il lavoro dell'ingegnere Pasquale Amodio a Torre Annunziata a metà Novecento. In: *Proceedings of the 5th International Conference on History of Engineering - Atti del 9° Convegno Nazionale* (a cura di Salvatore D'Agostino, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Elena Manzo), II, 1131-1144. Napoli: Cuzzolin Editore.

Cardone V., Papa L. 1993. *L'identità dei Campi Flegrei.* Napoli: CUEN.

G.U. 6 aprile 1925. *Legge 4 marzo 1925, Art.41*.

Metta G. 2020. *Classificazione della Vulnerabilità degli edifici in uso al Mnistero della Difesa ai fini della valutazione del Rischio Sismico*. Roma: Centro Alti Studi per la Difesa.

Paterna Baldizzi L. 1943. *Non omnis moriar. Dal diario dei miei viaggi artistici e della mia attività professionale; progetti, disegni, studi, rilievi architettonici, schizzi a penna, acquarelli.* Roma: Istituto grafico Tiberino.

Purini F. 2016. Dal Postmodernismo al Nuovo Realismo. Note sull'architettura italiana negli ultimi trent'anni. Rivista di Estetica 61, 152-170.

Rea A. 1977. *L'Accademia Aeronautica, cronistoria dalle origini al 1975.* Roma: Stato Maggiore Aeronautica.

Savorra M. 2014. Paterna Baldizzi, Leonardo. In: *Dizionario Biografico degli Italiani,* 81. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana.

Sitografia

[1] https://it.wikipedia.org/wiki/Accademia_Aeronautica#/media

[2] https://www.accademiaaeronautica.it/10509/

[3] https://www.aeronautica.difesa.it/home/vola-con-noi/accademiaescuole/

Note

[1] Nel contributo si tiene conto degli studi condotti sulla figura del progettista, approfondendo alcuni aspetti che scaturiscono dall'esame critico della sua corposa produzione grafica, progettuale e didattica.

[2] L'Art 41 della Legge 4 marzo 1925 prevede che per gli insegnamenti «[…] delle materie non militari si provvede, per quanto possibile, con insegnanti degli istituti governativi».

[3] L'ingegnere Volpe, comandante di dirigibili fino al 1926, è stato in seguito direttore generale dell'edilizia aeronautica e con tale ruolo ha organizzato la sede dell'Accademia a Caserta.

Federica Ribera, Anna Gallo

La storica questione dell'acqua potabile in città. Il caso dell'acquedotto di Salerno

The historical issue of drinking water in the urban context. The case of Salerno's aqueduct

Sommario
Nel corso della storia, la città di Salerno è fortemente influenzata dalla presenza dell'elemento idrico che assume un ruolo determinante per la definizione sia dell'ambiente fisico che di quello urbano. Tale condizione è testimoniata dalla presenza di tracce sul territorio ancora oggi riconoscibili e riconducibili a precisi momenti storici. Questo contributo muove dai primi risultati di una ricerca che ha per oggetto l'annosa questione di dotare la città di Salerno di acqua potabile con la costruzione di un nuovo acquedotto alle fine dell'Ottocento. Attraverso la consultazione di documenti di archivio, per la maggior parte inediti, è possibile ripercorrere i momenti salienti della vicenda, gettando le basi per diverse riflessioni e utili considerazioni.

Abstract
Throughout its history, the city of Salerno has been significantly influenced by the presence of water, which plays a decisive role in shaping both the physical and urban environment. This condition is evidenced by traces on the territory that are still recognizable today, traceable to specific historical moments. This paper stems from the initial findings of a research project addressing the longstanding issue of providing Salerno with drinking water through the construction of a new aqueduct in the late nineteenth century. By consulting mostly unpublished archival documents, it is possible to retrace the pivotal moments of this historical development, laying the groundwork for various reflections and valuable considerations.

Introduzione
Lo sviluppo e l'evoluzione del tessuto storico di Salerno riguarda per secoli l'area compresa tra i due corsi d'acqua principali, il torrente Fusandola a ovest e il Rafastìa o *Faustinus* a est, entrambi mostrati in Figura 1. Se poi si considera che lungo il tratto a nord si sviluppa la fascia pedemontana che, degradando fino a sud, raggiunge la

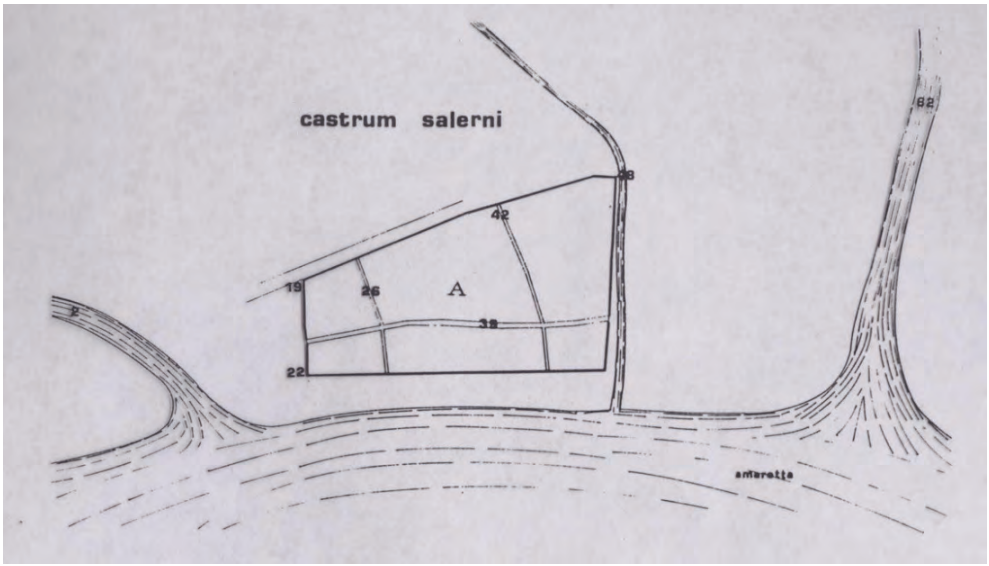


Fig. 1 - Castrum Salerni: aree occupate in epoca romana con i due torrenti principali, il Fusandola a sinistra, il Rafastìa a destra. È evidenziata, al centro, anche la presenza del Sant'Eremita, terzo torrente che segna un ulteriore confine e che corrisponde alla prima barriera naturale che verrà oltrepassata nella crescita della città (Amarotta, 1989).

costa bagnata dal mare, si comprende facilmente quanto la presenza dell'acqua sia determinante per la città.

I primi segni riconducibili a una organizzazione comunitaria e a forme di inurbamento dell'area risalgono all'epoca romana, anche se a oggi la prima immagine storica riconosciuta della città è quella del periodo medievale.

Infatti, mentre le principali testimonianze del *Castrum Salerni* corrispondono a epigrafi e a tracce archeologiche frammentarie (De Magistris, 2020; Longo, 2020), per la fase medievale è possibile riconoscere con maggiore precisione la conformazione della città grazie ai segni materiali presenti (Amarotta, 1989).

Tra il X e l'XI secolo il regno dei principi longobardi e, in particolare, quello di Arechi II, definisce una vera e propria struttura urbanistica di Salerno. Infatti, grazie a una intensa crescita demografica, nascono nuovi nuclei abitativi e la città conosce un momento di particolare sviluppo sociale, economico e culturale. Con l'arrivo dei Normanni, nel 1076, l'importanza di Salerno aumenta senza soluzione di continuità: in particolare, l'insediamento della corte in città richiama un forte flusso di popoli, e nuove comunità iniziano ad abitare le aree urbane più periferiche come l'antemurale meridionale, noto come *inter murum et muricinum* spingendosi fino al torrente Rafastìa e all'*Horto Magno*.

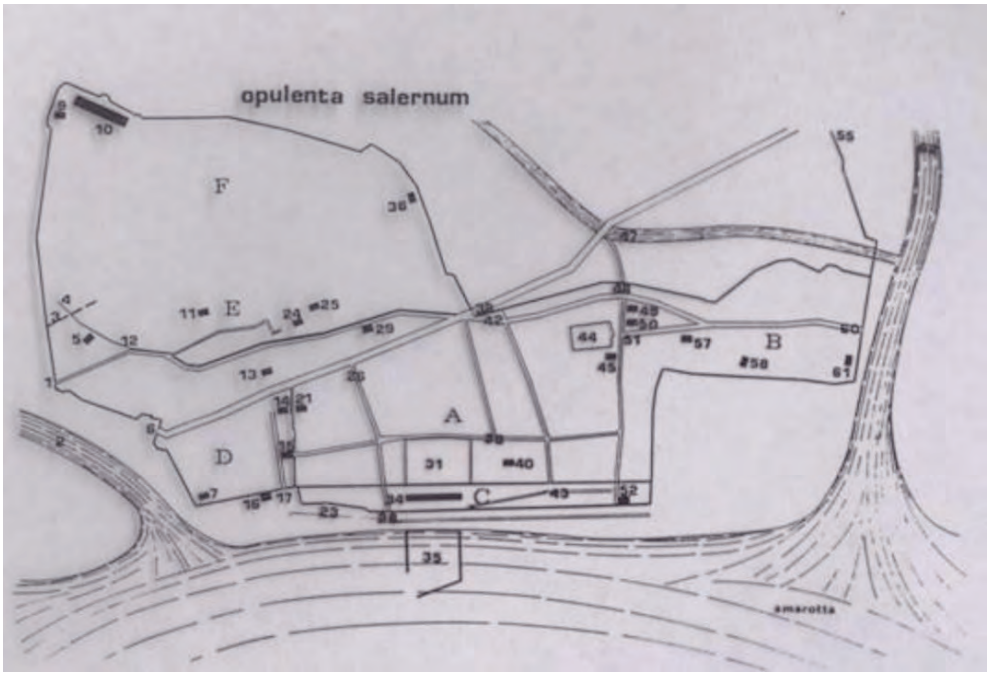


Fig. 2 - Opulenta Salernum: la città nella prima metà dell'XI secolo. La vecchia cinta, alle pendici del monte Bonadies, è abbattuta, zona E, per proseguire fino al castello, 10. La zona dell'antemurale meridionale, D, presenta una struttura ben definita con la presenza, tra i vari elementi, della porta Rateprandi, 17, e di un sistema di collegamento con il nucleo originario, A (Amarotta, 1989).

Nella prima metà dell'XI secolo l'immagine della città corrisponde con quella della cosiddetta *Opulenta Salernum*, in Figura 2; la cinta muraria risale la collina e si chiude in corrispondenza del castello, definendo la tipica forma triangolare che caratterizza l'immagine della città, sede della celebre scuola medica e intenso centro culturale e religioso: le chiese sono più di trenta, tra cui spicca la nuova cattedrale. L'epoca d'oro è segnata dallo sviluppo verso la costa e dalla presenza del porto, nei pressi dell'attuale lungomare, in corrispondenza della chiesa di Santa Lucia, che garantisce i continui scambi commerciali e culturali.

Nell'ambito di tale fervore sociale, economico e culturale, viene costruita un'opera determinante per l'organizzazione e il funzionamento della città: l'acquedotto di via Arce, una delle infrastrutture più importanti per la città post longobarda, i cui segni, qui in Figura 3, sono ancora oggi perfettamente riconoscibili tra i palazzi del centro.

La costruzione, oggetto di studi e ricerche continue oltre che di costanti interventi di manutenzione da parte della Soprintendenza, viene convenzionalmente divisa in due tratte distinte, note come acquedotto "alto" o "lungo", con una estensione di

Fig. 3 - Rete degli acquedotti a Salerno nei secoli IX-XIV: a-b Acquedotti del Fusandola; e-f Acquedotto del Rafastia (Amarotta, 1989)*, a sinistra, e l'acquedotto medievale di via Arce* (Manciero, 2020)*, a destra.*

circa 500 m, e acquedotto "basso" o "breve", di circa 150 m. In particolare, il primo tratto, indicato in Figura 3 con la lettera e, comprende la zona tra l'attuale via Matteo Incagliati, il cosiddetto Trincerone, e via Arce, e convogliava l'acqua del torrente Rafastìa. I diversi tratti sono distinti per fattura, tecniche e materiali, elementi che hanno consentito agli archeologi di datare e ricostruire con buona approssimazione i diversi periodi costruttivi (Manciero, 2020).

Pertanto, ripercorrendo i punti salienti dell'evoluzione urbana di Salerno, è interessante notare come l'espansione del tessuto urbano segua nel tempo un andamento regolare e dipenda dalla presenza di diversi elementi, in particolare quello idrico. I due torrenti Fusandola e Rafastìa segnano i confini del centro urbano che, di conseguenza, si sviluppa prevalentemente verso l'alto, seguendo l'andamento dei clivi alluvionali. La presenza di numerosi corsi d'acqua a carattere effimero, i cui alvei definiscono i tipici ripiani orografici, assume un ruolo chiave per comprendere la natura del territorio, gli eventi storici e quelli costruttivi che definiscono l'immagine della città. La morfologia del suolo e la struttura urbana di Salerno sono, infatti, il risultato di ripetuti episodi di dissesto idrogeologico che portano a un costante innalzamento del piano di campagna.

Le tracce del passato e, nello specifico, della presenza dell'acqua, assumono oggi gli aspetti più disparati: dalla toponomastica ai resti archeologici, dai manufatti di erogazione, monumentali e ordinari, alle grandi opere di attingimento e distribuzione dell'acqua (Miccio, 2011). Attualmente la conoscenza dell'evoluzione storica della città è ancora troppo frammentaria e settoriale (Ribera *et al*., 2023) dal momento che è focalizzata su aspetti prettamente storici, artistici e di antropologia culturale. Analizzare la correlazione nel tempo tra l'architettura e l'elemento idrico consente di interpretare l'evoluzione urbana di Salerno in un'ottica più ampia e interdisciplinare, individuando la sua organizzazione sociale, architettonica, tecnica e culturale. Se, a primo impatto, tale impostazione può sembrare limitata e vincolante, in realtà

consente di inquadrare l'indagine in un contesto organico e omogeneo, che considera l'elemento naturale come propulsore dei cambiamenti nell'assetto della città. L'ambiente urbano viene riguardato attraverso il rapporto tra natura e costruito con una chiave di lettura che, a partire dall'attuale stato della conoscenza, cerchi di fornire il proprio contributo.

Tuttavia, le ricerche si focalizzano su un arco di tempo che comprende l'epoca premoderna e non valicano il confine degli inizi del XIX secolo, periodo storico altrettanto denso e ricco di valori. Tra le questioni ancora aperte è interessante notare come manchi un quadro più ampio e completo del territorio urbano di Salerno, comprensivo delle sorgenti e delle fonti di attingimento dell'acqua per la città.

Questo contributo si inserisce nell'ambito di un lavoro di ricerca che intende da un lato approfondire e sistematizzare l'attuale conoscenza dei manufatti e delle opere idrauliche, dall'altro fornire uno scenario organico dell'intimo rapporto tra natura e costruito mediante l'individuazione delle sorgenti d'acqua per garantire la risorsa in città. A partire dai primi decenni dell'Ottocento, infatti, è possibile ricostruire in maniera abbastanza chiara e continua la situazione del territorio salernitano, sempre noto e riconosciuto per la sua abbondanza di acqua. La prima fase riguarda la consultazione della documentazione custodita presso l'Archivio Storico del Comune di Salerno-ASCS, per risalire ai momenti cruciali della storia della città, costantemente bisognosa di acqua potabile.

Per provvedere di acqua potabile la città di Salerno

Gli anni compresi tra il 1822 e il 1861 sono cruciali per la città di Salerno.

Numerose perizie, istanze e richieste di concessione preludono alla decisione definitiva da parte dell'amministrazione comunale di dotare la cittadinanza di un nuovo acquedotto. In realtà, bisognerà aspettare il 1895 per maturare tale consapevolezza, nonostante la richiesta venisse avanzata già durante i primi anni Venti. Dagli studi preliminari condotti per il "Progetto di un pubblico acquedotto nella Città di Salerno" (ASCS, 1861-1874) si legge che nel 1822 l'allora Intendente decide di risolvere la situazione mediante interventi «di maggiore economia».

La questione, infatti, si ripropone nel 1861: l'ingegnere Lorenzo Casalbore[1] indica le sorgenti sotto Capezzano, cosiddette di Casa Galdo, quale principale fonte di attingimento da cui far partire la condotta dell'acquedotto.

La relazione tecnica di progetto (ASCS, 1861-1874) consente di ricavare una serie di notizie utili per la conoscenza dello stato di Salerno in quel periodo: l'abitato viene distinto in due parti, la parte superiore, tra il castello e la strada dei Tribunali, fornita da acque «generalmente buone» e provenienti dalle sorgive dei monti, e la parte inferiore della città, «il basso Salerno», alimentata da pozzi e fontane pubbliche che, si precisa, risultano essere scarse in numero e portata. Da qui, il primo intervento che si intende realizzare in quegli anni consiste nello stabilire dieci fontane nella

parte bassa della città che dovranno essere alimentate da un castello di distribuzione posto nel largo del Seminario, in particolare nel punto più alto relativo e direttamente connesso alle sorgenti di Capezzano.

Fino al 1866 le notizie sono molto frammentate e riguardano vertenze con privati circa le proprietà delle sorgive. Il 5 novembre 1866 gli ingegneri direttori inviano la misura e dettaglio dei lavori eseguiti con la relazione sulla misura finale dell'acquedotto del Capezzano che, in via definitiva, viene realizzato (ASCS, 1861-1874).

Fino agli inizi degli anni Ottanta dell'Ottocento, le notizie riguardano la parte della città ricompresa tra il ponte Rafastìa, via Arce e Portarotese, e comprendono interventi di riparazione o di rifacimento puntuali, come il rifacimento del sifone a Portarotese, in Figura 4. In riferimento a questi anni, la parte storica della città delimitata dalle antiche mura, è servita dagli acquedotti San Leo, Mammarelle e Canalone. La sorgiva principale è quella del vallone Canalone o Croce, da cui defluiscono le altre cinque secondarie, dette le Mammarelle, in corrispondenza della falda posta a ovest del vallone; la sorgente di San Leo, invece, si trova nella zona dove si erge il castello di Arechi.

In Figura 5 è mostrata la localizzazione delle sorgenti.

Il 19 settembre 1881 rappresenta una data particolare; da una istanza indirizzata al Sindaco a firma degli abitanti del Ponte Fratte si legge che, dopo un periodo di intense piogge, si era formata una nuova sorgente di acqua potabile «che trovasi sulle sponde del torrente Irno alla parte di settentrione, appiedi di una collina sottostante alla strada ruotabile, che dal Ponte Fratte mena a Pellezzano» (ASCS, 1881).

Nel 1886, il direttore dell'ufficio tecnico Lorenzo Casalbore, nella disamina della richiesta avanzata dal Real Convitto Nazionale per la concessione di acqua potabile, relaziona sullo stato di fatto delle sorgenti di Capezzano. Il contenuto della relazione è particolarmente interessante dal momento che è possibile ricavare l'informazione che le fontane pubbliche della città sono tutte alimentate dalle sorgenti di Capezzano. La questione relativa alla concessione di acqua al Real Convitto, i cui dettagli esulano da tale contributo, viene risolta attingendo l'acqua da altri ripartitori dal momento che, come spiega lo stesso Casalbore nella sua disamina del problema «non è possibile concedersi alcuno su-

Fig. 4 - Sifone a Portarotese: sezione del formaletto. Rapporto 1:20 (ASCS, 1877).

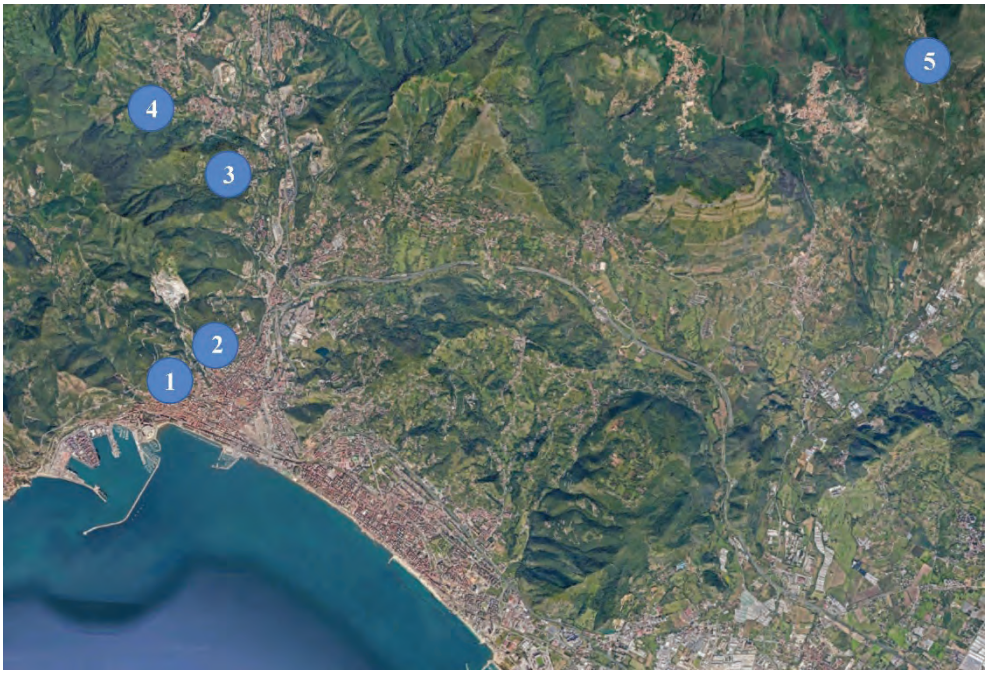


Fig. 5 - L'attuale città di Salerno con l'indicazione delle località a cui è possibile riferire le principali sorgenti della fine dell'Ottocento, e la nuova sorgente suggerita dagli ingegneri de Natale, Fiorentino e Ferretti: 1. Canalone e Mammarelle; 2. San Leo (Castello); 3. Capezzano; 4. Pellezzano; 5. Prepezzano.

pero di acqua potabile […] perché il volume che si concederebbe verrebbe sottratto alle fontane della città» (ASCS, 1886).

Nel 1893 l'ingegnere capo Vincenzo Toledo manifesta l'urgenza di restaurare l'acquedotto di Capezzano e, nello specifico, la sorgente in corrispondenza dei terreni della famiglia Braca. Dal documento datato 15 settembre e a firma dell'ing. Toledo (ASCS, 1893) si ricavano i risultati del sopralluogo effettuato alle sorgenti di Capezzano per definire i lavori da eseguire sull'acquedotto cittadino. Nello specifico, si rileva la necessità di intervenire sulla volta e sul lastrico superiore che presentano un avanzato stato di degrado aggravato da importanti infiltrazioni. Ulteriori interventi vengono indicati anche per la canaletta e il formaletto che si suggerisce di «difendere con intonaco di calce e cemento all'intradosso della volta, cappa di smalto o calcestruzzo sull'estradosso della volta medesima, restauro dell'intonaco dei piedritti e ricostruzione di quello della canaletta, nonché con la costruzione di due fossi a drenaggio, laterali al formaletto, per isolare e assicurare il manufatto contro ogni possibile filtrazione dall'esterno» (ASCS, 1893).

Nel 1894 Vincenzo Della Monica si aggiudica l'esecuzione dei lavori per «l'acquedotto che trasporta nella città di Salerno le sorgive di Capezzano e altre». Nel libretto delle misure vengono riportati i principali interventi da effettuare: «briglia sottocorrente al ponte; scarpa piramidale e platea con pietre spianate costruito con assoluta pozzolana dei bacoli per evitare che la corrente delle acque torrenziali avrebbe devastato; muratura in fondazione al muro di difesa costruito simile alle briglie per evitare lo scalzamento del canale portatore dell'acqua di Salerno; muratura fuori terra; basoli detti passa e non passa di rivestimento sui cigli delle briglie» (ASCS, 1894-1) L'ingegnere capo Lorenzo Casalbore, in data 23 ottobre 1894, firma il verbale di collaudo dei lavori dove si legge che, al fine di garantire la stabilità e la sicurezza dell'acquedotto che da Capezzano convoglia le acque a Salerno, è necessario intervenire in corrispondenza delle briglie e nel cosiddetto vallone Provenza, sorgiva del comune di Pellezzano (ASCS, 1894-2).

Tra il 1895 e il 1896 la municipalità di Salerno ravvisa la necessità di dotare la città di un quantitativo superiore di acqua potabile per gli usi pubblici e privati. Tra i motivi principali rientrano la costante crescita demografica, lo sviluppo e la nascita di nuove attività produttive, le numerose richieste da parte dei vari istituti cittadini di essere serviti direttamente presso le proprie sedi. Un attento studio riguardante le condizioni di distribuzione e erogazione dell'acqua consente una prima valutazione dello stato di fatto dei punti serviti e di impostare il presuntivo dell'acqua occorrente (ASCS, 1895).

Nel 1896 l'amministrazione comunale indice un concorso pubblico per la realizzazione di una nuova condotta di acqua potabile in città, cui partecipano quattro studi di ingegneria. L'esame e la valutazione dei progetti presentati vengono affidati a una commissione opportunamente nominata, incaricata di individuare la soluzione più conveniente e suggerire eventuali modifiche (ASCS, 1896). La Commissione è così composta: Celestino Bernabò, presidente; Federico Deo, segretario; Carlo Giordano, Giuseppe Aquaro, Giuseppe Cerenza, Francesco Zottoli, Salvatore Marano, Francesco Trani, Michele Conforti, Giovanni Santoro, commissari. I progetti presentati sono, nell'ordine: 1. Progetto degl'Ingegneri signori de Natale, Fiorentino e Ferretti; 2. Progetto dell'Ingegnere signor Lorito; 3. Progetto dell'Ingegnere signor Medugno; 4. Progetto degl'Ingegneri signori Giordano e de Sanctis. Dalla relazione conclusiva redatta dalla Commissione è possibile ripercorrere le fasi principali del lavoro di esame e alcune peculiarità della vicenda (ASCS, 1898). I quattro progetti presentati si differenziano dal lato tecnico per il maggiore o minore grado di dettaglio, ma soprattutto si rileva che il discrimine coincide con la scelta delle sorgenti alimentatrici e i criteri progettuali di base. Da qui, il progetto de Natale, Fiorentino e Ferretti fa coincidere la fonte di alimentazione con il corso d'acqua Prepezzano; il progetto Lorito con le sorgive site nel comune di Castiglione del Genovesi; la proposta Medugno individua la sorgente sul piano di Serino e, infine, la soluzione di Giordano e de Sanctis

suggerisce le sorgive di Capezzano che, insieme con le sorgive della Bolla del Pozzo site a poca distanza, alimentano l'esistente acquedotto. Il primo progetto risulterà il più convincente per la commissione, per le ragioni spiegate più avanti.

Tra le premesse della relazione della Commissione si legge che «le nuove acque […] possano prevedere al soddisfacimento completo di tutti i servizi privati e pubblici, esistenti e da creare in base ai precetti igienici più recenti» e si continua dicendo «che il consumo dell'oggi non possa né debba corrispondere al consumo del domani; poiché ad accrescerlo concorre, come l'esperienza dimostra, per l'uso domestico la facoltà di attingere in tutt'i momenti e con tutta comodità nelle abitazioni un'acqua fresca e salubre». A tale condizione si aggiunge l'urgenza di migliorare le condizioni igienico-sanitarie della città, con particolare attenzione alle strade anguste e ai vicoli, così come si rende necessario dotare i quartieri alti di pubblici fontanini. Individuati i requisiti principali della nuova opera, il Presidente della Commissione invita i cinque progettisti ad apportare le eventuali modifiche, adeguando le proprie proposte alle quantità suddette. Le risposte pervengono solo dagli Ingegneri Fiorentino, De Natale e Ferretti, progetto n.1, e dall'Ingegnere Medugno, progetto n.3, che confermano la capacità delle sorgenti di fornire il volume di acqua, per cui la Commissione prosegue i suoi lavori solo su questi due progetti.

A questo punto la Commissione ritiene di dover definire un valore attendibile del consumo d'acqua futuro, sia per usi pubblici che privati, e chiede al Comune la collaborazione dell'Ufficio dell'Anagrafe che si adopera fin da subito per la raccolta dei dati necessari. Il lavoro, lungo e certosino, riporta nel dettaglio le strade, numero di fabbricati con piani e relative abitazioni, numero di famiglie e rispettivi componenti con nome, condizione e professione del capo famiglia. Per ciascuna abitazione, inoltre, l'Ufficio dell'Anagrafe rileva la presenza o meno di pozzi o di acquedotti privati. Per quanto riguarda gli esercizi pubblici, invece, viene redatto un elenco del numero di fontanini e fontane, orinatoi, latrine e lavatoi esistenti, oltre alla superficie di tutte le strade basolate o inghiaiate della città e dei giardini pubblici; tale elenco costituisce il riferimento per definire i nuovi servizi, come ad esempio un numero maggiore di latrine, lavatoi e orinatoi, cui aggiungere le bocche da incendio, l'acqua per il servizio del macello «e per quant'altro infine in una città civile occorre in fatto d'acqua, e conseguentemente di nettezza, d'igiene e di salute pubblica» (ASCS, 1898). Segue la disamina dettagliata dei due progetti, che sono messi a confronto in termini di scelta di sorgive, qualità delle acque, semplicità delle trattative di concessione, possibilità di incremento futuro delle quantità di acqua, costo totale dell'opera. In conclusione, la Commissione esprime parere positivo per il primo progetto, a firma degli ingegneri Fiorentino, de Natale e Ferretti, con la richiesta di alcune modifiche e perfezionamenti, la maggior parte in termini economici. La scelta di Prepezzano risulta convincente, sia in termini di quantità che di qualità dell'acqua. In particolare, per quanto concerne la qualità dell'acqua, nonostante sia verificato la perfetta pota-

bilità «nel moderno significato igienico della parola», la Commissione consiglia di effettuare nuove analisi chimiche.

Il documento si chiude con diverse osservazioni della Commissione circa lo stato delle fognature in città, da rapportare con la proposta di realizzare un nuovo acquedotto. La rete, in alcuni punti, presenta «antichi manufatti, in cui per vetustà è distrutta totalmente o quasi la platea, con piedritti rimasti sospesi o non poggianti sul sodo»; in altri punti si rilevano condizioni di ristagno dell'acqua che provocano infiltrazioni nelle murature, e in altri punti ancora «cunicoli informi di limitatissima sezione completamente interriti e dissestati: tutto ciò senza le forme e cautele prescritte dai moderni principii d'igiene». Il progetto degli ingegneri Fiorentino, de Natale e Ferretti viene realizzato nel 1898 dopo aver apportato le modifiche richieste dalla Commissione. L'anno successivo l'opera subisce i danni di un'alluvione e viene sottoposta subito alle necessarie riparazioni, continuando a funzionare come acquedotto principale durante i primi anni del Novecento.

La questione di dotare Salerno di un acquedotto viene ripresa nel 1903 con il progetto dell'ing. G. Tajani che considera le sorgenti del Picentino come nuova fonte di approvvigionamento, per poi preferire, nel 1906, le acque di Acerno e costruire la nuova rete Acerno-Salerno a opera della società Italiana Condotte d'Acqua. Il dibattito prosegue per tutto il Novecento, di pari passo con la crescita demografica, economica e sociale, intrecciandosi con ulteriori eventi determinanti per l'assetto della città, primo tra tutti la realizzazione del nuovo porto a partire dal 1913. La pubblicazione del Regolamento per la distribuzione dell'acqua potabile dell'Ausino nella città di Salerno, del 1914, apre una nuova pagina nella storia delle infrastrutture idrauliche per la città, la cui immagine verrà modificata ulteriormente (ASCS, 1914).

Da quanto fin qui esposto, si comprende come la vicenda sia estremamente articolata e complessa, e come la consultazione delle fonti documentarie di archivio consenta di tracciare un primo quadro di riferimento che costituisce la base per approfondimenti futuri.

Conclusioni

La risorsa idrica determina scelte ben precise e rappresenta la componente vitale nell'assetto della città che, attraverso le sue diverse forme, esprime il valore identitario di un territorio in continuo mutamento. Garantire l'accesso all'acqua potabile è, oggi più che mai, una priorità fondamentale per tutte le comunità, oltre a essere riconosciuto come un diritto umano, universale autonomo e specifico. Allo stesso tempo, lo studio dei documenti di Archivio consente di comprendere come la questione abbia da sempre interessato le popolazioni, seppur con modalità e soluzioni differenti. Nello specifico, lo studio della vicenda di fine Ottocento a Salerno consente di tracciare un vero e proprio spaccato sociale, economico e politico della condizione della città a quell'epoca. Inoltre, è possibile conoscere nel dettaglio le tecniche e i

materiali costruttivi utilizzati, informazioni che arricchiscono quell'archivio di conoscenza essenziale per comprendere al meglio il territorio.

Il caso oggetto di studio è emblematico dell'annosa questione di rifornire la città di Salerno di acqua potabile e consente di applicare e avvalorare l'approccio volto alla definizione di un processo di conoscenza specifico, basato sul riconoscimento del valore assunto dalla vicenda analizzata. Naturalmente, la ricerca bibliografica e archivistica costituisce solo la fase preliminare di tale processo, definendo i presupposti su cui poter operare in futuro. A partire dalle informazioni raccolte, opportunamente analizzate e sistematizzate, si passerà a una analisi interpretativa e critica che potrà orientare la ricerca e indirizzare i possibili interventi futuri.

Risorse d'archivio

ASCS (Archivio Storico Comunale di Salerno). 1861-1874. *Progetto di un pubblico acquedotto nella città di Salerno*, Categoria X, clas.V, fald.217, Acque pubbliche. Acquedotto di Capezzano. Lavori nel vallone Provenza, 1861-1905.

ASCS. 1877. *Sifone a Portarotese. Sezione del formaletto,* U.S. Faldone n.124 Acquedotto Municipale, Atti vari, cartella Vecchi acquedotti, Acquedotto normanno, via Arce.

ASCS. 1881. Documento 15/9. Categoria X, clas.V, fald.213, Istanze diverse per fontane, 1879-1881.

ASCS. 1886. Categoria X, clas.V, fald.216/1, Acque pubbliche. Concessione al R. Convitto Nazionale.

ASCS. 1893. *Acquedotto Principale di Capezzano*. Categoria X, clas.V, fald.217, Acque pubbliche, Acquedotto di Capezzano, Lavori nel vallone Provenza, 1861-1906.

ASCS. 1894-1. *Rapporto di spesa*. Categoria X, clas.V, fald.217, Acque pubbliche, Acquedotto di Capezzano, Lavori nel vallone Provenza, 186-1906.

ASCS. 1894-2. *Verbale di collaudo dei lavori all'acquedotto nel vallone Provenza*. Categoria X, clas.V, fald.217, Acque pubbliche, Acquedotto di Capezzano, Lavori nel vallone Provenza, 186-1906, fasc. 4-3-19.

ASCS. 1895. Lavori di sistemazione della conduttura delle acque della sorgiva S. Leo. Relazione e reparto della spesa fra gli utenti, U.S. Faldone n. 124 Acquedotto Municipale.

ASCS. 1896. *Commissione per lo studio dei progetti per una nuova condotta d'acqua in città*. Categoria X, clas. V, fald.217. Acque pubbliche. Anno 1895-1898.

ASCS. 1898. Relazione sull'esame dei progetti e relative proposte di concessione per provvedere di acqua potabile la città di Salerno. Categoria X, clas. V, fald.217. Acque pubbliche. Anno 1895-1898.

ASCS. 1914. Regolamento per la distribuzione dell'acqua potabile dell'Ausino nella città di Salerno. Cunicolo, X-V, fald.83, Acque.

Bibliografia

Amarotta A. 1989. *Salerno romana e medievale. Dinamica di un insediamento*. Salerno: Lavegliacarlone.

Amodio T. 2020. Centro storico e trasformazioni di contesto. In: *Opulenta Salernum. Una città tra mito e storia* (a cura di G. Di Domenico, M. Galante e A. Pontrandolfo), 275-286. Roma: Gangemi editore.

De Magistris E. 2020. Salernum, la colonia del 194 a.C.: problemi topografici. In: *Opulenta Salernum. Una città tra mito e storia* (a cura di G. Di Domenico, M. Galante e A. Pontrandolfo), 11-18. Roma: Gangemi editore.

Longo F. 2020. La città in epoca romana: quadro archeologico topologico. In: *Opulenta Salernum. Una città tra mito e storia* (a cura di G. Di Domenico, M. Galante e A. Pontrandolfo), 19-30. Roma: Gangemi editore.

Manciero C. 2020. La gestione dell'acqua nella Salerno normanna: l'acquedotto di via Arce. In: *Le forme dell'acqua. Approvvigionamento, raccolta e smaltimento nella città antica*, (a cura di V. Caminneci *et al*.), 133-140. San Pietro di Legnano: Grafiche Stella.

Miccio G. 2011. Le vie dell'acqua. In: *Dopo lo Tsunami: Salerno antica* (a cura di A. Campanelli), 336-342. Napoli: Arte'm.

Ribera F., Gallo A., Cucco P. 2023. Le opere idriche e le vie d'acqua nella trasformazione del tessuto urbano. Paradigmi di governance tradizionale e conservazione del patrimonio culturale. In: *Colloqui.AT.e 2023. In Transizione: sfide e opportunità per l'ambiente costruito* (a cura di F. Fatiguso *at al.*), 473-490. Bari: Edicon Edizioni.

Note

[1] L'ingegnere Lorenzo Casalbore è tra le figure di spicco di Salerno tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento. Partecipò alla realizzazione del nuovo porto, presentando diverse proposte progettuali, e fu impegnato nella problematica cruciale del tempo, rifornire Salerno di acqua potabile per garantire le migliori condizioni igienico sanitarie in città. Fino agli anni Novanta dell'Ottocento fu direttore dell'Ufficio Tecnico Comunale.

Annarita Teodosio

Gli studi storico artistici dell'ingegnere Michele De Angelis

The historical and artistic studies of engineer Michele De Angelis

Sommario
Michele De Angelis (1875-1939) è uno dei protagonisti del dibattito architettonico e storico-culturale della Salerno di inizio '900. Suoi sono i progetti per la realizzazione di alcuni iconici edifici cittadini, quali il Liceo Tasso, le scuole Vicinanza e Barra e i Magazzini Generali, e gli interventi di restauro o ampliamento di importanti preesistenze: Duomo, Convitto Nazionale e Acquedotto Normanno. L'Ingegnere, travalicando i confini del suo specifico ambito professionale, coltiva anche interessi molteplici ed eterogenei. Questo contributo si incentra sul De Angelis studioso di storia dell'arte che, attraverso i suoi scritti, racconta le bellezze e i monumenti della sua amata città avanzando anche controverse teorie storico artistiche.

Abstract
Michele De Angelis (1875-1939) was one of the protagonists of the architectural, historical, and cultural debate in Salerno in the early XXth century. He designed some iconic city buildings (*Liceo Tasso* High School, *Vicinanza e Barra* schools, *Magazzini Generali*, etc.) and did the restoration or expansion of important pre-existing ones (*Duomo*, *Convitto Nazionale*, *Acquedotto Normanno*). The Engineer, transcending the boundaries of his specific professional field, also nurtured multiple and heterogeneous interests. This paper focuses on De Angelis scholar of art history who, through his writings, described the beauties and the monuments of his beloved city, while also advancing controversial art artistic theories.

Introduzione
Michele De Angelis (1875-1939) è uno dei protagonisti del dibattito architettonico e storico-culturale della Salerno di inizio Novecento: una realtà in piena trasformazione, che si amplia lungo le linee di espansione individuate dai Piani Colamonico (1914) e Donzelli-Cavaccini (1925) e si va dotando di edifici istituzionali e rappresentativi degni di una città moderna (Bignardi, 1982; Giannattasio, 1995; Dodaro, 1997).

In questo clima di grande fermento opera il progettista, artefice di alcune importanti opere pubbliche, dal Liceo Tasso alle scuole Vicinanza e Barra (Teodosio, 2018), dal Lungomare ai Magazzini Generali, e di interventi di restauro o ampliamento di rilevanti preesistenze quali il Duomo, il Convitto Nazionale e l'Acquedotto Normanno[1]. Ma, nonostante l'intensa attività lavorativa, l'Ingegnere, riesce a travalicare i confini del suo specifico ambito di competenza, coltivando anche interessi di natura differente (Teodosio, 2017).

Un posto di rilievo merita la fotografia, praticata in maniera sistematica e proficua, come testimonia il cospicuo fondo conservato presso il Museo Didattico della Fotografia-MuDif di Nocera Inferiore[2]. Seppur da autodidatta, De Angelis sembra padroneggiare l'uso di strumenti professionali, che si faceva appositamente arrivare da Milano e persino dalla Svizzera[3]. Le sue inquadrature raccontano le trasformazioni della Salerno del Ventennio attraverso panorami dal castello o sul fronte mare, vedute di genere, scenari urbani più ristretti o particolari monumenti. Le immagini, talvolta, diventano preziosa e inconsapevole testimonianza di realtà perdute o irrimediabilmente compromesse, come l'area intorno alla chiesa dell'Annunziata, colpita dai bombardamenti del '43 e dall'alluvione del '54, la spiaggia di ponente e il vecchio Molo Manfredi, cancellati dall'istallazione del porto commerciale negli anni '60, gli archi dell'acquedotto, in Figura 1, inglobati in costruzioni di epoche successive (Teodosio, 2017). Altrove gli scatti vengono utilizzati per documentare l'avanzamento di cantieri, come quello per la costruzione del Liceo Tasso, sempre in Figura 1, o il restauro del Duomo, o per illustrare le numerose pubblicazioni di cui egli stesso è autore[4]. La storia dell'arte, infatti, costituisce l'altra passione dell'Ingegnere, che analizza la sua città a differente scala, dalle singole emergenze alle trasformazioni urbane, arrivando persino a elaborare controverse teorie storico-artistiche.

Fig. 1 - Il Liceo Tasso in fase di realizzazione, a sinistra, e le arcate dell'acquedotto normanno, a destra (foto scattate da De Angelis presumibilmente all'inizio degli anni Trenta).

Lo studioso e teorico di storia dell'arte

Michele De Angelis è profondamente legato alla sua città natia da cui, peraltro, sembra non essersi mai allontanato se non per piccoli spostamenti nei dintorni legati all'attività professionale[5]. Su di essa si concentrano anche gli studi storico-artistici, che confluiscono in numerosi saggi pubblicati tra gli anni Venti e Trenta su autorevoli riviste locali, come Archivio Storico della Provincia di Salerno, divenuta poi Rassegna Storica Salernitana, e Salernum, e qualche monografia.

L'esordio editoriale dell'Ingegnere risale al 1921, con il saggio "Lucerna fittile salernitana del III-IV secolo" in cui descrive minuziosamente il piccolo oggetto rinvenuto durante gli scavi per la costruzione dell'edificio scolastico "G. Barra" di cui è progettista, rilevando la necessità di ricerche archeologiche più approfondite nell'area (De Angelis, 1921). In seguito, si concentra sulle emergenze della Salerno medioevale: il castello, il Palazzo di Arechi, l'acquedotto e soprattutto il Duomo costituiranno i temi prediletti e pressoché esclusivi delle sue ricerche.

Nei primi anni Venti, ne "Le origini dell'architettura meridionale e i mosaici della Cattedrale di Salerno", la cui copertina è riportata in Figura 2, partendo proprio dall'analisi del quadriportico dell'antica cattedrale normanna, De Angelis elabora una sua personale concezione sull'origine dell'architettura nell'Italia Meridionale (De Angelis, 1924a). Gli archi circolari rialzati, secondo l'Ingegnere, sarebbero da addursi a meri problemi di ordine costruttivo ingenerati dalla differente altezza delle colonne e dalla varietà degli interassi tra loro. Questa ipotesi, a suo parere, avvalorerebbe la concezione di un'arte in continua evoluzione come risposta a esigenze pratiche e

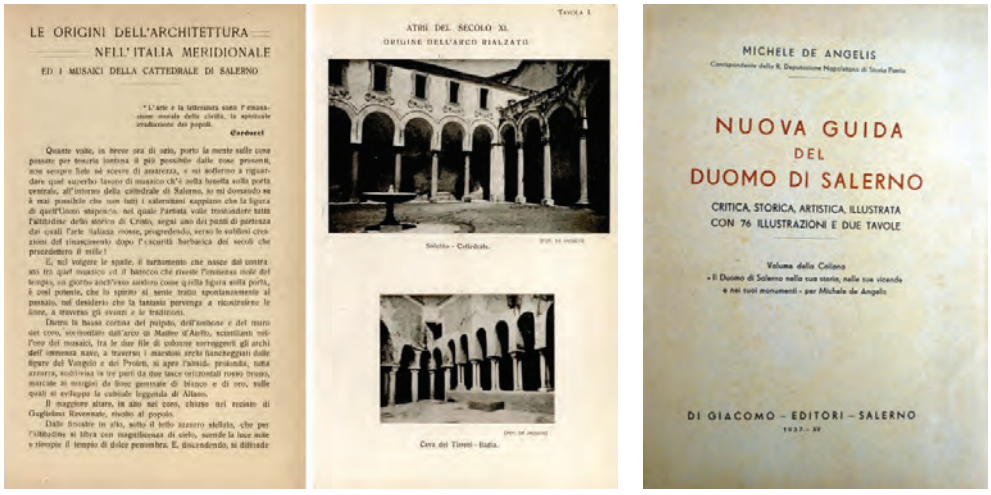


Fig. 2 - Estratti della pubblicazione del De Angelis sulle origini dell'architettura nell'Italia meridionale, 1924, a sinistra, e frontespizio della nuova guida del Duomo, 1937, a destra.

nondimeno escluderebbe derivazioni bizantine e influssi arabo siculi sull'architettura e l'arte meridionale dell'XI e XII secolo. E, per suffragare le sue tesi, sottolinea che «in queste opere noi non dovremmo trovare oggi la iconografia a croce latina e i tetti a cavalletto, che hanno origine italiana, ma le piante a croce greca, le volte e le cupole nude all'esterno che caratterizzano lo stile bizantino. Il solo arco circolare rialzato non basta, perché esso è potuto nascere tanto a Bisanzio che in Italia, per evoluzione spontanea dell'arte originaria comune» (De Angelis, 1924a, p. 11). D'altro canto, evidenzia la mancanza di archi acuti nel continente prima del 1180, anno in cui Matteo d'Aiello eresse l'ogiva in mosaico sulla parete nord del Duomo (Amarotta, 1984). Le sue congetture generano grandi perplessità negli altri rappresentanti della intellighenzia salernitana. Larga eco ha la polemica innescatasi con Carlo Carucci[6], direttore della rivista Archivio Storico della provincia di Salerno, e Armando Schiavo, architetto e storico dell'arte, non solo sulle relazioni e gli scambi culturali tra Oriente e Occidente, ma anche sull'origine e la datazione dell'Acquedotto. Se per l'ingegnere la realizzazione del manufatto sarebbe da collocare tra il XI e il XIII secolo (De Angelis, 1924b), per il giovane Schiavo andrebbe retrodatata al VII e connessa alla costruzione dell'abbazia di san Benedetto, a cui forniva acqua, mentre i due trochi su via Arce sarebbero frutto di un rifacimento operato dagli Arabi nel VIII secolo (Schiavo, 1935a).

La *querelle* si dipana tra le pagine delle riviste culminando in un saggio di Schiavo, che rappresenta una controreplica molto aspra e a tratti ingiustificatamente ingenerosa nei confronti del De Angelis privo, a suo dire, delle più elementari nozioni di storia dell'architettura (Schiavo, 1935b). Eppure, studi successivi su fonti scritte, tra cui il Codice Cavese, hanno riabilitato le ipotesi di De Angelis facendo decadere quelle di Schiavo, dimostrando non solo che il complesso benedettino non aveva bisogno di approvvigionamenti idrici provenienti dall'esterno, ma pure che già nel 856 era in funzione il fossato di via Arce e nel 1005 si progettava la costruzione dell'acquedotto basso (Amarotta, 1984).

In virtù delle sue competenze tecniche e non solo, l'Ingegnere ha modo di affiancare Gino Chierici, Sovrintendente all'Arte medievale e moderna, nel restauro della cattedrale realizzato tra il 1927 e 1934 (Deo, 2021). Ai mosaici del transetto e i resti della Cattedra di Gregorio VII, ubicati al di sotto del coro ligneo nei pressi dell'abside maggiore, riemersi durante questi lavori, dedica una interessante scritto (De Angelis, 1934), mentre in una successiva monografia descrive accuratamente la storia del Duomo dando conto pure dei vari interventi succedutisi dal XVI secolo alla sua epoca (De Angelis, 1936). La perfetta conoscenza del monumento traspare anche nella successiva "Nuova guida del Duomo di Salerno" (De Angelis, 1937a), in Figura 2, che rappresenta il punto di arrivo dei vari studi da lui condotti fino ad allora sul monumento. Sulla scorta di una preesistente pubblicazione per viaggiatori (Staibano, 1871), De Angelis intende fornire un riferimento fruibile e aggiornato ai futuri visitatori mediante numerose note di approfondimento per il lettore più erudito

e un ricco corredo iconografico, da lui stesso approntato, che include fotografie e disegni, tra cui la ricostruzione ideale della facciata originaria del Duomo e una pianta della città con l'andamento delle mura in cui la cattedrale è inserita nel suo contesto.

Questioni di storia urbana

Sin dagli anni Venti, lo sguardo dello studioso si allarga anche a questioni di storia urbana. Nel saggio del 1923 "Sui muri di Salerno verso il mare", De Angelis affronta l'argomento dell'andamento della cinta muraria sul litorale, da lui stesso ritenuto molto complesso, al quale si approccia con grande umiltà, senza avere la pretesa di giungere a conclusioni precise, ma con la convinzione che sia meglio non «proporsi di spianare definitivamente una questione, [poichè] con un simile programma non si verrebbe a capo mai di nulla» (De Angelis, 1923, p. 100), mentre ritiene più proficuo tentare di lavorare al meglio per «approssimarsi, per quanto è possibile, alla soluzione esatta. Poi verranno altri più eruditi che avvicineranno sempre più le conclusioni al vero» (De Angelis, 1923, p.100). In quest'ottica, pur non avendo una chiara idea di tale andamento, De Angelis fornisce un'ipotesi verosimile e circostanziata, mostrata in Figura 3, basata «sul sussidio di considerazioni di indole topografica ed architettonica» che potranno costituire «un argomento tangibile, intorno al quale i veri compe-

Fig. 3 - Pianta di Salerno con ipotesi dell'andamento delle fortificazioni romane e longobarde (De Angelis, 1923).

tenti potranno discutere, per correggere gli errori, per far luce nei punti oscuri, e per giungere a più esatte conclusioni» (De Angelis, 1923, p. 100). Lo studio della *forma urbis* della Salerno medioevale, con l'andamento delle mura e l'ubicazione delle porte, verrà più volte ripreso e rimaneggiato (De Angelis, 1937b), ma l'importanza di questo scritto risiede anche nella spiegazione inequivocabile che lo studioso fornisce del suo *modus operandi*, caratterizzato da un avvicinamento graduale e umile alla conoscenza. Un atteggiamento che conferma nel manoscritto "Tra ruderi e pergamene"[7] ove, rivolgendosi direttamente al lettore, De Angelis spiega come a qualunque età, anche quella di Matusalemme, non si smette di imparare e che chiunque si appresta a fare qualcosa «debba prepararsi a ritenersi un disgraziato» suscettibile agli attacchi degli sciocchi. Forse un'allusione, neanche troppo velata, ai suoi detrattori.

Alla sua amata città De Angelis dedica anche monografie e interventi su riviste di tiratura nazionale. In "Salerno. Prima capitale del Mezzogiorno" (1925), della celebre collana "Le cento città d'Italia Illustrate*"* edita dalla Sonzogno, i cui Frontespizio ed estratto sono mostrati in Figura 4, racconta la storia e le bellezze di «una gemma della Corona d'Italia che splende di luce propria ed illumina col suo illustre passato la millenaria civiltà italica» (De Angelis, 1925, p.6). Descrive con grande accuratezza i passaggi e gli eventi storici salienti fino al periodo normanno, per poi compiere un grande salto fino al Settecento. Tratteggia l'evoluzione urbana, l'apertura al mare nel Decennio Francese e la costruzione dei nuovi edifici rappresentativi, che elenca senza però attardarsi in descrizioni, forse perché ancora troppo recenti e poco storicizzati. Poi passa all'analisi di singoli monumenti prediligendo ancora una volta il Duomo, cui dedica un intero capitolo descrivendone accuratamente tutti gli aspetti architettonici, pittorici e scultorei, e più avanti il «teatro e le altre cose notevoli» (De Angelis, 1925, p. 12) come la Villa e la Prefettura. Non tralascia neanche il porto, di cui menziona i recenti lavori di ammodernamento e collegamento con la stazione ferroviaria, e le industrie presenti nella città. Le conclusioni offrono l'immagine poetica di una Salerno che stringe forte la sua storia ma, allo stesso tempo, lavora per un futuro altrettanto glorioso: «E sembra che dorma questa insigne città, baciata dalle tranquille acque del suo mare, recinta ai fianchi ed alle spalle dalle campagne ricche e felici, che si disperdono a distanza verso i venerandi ruderi di Posidonia, mentre stringe, in amorevole amplesso, il vecchio duomo del Guiscardo, custode delle sue più care memorie. Eppure, essa veglia ed opera per un avvenire sempre più degno del suo radioso passato!» (De Angelis, 1925, p. 16).

Sulla scorta di questa esperienza l'Ingegnere, affermatosi sempre più come conoscitore e appassionato promotore della sua città, ne scrive anche all'interno del catalogo a tiratura limitata realizzato per la celebrazione dell'ottavo centenario della fondazione del Regno Meridionale[8] (De Angelis, 1928) tratteggiando un accuratissimo profilo della storia architettonica e urbana di Salerno e, successivamente collabora alla redazione dell'edizione del 1931 della Guida del Touring "Napoli e dintorni"[9].

Fig. 4 - Frontespizio ed estratto di una monografia su Salerno (De Angelis, 1925).

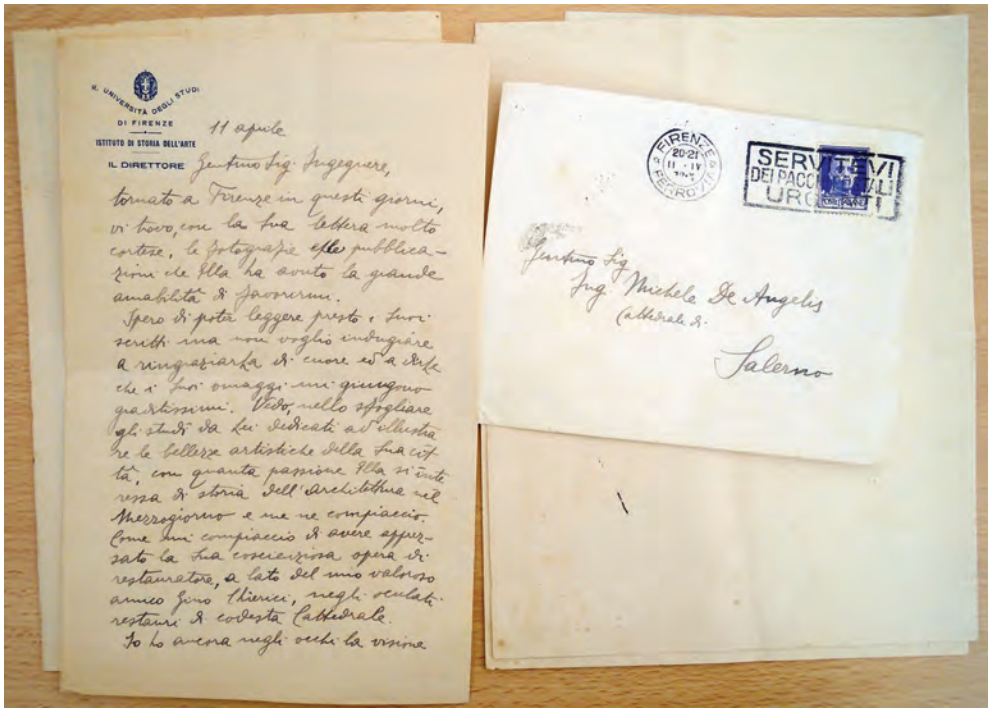
Queste pubblicazioni riscuotono un discreto successo, forse anche per il ricco corredo iconografico, realizzato dallo stesso De Angelis. Basti pensare che nel 1931, la redazione de "La grande Illustrazione d'Italia", avendo apprezzato le «nitide fotografie» per la monografia della Sonzogno, gli chiede del materiale per illustrare un articolo su Salerno da pubblicare nel giornale[10]. Una conferma, quindi, anche dell'importante ruolo che giocano le immagini come ausilio fondamentale delle ricerche storiche e artistiche dell'Ingegnere.

Conclusioni

De Angelis è un personaggio eclettico e trasversale che offre un contributo significativo alla modernizzazione e alla crescita anche culturale della sua città. Però, se è indiscusso il ruolo dell'Ingegnere e un discreto apprezzamento riscuote il fotografo, più controverse sono le sorti dello storico dell'arte.

Ricopre incarichi istituzionali, come la presidenza del Circolo Artistico Gaetano Esposito nel 1935[11], ed è autore di numerosi scritti, che provvede a diffondere personalmente spedendoli ai più autorevoli rappresentanti della cultura salernitana e non solo, alla costante ricerca di rassicurazioni e confronti su varie questioni storio-

grafiche[12], essendo probabilmente consapevole dei limiti e delle carenze derivanti dall'assenza di una specifica formazione accademica[13]. E difatti, in una lettera inviata nella primavera del 1932 al direttore dell'Istituto di Storia dell'Arte di Firenze e Membro del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti, Mario Salmi, a cui invia alcune foto dell'Exultet[14] e del Paliotto e una copia della pubblicazione sui mosaici della Cattedrale, arriva addirittura a scusarsi per la sua «niuna competenza in materia di storia dell'arte, nella quale mi sono voluto cimentare nei momenti di ozio ed in quelli di sconforto, mi onoro di rassegnarmi»[15]; in Figura 5 è riportata la risposta del direttore, datata 11 aprile 1932. Al di là di ogni falsa modestia, di certo è innegabile la costante ricerca di contatti con studiosi eminenti e accademici di rilievo. Tra la sua copiosa corrispondenza si trovano tracce di scambi con il già citato Gino Cherici, con Alberto Calza Bini, neodirettore della Regia Scuola di Architettura di Napoli, con il medievista Pietro Toesca, che interpella sulle origini dell'arte meridionale[16], con lo storico delle arti e della cultura meridionale Giuseppe Ceci, con cui discute in merito a eventuali interventi Settecenteschi di Ferdinando Sanfelice nella cattedrale di Salerno[17] e con Maria Savi Lopez, con cui intesse un fitto scambio epistolare in seguito alla richiesta avanzata dalla scrittrice


R. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI FIRENZE
ISTITUTO DI STORIA DELL'ARTE
IL DIRETTORE

11 aprile

Gentmo Sig. Ingegnere,
tornato a Firenze in questi giorni,
vi trovo, con la Sua lettera molto
cortese, le fotografie e le pubblica-
zioni che Ella ha avuto la grande
amabilità di favorirmi.
Spero di poter leggere presto i Suoi
scritti ma non voglio indugiare
a ringraziarla di cuore ed a dirle
che i Suoi omaggi mi giungono
graditissimi. Vedo, nello sfogliare
gli studi da Lei dedicati ad illustra-
re le bellezze artistiche della Sua cit-
tà, con quanta passione Ella si inte-
ressa di storia dell'architettura nel
Mezzogiorno e me ne compiaccio.
Come mi compiaccio di avere appre-
zzato la Sua coscienziosa opera di
restauratore, a lato del mio valoroso
amico Gino Chierici, negli oculati
restauri di codesta Cattedrale.
Io ho ancora negli occhi la visione

FIRENZE 20-21 II-IV FERROVIA

SERVITEVI DEI PACCHI POSTALI URGENTI

Gentmo Sig.
Ing. Michele De Angelis
Cattedrale di
Salerno

Fig. 5 - Alcuni documenti relativi alla corrispondenza con Mario Salmi.

di immagini e informazioni finalizzate all'ambientazione in area salernitana del suo nuovo romanzo[18].

Il De Angelis studioso appassionato e prolifico è stato spesso aspramente criticato per l'assenza di rigore scientifico e per il suo concetto di un'arte che evolve come risposta pratica ai problemi (Amarotta, 1984). Le congetture, derivanti da deduzioni empiriche e dalla semplice osservazione, sono state ritenute inaccettabili da molti suoi detrattori, che non hanno mancato di evidenziare le contraddizioni e l'assenza di un solido substrato teorico delle sue ricerche.

Anche Amarotta, che gli ha dedicato un accurato studio negli anni Ottanta, evidenzia quel «misto di ingenuità e insufficienza metodologica» e di eccessiva «salernitanità» che lo inducono a lanciare spesso «la fantasia a briglia sciolta» precludendogli il raggiungimento di traguardi più prestigiosi (Amarotta, 1984, pp. 130-132).

Ma forse oggi, da una differente prospettiva, la figura del De Angelis storico, andrebbe riletta e riabilitata, per il costante tentativo di superare i limiti del tecnicismo e del provincialismo, per l'innegabile contributo alla riscoperta e alla valorizzazione della sua Salerno e di un periodo della storia dell'arte, quello medioevale, solo recentemente rivalutato (Berteaux, 1904).

Bibliografia

Abbate F. 1997. *Storia dell'Italia meridionale*. I. Roma: Donzelli.

Amarotta A.R. 1984. Michele de Angelis. Rassegna Storica Salernitana, I(1), 127-147.

Bertaux E. 1904. *L'Art dans l'Italie méridionale*. Parigi: Albert Fontemoing.

Bignardi M. 1982. La «nuova città»: progetti e realizzazioni urbanistiche nei primi decenni del XX secolo. In: *Guida alla storia di Salerno e della sua provincia* (a cura di A. Leone e G. Vitolo), 349-360. Salerno: Laveglia.

De Angelis M. 1921. Lucerna fittile salernitana del III-IV secolo. Archivio Storico della Provincia di Salerno, A.I, f. I, 71-73.

De Angelis M. 1923. Studio sui muri di Salerno verso il mare. Archivio Storico della Provincia di Salerno, A. III, ff. 2-3, 100-116.

De Angelis M. 1924a. Le origini dell'architettura meridionale e i mosaici della Cattedrale di Salerno. Archivio Storico della Provincia di Salerno, A. IV, ff. I e II, 1-52.

De Angelis M. 1924b. La porta Elina di Salerno. Archivio Storico della Provincia di Salerno, A. IV, ff. III e IV, 99-135.

De Angelis M. 1925. Salerno prima capitale del Mezzogiorno. In: *Le cento città d'Italia*, 46. Milano: Sonzogno.

De Angelis M. 1927. Salerno. In: AA.VV *Città di Salerno, VIII centenario dell'Unione politica della Sicilia alla terraferma e della fondazione del Regno nell'Italia Meridionale*. Salerno: Stamperia Raffaello Beraglia.

De Angelis M. 1928. Salerno. Nuova monografia. In: *VIII Centenario dell'unione politica della Sicilia alla terraferma e fondazione del regno nell'Italia meridionale*, 9-66. Salerno: Stamperia Raffaello Beraglia.

De Angelis M., 1934. La sedia di Gregorio VII ed i mosaici del transetto nel Duomo di Salerno. Archivio Storico per la Provincia di Salerno, A. II nuova serie, 148-156.

De Angelis M. 1935. *L'acquedotto Normanno di via Arce in Salerno. Note ed osservazioni*. Salerno: Di Giacomo Editori.
De Angelis M. 1936. *Il Duomo di Salerno nella sua storia, nelle sue vicende e nei suoi monumenti: Notizie documentate sui restauri e sulle modifiche subite dall'edificio.* Salerno: Di Giacomo Editori.
De Angelis M. 1937a. *Nuova guida del Duomo di Salerno critica, storica, artistica, illustrata con 76 illustrazioni e due tavole*. Salerno: Di Giacomo Editori.
De Angelis M. 1937b. L'ampliamento di Salerno alla fine del Cinquecento. Rassegna Storica Salernitana, I(1), 131-152.
Deo F. 2021. Michele De Angelis e il restauro del Duomo di Salerno. Breve nota a margine della corrispondenza con Chierici. Rassegna Storica Salernitana, Nuova Serie, 6, 221-238.
Dodaro V. 1997. *Salerno durante il Ventennio. Gli edifici pubblici, l'edilizia popolare, l'urbanistica*. Salerno: De Luca.
Giannattasio G. 1995. *Salerno. La città moderna. Piani e progetti dall'Ottocento ai primi decenni del Novecento.* Salerno: Edizioni 10/17.
Schiavo A. 1935a. *Acquedotti Romani e Medioevali*. Napoli: F. Giannini.
Schiavo A. 1935b. Arabi e archi acuti in provincia di Salerno. Archivio Storico per la Provincia di Salerno, A. III nuova serie, 3, 165-201.
Staibano L. 1871 *Guida del Duomo di Salerno: composta ad uso de' viaggiatori*. Salerno: Stabilimento Tipografico Nazionale.
Teodosio A. 2017. Gli archivi di Michele De Angelis, ingegnere con aspirazioni da storico e fotografo. In: *La città, il viaggio, il turismo. Percezione, produzione e trasformazione. VIII Congresso AISU* (a cura di G. Belli, Capano F., M.I. Pascariello). Napoli: Edizioni CIRICE.
Teodosio A. 2018. Gli edifici scolastici dell'ingegnere Michele De Angelis a Salerno e provincia. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on History of Engineering - Atti del 7° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), II, 905-915. Napoli: Cuzzolin Editore.

Note

[1] I documenti relativi all'attività professionale di Michele De Angelis, dopo un primo riordino e la catalogazione di massima, eseguiti nel 2015 presso l'Archivio Storico del Comune di Salerno e coordinati dalla scrivente nell'ambito del progetto "Archivi di Ingegneri e Architetti Salernitani", sono stati trasferiti presso l'Archivio di Stato di Salerno (d'ora in avanti ASSa) ove, dopo un'accurata catalogazione definitiva, sono conservati.

[2] Il fondo raccoglie 1835 immagini di vario formato e tipologia, soprattutto negativi su lastra di vetro alla gelatina di bromuro d'argento e pellicole di nitrato di cellulosa.

[3] In alcuni documenti del fondo De Angelis si fa riferimento a una fotocamera Zeiss modello Ikonta e a una Ernemann, per la quale chiede il preventivo di riparazione nel maggio 1933; inoltre tra gli oggetti personali sono stati rinvenuti pezzi appartenenti a una fotocamera modello Folding 912. ASSa, Fondo De Angelis, b. 81, f. 5.

[4] Le acquisizioni esterne presso una serie di archivi tra cui Alinari e Foto Brogi sono riservate invece esclusivamente agli edifici non salernitani che cita in alcune opere.

[5] Dai suoi documenti personali e dai ricordi delle eredi, non sembrano emergere viaggi fuori città a eccezione di quello effettuato quale delegato comunale alla Prima Mostra Italiana di Attività Municipale tenutasi a Vercelli nel 1924. ASSa, Fondo De Angelis, b.58, f. 5.

[6] ASSa, Fondo De Angelis, b. 59, f. 11.

[7] Si tratta di un manoscritto probabilmente non pubblicato ritrovato nel suo Fondo personale. ASSa, Fondo De Angelis, b. 59, f.lo 7.

[8] Il catalogo viene realizzato per celebrare l'VIII centenario della nascita de Regno di Sicilia, costituito nel 1127-28 da Ruggero II di Altavilla, che unifica politicamente sotto il suo dominio la Sicilia e diversi feudi normanni dell'Italia Meridionale. Per ulteriori approfondimenti si veda (Abbate, 1997).

[9] ASSa, Fondo De Angelis, b. 59, f. 10.

[10] ASSa, Fondo De Angelis, b. 58, f. 4.

[11] ASSa, Fondo De Angelis, b. 58, f. 9.

[12] Nel Fondo personale dell'Ingegnere sono stati reperiti lunghi elenchi dei tanti destinatari delle sue spedizioni a mezzo posta e numerosi biglietti e lettere di ringraziamento e apprezzamento della sua opera. ASSa, Fondo De Angelis, b.82.

[13] Consegue la maturità classica nel 1895; si iscrive alla facoltà di Ingegneria della Regia Università degli Studi di Napoli che abbandona per motivi di salute; nel 1899 inizia gli studi di Fisica, che pure è costretto a lasciare per assolvere agli obblighi di leva. Nel 1902 intraprende la carriera professionale, dapprima come collaboratore dello zio ingegnere Filippo Giordano. Nel 1906 si diploma come geometra presso l'istituto tecnico napoletano G. Della Porta e, dopo non poche polemiche e ostracismo da parte dei suoi colleghi, nel 1929, avvalendosi della Legge 24 giugno 1923 n.1935, si iscrive per merito all'Albo dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno (ASSa, Fondo De Angelis, b.81, f.lo 2; Amarotta, 1984, 141).

[14] Si tratta del manoscritto di un'antica preghiera, l'Exultet, recitata durante la Veglia del Sabato Santo, composto da 11 fogli di pergamena, presumibilmente in pelle di pecora, con illustrazioni destinate alla comunità dei fedeli. L'opera, databile intorno al XIII secolo, dopo alcuni interventi subiti all'inizio del XX secolo, è conservata presso il Museo Diocesano di Salerno.

[15] ASSa, Fondo De Angelis, b.82, f. 11.

[16] ASSa, Fondo De Angelis, b.82, f. 3.

[17] Lettera del prof. Ceci a De Angelis del 7 maggio 1935 e risposta dattiloscritta dell'Ingegnere del 9 maggio 1935. ASSa, Fondo De Angelis, b.82, f. 15.

[18] Corrispondenza con Maria Savi Lopez, maggio-giugno 1955, ASSa, Fondo De Angelis, b.82, f. 13.

Andrea Lizza

Emmanuele Rocco: un ingegnere nella Belle Époque e un protagonista del Risanamento a Napoli

Emmanuele Rocco: an engineer in the Belle Époque and a protagonist of the Redevelopment in Naples

Sommario
La memoria descrive la vita e le opere di un artefice dell'ingegneria napoletana della *Belle Époque*, straordinario ideatore della Galleria Umberto I di Napoli, un monumento che ancora oggi rappresenta uno dei punti di riferimento della città in cui emerge tutta l'espressione architettonica e ingegneristica di fine Ottocento. Il suo contributo fu esteso alla diffusione e allo sviluppo dello stile floreale e dei trasporti ferroviari.

Abstract
This paper describes the life and works of a Neapolitan engineering architect of the *Belle Époque*, extraordinary creator of the Galleria Umberto I in Naples, a monument that still today represents one of the landmarks of the city in which all the architectural expression emerges and engineering of the late nineteenth century. Emmanuele Rocco's contribution extended to the diffusion and development of the liberty style and railway transport.

Emmanuele Rocco e il contesto storico della Belle Époque
Emmanuele Rocco nacque a Napoli nel 1852 da una famiglia aristocratica napoletana. Suo fratello Alberto, l'ingegnere Alberto, fu Presidente di Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ed è famoso per i suoi quattro figli tutti giuristi di primo piano, tra cui spicca la figura di Alfredo, uomo politico e accademico, autore, in ambito penale, del cosiddetto "Codice Rocco" in vigore dal 1930 al 1988. Emmanuele ebbe sei figli, di cui soltanto uno seguì le orme paterne nel campo dell'ingegneria. A seguito dell'esperienza come Amministratore Delegato delle Strade Ferrate Secondarie Meridionali diventò nel 1908 Cavaliere del Lavoro e quindi nel 1916 venne chiamato dal Governo per ricoprire la carica di Consigliere di Amministrazione delle Ferrovie dello Stato; a seguito di tale nomina la Famiglia Rocco si spostò a Roma dove nel 1922 l'ingegnere Emmanuele Rocco morì concludendo la sua laboriosa vita, dei cui aspetti privati si sa poco, non esistendo una biografia ufficiale.

Laureato in Ingegneria nel 1875 presso la Scuola di Applicazione degli Ingegneri dell'Università di Napoli, si mostrò ben presto un valente tecnico e imprenditore, svolse un ruolo primario in quello che fu il Risanamento della città di Napoli, in particolare con l'attenta risistemazione del Rione S. Brigida in cui progettò e realizzò la Galleria Umberto I, indiscusso punto di riferimento e inestimabile opera di ingegneria e architettura. Il genio, la maestria l'intuito di Emmanuele Rocco si fondono nella realizzazione di questa opera d'arte che suscita ammirazione emozione e meraviglia da oltre un secolo.

Il contesto storico in cui Rocco operò è quello della *Belle Époque,* un periodo storico culturale e artistico che interessò l'Europa tra il 1871 e il 1914, e che in Italia coincise dapprima con l'età umbertina tra il 1878 e il 1900 e quindi con l'età giolittiana dal 1903 al 1914.

L'opera di Rocco non si limitò all'ambito strutturale, ma abbracciò anche quello architettonico, con i contributi al liberty napoletano di cui è esempio la Palazzina Rocco al Parco Margherita nel nascente Rione Amedeo, e quello ferroviario, in quanto l'ingegnere contribuì allo sviluppo e alla realizzazione delle ferrovie meridionali.

Il Risanamento della città di Napoli

Il "Risanamento" di Napoli fu un grande intervento urbanistico post-unitario, che modificò radicalmente e in modo definitivo l'aspetto della maggior parte dei quartieri storici della città. In particolar modo gli interventi nei popolarissimi e affollatissimi quartieri del Pendino, Porto, Mercato e della Vicaria furono molto invasivi anche nei confronti di manufatti di pregio con grande valore storico o artistico.

In realtà il Risanamento, anche se ufficialmente ebbe inizio a valle dell'epidemia di colera del 1884, traeva le sue origini sin dalla metà dell'Ottocento, in piena epoca borbonica, ed era dettato dalla necessità già fortemente sentita di una riqualificazione urbana tesa al miglioramento delle condizioni di vita delle popolazioni nei quartieri ultrapopolari. La ragione che bloccò i progetti dapprima di Francesco I e successivamente di Ferdinando II fu la religione: i progetti borbonici non furono mai attuati per l'opposizione delle centinaia di conventi, monasteri e chiese presenti lungo tutto il territorio napoletano; non era possibile costruire una strada senza dover demolire chiese o qualche chiostro, cosa che per i cattolicissimi Borbone era impossibile fare. Nel 1839 il Consiglio Edilizio, istituito con Decreto da Ferdinando II di Borbone e che si sarebbe trasformato nel 1861 in Consiglio Comunale, aveva già individuato una serie interventi urbanistici urgenti da realizzare, tra cui la realizzazione di rettifili costituenti le principali arterie cittadine per gli spostamenti; altre tematiche, non di minore importanza, riguardavano la sistemazione dell'area antistante al Museo Nazionale, l'apertura della strada di Via Duomo, la realizzazione di una strada tra la Stazione Centrale e il centro cittadino, la bonifica dei fondachi, la sistemazione dell'area del Palazzo dei Ministeri nella attuale Piazza Municipio, la realizzazione delle grandi infrastrutture necessarie per una grande città.

Il primo intervento effettivo di riqualificazione fu avviato nel 1852 nel quartiere San Lorenzo, ma i lavori a causa dell'orografia del terreno e delle lungaggini burocratiche furono sospesi; le maggiori difficoltà furono legate alla presenza dei grandi complessi conventuali che non potevano essere espropriati.

Anche gli interventi di realizzazione dei nuovi quartieri dell'area occidentale e orientale furono condotti in maniera lentissima e totalmente disarticolata per via di intoppi burocratici e per problemi economici, la vera e propria realizzazione fu iniziata dopo il 1860.

Un primo intervento completato nel 1860 fu quello del riempimento del fossato lungo le mura aragonesi comprese tra Via Foria e il Castello del Carmine, che diede origine a percorsi di collegamento tra il porto e l'interno della città.

Sempre nel 1860 Luigi Giura presentò un progetto molto apprezzato in Consiglio Comunale che prevedeva il tracciato del Corso Garibaldi e di numerosi edifici e che non fu mai realizzato. Nel frattempo erano iniziati i lavori di costruzione della Stazione Centrale ferroviaria, che con la sua presenza aveva sostanzialmente modificato il rapporto tra il nucleo urbano e la zona in cui veniva edificata.

Un nuovo progetto per il collegamento tra Via Foria e Via Marina fu presentato dall'Architetto Antonio Francesconi e si dovrà attendere oltre un trentennio per la sua attuazione, resa possibile soltanto a seguito dell'epidemia di colera del 1884 dalla Legge per il Risanamento. Non diversa fu la sorte per quanto riguarda la sistemazione delle aree occidentali della città, il cui progetto, redatto nel 1859 da Enrico Alvino, fu confermato dal Decreto di Garibaldi, che prevedeva la realizzazione di un quartiere residenziale; gli interventi riguardavano principalmente il Corso Vittorio Emanuele e la zona di Chiaia in cui videro la luce, in concomitanza con il Risanamento, il Rione Amedeo e il Parco Margherita.

L'epidemia di colera del 1884 e la Legge per il Risanamento della città di Napoli

Malgrado l'esistenza di progetti e di studi per la risistemazione cittadina, il colera colpì Napoli per ben tre volte in un ventennio, nel 1855, nel 1866 e nel 1873, e una nuova e gravissima epidemia nel 1884 colpì in particolare i quartieri bassi della città mietendo oltre 8.000 vittime tra la popolazione. Il morbo, grazie all'insufficienza della rete fognaria e delle condizioni igienico-sanitarie della città, si diffuse violentemente nelle zone a maggior densità abitativa del centro storico, suscitando una forte impressione ed emozione nell'opinione pubblica nazionale che fu provata da questa immane tragedia, al punto tale da rendere necessario un rapido e incisivo intervento governativo per la risoluzione definitiva dei mali della città.

L'allora presidente del Consiglio Agostino Depretis, dichiarò che era necessario "sventrare Napoli", coniando così il termine sventramento che sarà largamente utilizzato in seguito per indicare tutti i radicali interventi urbanistici anche in altre città italiane e che si ispirava alla lettura de "Il ventre di Napoli", opera letteraria di

Matilde Serao in cui venivano descritte le condizioni di miseria e di povertà dei quartieri ultrapopolari della città. A seguito della visita del Re d'Italia Umberto I ai cittadini napoletani colpiti dal colera si iniziò a parlare di bonifica dei quartieri bassi. I principali sostenitori della necessità di un radicale sventramento delle zone maggiormente colpite dall'epidemia, furono il Ministro degli Esteri Pasquale Stanislao Mancini, il Sindaco Nicola Amore e il Presidente del Consiglio Agostino Depretis. In questa occasione furono definiti i principali interventi da realizzare, tra cui:

– la realizzazione di una efficace rete fognaria per evitare il pericolo di inquinamento del suolo per le infiltrazioni delle acque infette;
– la necessità di ottenere una abbondante erogazione di acqua mediante la realizzazione dell'acquedotto del Serino;
– la pianificazione dello sventramento e la bonifica dei quartieri bassi;
– la realizzazione di una strada di collegamento principale tra la Stazione Centrale e il centro cittadino e di una rete viaria minore che favorisse la circolazione verso l'interno della brezza marina.

La situazione economica dopo l'Unità d'Italia era gravissima, il Comune era stato costretto a farsi carico di tutte le spese precedenti al 1860 e tra queste il passaggio dell'illuminazione a olio a quella a gas e gli espropri dei terreni di Corso Vittorio Emanuele e di Corso Garibaldi.

La problematica della sistemazione della rete fognaria non era mai stata affrontata e per Depretis non vi era alcun dubbio sulla questione igienica napoletana. Bisognava seriamente studiare la parte edilizia e finanziaria da realizzare con il parere di tecnici competenti anziché di politici. Data la gravità della situazione la bonifica risultava improcrastinabile, malgrado tutti i precedenti buoni propositi rimasti tali e senza attuazione. La fase esecutiva, impedita da difficoltà di carattere politico ed economico non era più rinviabile.

Nell'ottobre del 1884 l'ingegnere Adolfo Giambarba, che in seguito fu nominato responsabile della elaborazione dei progetti, presentò al Sindaco Avv. Nicola Amore un primo progetto relativo al risanamento dei quartieri bassi, approntato in appena 15 giorni sulla scorta di tutti gli studi precedentemente disponibili e in possesso del Comune. Il progetto di bonifica, da attuare mediante una strada rettilinea che sventrava i quartieri Porto, Pendino e Mercato, suscitò in Consiglio Comunale enorme interesse. Lungo il percorso del rettifilo erano previste strade ortogonali e altre parallele realizzando così una rete viaria che incideva molto su quella preesistente e razionalizzava la viabilità. Erano previsti un collegamento stradale tra Piazza Garibaldi e la zona di S. Giovanni a Carbonara e il prolungamento del Corso Garibaldi fino all'Albergo dei Poveri, creando così un asse di collegamento tra il Borgo Loreto e Via Foria. Altri interventi di bonifica furono previsti per il Borgo Loreto, per il rione S. Brigida e per S. Lucia.

Sempre nell'ambito del risanamento della città fu prevista una radicale e importante ristrutturazione del sistema fognario e nel maggio del 1885 vi fu l'inaugurazione dell'acquedotto del Serino.

Il Presidente del Consiglio Depretis, il 27 novembre 1884, presentò alla Camera dei Deputati il disegno di legge "Provvedimenti per Napoli", in quindici articoli, la cui discussione diede origine alla "Legge per il Risanamento della città di Napoli", costituita da diciannove articoli, che fu promulgata il 15 gennaio 1885. La Legge sanciva in modo inequivocabile il carattere pubblico dell'intervento la cui esecuzione veniva affidata al Comune, regolamentava gli aspetti economici dell'intervento e autorizzava l'emissione di titoli speciali, per 100 milioni di lire, per la realizzazione delle opere previste conferendo ampi poteri al Sindaco di Napoli per il primo biennio a partire dalla approvazione della Legge. Il Sindaco Nicola Amore, nella seduta del Consiglio Comunale del 19 gennaio 1885 espose l'impostazione generale dell'intervento, comunicò di aver ricevuto richieste da parte di banche di Torino, Parigi e Londra per la concessione dei lavori e auspicò la presenza di capitalisti napoletani abbastanza forti per assumere la concessione. Per l'esame dei numerosi progetti che arrivavano al Municipio fu istituita una Commissione, costituita da membri della giunta e da Consiglieri, che data la situazione urgente decisero di avvalersi delle esperienze e degli elaborati precedenti in loro possesso; un aspetto vincolante era quello di vagliare con attenzione tutti gli aspetti riguardanti la situazione igienica. Al termine dei lavori fu predisposta una relazione in cui la Commissione si dichiarava favorevolmente orientata al progetto di Adolfo Giambarba che prevedeva lo sventramento dei quartieri Porto, Pendino, Mercato e Vicaria. In seguito furono formate tre sottocommissioni, una per il diradamento dei quartieri bassi, una per i quartieri di ampliamento e una per il sistema fognario; la prima di queste ampliava il campo dei propri interventi nella zona di Piazza Municipio e nella Zona di S. Brigida dove fu realizzata dall'Ingegnere Emmanuele Rocco la Galleria Umberto I.

La Galleria Umberto

La Galleria Umberto I nacque dall'esigenza di risanare una zona malfamata fortemente degradata. L'area adiacente al Real Teatro San Carlo, malgrado fosse in prossimità del Palazzo Reale, era in realtà un dedalo di vicoli malsani, tra cui il Vico della Cagliantesa; la sottocommissione per la sistemazione dei quartieri bassi cominciò quindi a valutare gli interventi di risistemazione dell'area del Quartiere S. Brigida discutendoli in Consiglio Comunale nelle sedute del 10 ed 11 febbraio 1885. Le gallerie commerciali erano allora di gran moda, basti pensare a quella già esistente a Milano, e malgrado fosse già presente una galleria nella zona del museo archeologico fu deciso di realizzare una nuova galleria nel salotto buono della città e fu bandito un concorso *ad hoc*. Il progetto dell'ingegnere Alfredo Cottrau, molto attivo in Napoli e in Italia nell'ambito delle costruzioni metalliche, prevedeva la demolizione

della chiesa di S. Ferdinando nell'attuale Piazza Trieste e Trento e della Chiesa di S. Brigida nell'omonima via. Il progetto di Emmanuele Rocco prevedeva invece la costruzione di più edifici in sostituzione di quelli esistenti conservando e integrando le due chiese che Cottrau intendeva demolire insieme agli adiacenti Palazzo Cirella e Palazzo Barbaja. Tra i due, risultò vincitore quello di Rocco, che fu poi ripreso e ampliato dall'architetto romano Ernesto di Mauro: il progetto, poi realizzato, prevedeva una galleria in vetro e acciaio a quattro braccia che attraversavano una volta a crociera ottagonale coperta da una cupola. Le strutture in acciaio furono progettate dal Prof. Ing. Francesco Paolo Boubeè, un importante esponente della Scuola di Ingegneria Napoletana. I lavori iniziarono il 5 maggio 1887 e la galleria fu inaugurata ufficialmente il 19 novembre del 1890. La costruzione è a pianta ottagonale di 36 metri di lato, con una meravigliosa cupola trasparente la cui struttura in ferro è alta 57 m; l'interno è pavimentato da marmi policromi e le decorazioni interne sono opera dell'architetto pugliese Antonio Curri, come ricorda la lapide con busto presente sull'ingresso di Via S. Brigida in cui è sistemata anche la lapide con busto posta dal Comune di Napoli, il 22 maggio 1927, per celebrare l'opera monumentale di Emmanuele Rocco. L'ingresso principale è su via San Carlo di fronte all'omonimo Teatro, altri ingressi sono su Via Toledo, Via S. Brigida e sull'attuale via Verdi, un tempo Vico Rotto San Carlo. Nella zona sottostante della Galleria un'altra crociera, di dimensioni inferiori a quella superiore, incastona nella parte centrale il "Salone Margherita", teatro e tempio della *Belle Époque* partenopea, un *cafè chantant* che per molti anni rappresentò un punto di ritrovo per lo svago notturno napoletano, una icona del divertimento e della vita spensierata dove si svolgevano rappresentazioni teatrali, operette, balletti, canzoni e luogo dove si esibivano artisti di ogni genere. Il Salone Margherita fu meta di ritrovo di personaggi illustri, anche di importanza nazionale, tra cui Gabriele D'Annunzio, Matilde Serao, Roberto Bracco, Salvatore di Giacomo, Ferdinando Russo, Eduardo Scarfoglio e Francesco Crispi.

Lo stile Liberty e la Palazzina Rocco

Lo stile floreale o meglio ancora l'Art Nouveau fu un movimento artistico che si sviluppò tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento che influenzò le arti figurative, l'architettura e le arti. Il liberty napoletano si sviluppò principalmente sul Vomero, a Posillipo e nel quartiere Chiaia. Questo particolare stile architettonico vide tra i suoi esponenti anche Giulio Ulisse Arata e sulla collina del Vomero Adolfo Avena che progetterà principalmente villini che caratterizzeranno l'aspetto borghese della collina del Vomero. In quel periodo molte ville liberty progettate da ingegneri e architetti furono realizzate con notevoli decorazioni esterne che conferivano agli edifici un senso di signorilità. Anche in questo campo Emmanuele Rocco diede il suo contributo, realizzando tra l'altro l'elegante Palazzina Rocco in via del Parco Margherita nel Rione Amedeo.

Emmanuele Rocco e i trasporti ferroviari

Il contributo dato da Emmanuele Rocco in ambito ferroviario, in qualità di Amministratore Delegato della Società delle Strade Ferrate Secondarie Meridionali, fu molto importante. La sua opera comportò per la Società un notevole impegno sotto il profilo finanziario e tecnologico, che determinò lo sviluppo del trasporto nelle aree suburbane. Nel 1885 fu realizzata la linea Napoli-Nola-Bajano, nel 1891 Rocco volle fortemente la realizzazione della linea Napoli-Ottajano, completata nel1904, lungo la quale fu realizzata anche la stazione di Trocchia, alle pendici del Vesuvio, nell'attuale Comune di Pollena Trocchia, luogo prediletto dall'aristocrazia napoletana per trascorrere le vacanze e da sempre amato dall'ingegnere, la cui famiglia vi possedeva la casa di villeggiatura.

La sua particolare competenza mostrata in ambito ferroviario sotto l'aspetto sia progettuale che gestionale fu tale da farlo successivamente entrare nel Consiglio di Amministrazione delle Ferrovie dello Stato in cui diede un notevole contributo per lo sviluppo della rete ferroviaria nazionale.

Le celebrazioni per il centenario della morte di Emmanuele Rocco

Nel 2022, in occasione del centenario della morte di Emmanuele Rocco si sono svolte diverse manifestazioni per ricordarne la figura e le opere. In particolare il Comune di Pollena Trocchia, dove il ricordo dell'Ingegnere è ancora vivo nella popolazione, si è fatto promotore di una serie di iniziative che hanno coinvolto l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli, l'Ordine degli Architetti Pianificatori Paesaggisti Conservatori di Napoli e Provincia, l'Ente Autonomo Volturno, la Città Metropolitana di Napoli, l'Ente Parco Nazionale del Vesuvio e l'Istituto Comprensivo "Gaetano Donizetti", oltre a molte figure di spicco della vita culturale e sociale napoletana. Tra le iniziative vanno ricordati il viaggio dalla stazione della Circumvesuviana di Napoli Porta Nolana a quella di Pollena Trocchia con un treno storico e lo scoprimento di una targa con l'intitolazione della stazione ferroviaria a Emmanuele Rocco.

Conclusioni

L'operazione Risanamento fu un importante intervento urbanistico ad ampio respiro, decretato a seguito dell'epidemia di colera del 1884, che permise la riqualificazione dei quartieri bassi della città migliorandone le condizioni ìgienico-sanitarie e di vivibilità. Tra i tanti protagonisti del Risanamento Emmanuele Rocco giocò un importante ruolo con la realizzazione della meravigliosa e prestigiosa Galleria Umberto I. L'Ingegnere diede anche un contributo nell'ambito architettonico attraverso la realizzazione di edifici in stile Liberty e, grazie alle sue spiccate doti manageriali e alla sua lungimiranza, promosse lo sviluppo dei trasporti su ferro rinnovando un'antica tradizione in un settore che vide nel 1839 a Napoli la nascita della prima ferrovia d'Italia.

Bibliografia di riferimento

AA.VV. 2022. *Emmanuele Rocco, Napoli e il Somma Vesuvio.* A cura di Mario Di Sapio. Comune di Pollena Trocchia.

Alisio G. 1980. *Napoli e il Risanamento.* Napoli: Banco di Napoli.

Barbagallo F. 2015. *Napoli Belle Époque (1885-1915).* Bari: Laterza.

Serao M. 2012. *Il ventre di Napoli.* Milano: Rizzoli.

Ribaud R. 2022. *La Galleria Umberto, il Salone Margherita, il Cafè Chantant.* Napoli: Adriano Gallina Editore.

Andrea Lizza

Breve biografia di Alfredo Cottrau: un pioniere delle costruzioni metalliche di fine Ottocento

Short biography of Alfredo Cottrau: a pioneer of late 19th century metal construction

Sommario
La memoria ripercorre la vita e le opere di uno dei maggiori protagonisti dell'ingegneria delle costruzioni metalliche. Il ruolo di Cottrau è stato determinante nello sviluppo della tecnica costruttiva di fine ottocento, è stato uno dei principali progettisti di stazioni e ponti ferroviari nonché di altre importanti opere di ingegneria.

Abstract
This paper traces the life and works of one of the leading figures in structural engineering of metal construction. Cottrau's role was decisive in the development of the late nineteenth century construction technique. He was one of the main designers of railway stations and bridges as well as other important engineering works.

Alfredo Cottrau: la vita e le opere.
Alfredo Cottrau nasce a Napoli il 3 ottobre 1839 da Guglielmo, musicista ed editore di origine francese che si era trasferito a Napoli 35 anni prima e da Giovanna Cirillo, discendente di Domenico Cirillo, patologo, patriota e martire della Repubblica Napoletana del 1799. Guglielmo Cottrau era stato un funzionario dello stato napoleonico e un personaggio di spicco della canzone napoletana insieme al figlio Teodoro, fratello di Alfredo, noto per aver scritto la celebre canzone "Santa Lucia". La famiglia Cottrau era di origine alsaziana, cadetta dei baroni Cottrau di Friburgo. Orfano di padre all'età di otto anni, grazie all'aiuto di alcuni parenti ufficiali della Marina francese dal 1849 al 1855 Alfredo studiò a Tolone, prima presso il Collegio della marina militare francese e successivamente presso *l'Ecole preparatoire de la Marine*; dopo un viaggio di istruzione sul brigantino Belem tra il 1855 e il 1856, per non perdere la cittadinanza napoletana fece ritorno a Napoli, dove fece pratica come apprendista e operaio aggiustatore e montatore nelle officine meccaniche Guppy Pattison & C.

Pur essendo sfornito di un regolare curriculum di studi superiori, ebbe una formazione culturale di tipo tecnico-pratica ed empirica ottenuta, tra l'altro, prestando

servizio in qualità di allievo ingegnere presso la ditta parigina E. Gouin et. C.ie, specializzata in costruzione di ponti e tettoie metalliche, in cui acquisì una formazione pratica della meccanica.

Dopo un secondo soggiorno francese tra il 1858 e 1859 rientrò in Italia e vinse un concorso nel Genio Civile, a seguito del quale nel 1861 fu assegnato come ingegnere presso il Commissariato generale straordinario delle Ferrovie da Napoli all'Adriatico. Ben presto fu trasferito da Napoli a Torino presso la segreteria del Ministero dei Lavori Pubblici, dove diresse i lavori per il traforo del Moncenisio.

Nel luglio 1863 abbandonò l'impiego statale per passare alle dipendenze della Società Italiana per le strade ferrate meridionali in cui operò come ingegnere-aiutante. La scelta fu calcolata perché le Meridionali non solo offrivano prospettive di carriera e di guadagno maggiori di quelle offerte dal Genio Civile, recentemente istituito in occasione dell'Unità d'Italia, ma un ulteriore stimolo alla sua capacità di trovare soluzioni in un settore in cui aveva una esperienza specifica riguardo la costruzione dei ponti in ferro. Cottrau si dedicò non solo alla realizzazione di ponti ferroviari ma anche alle grandi coperture metalliche delle stazioni, per non parlare del Ponte Girevole di Taranto e delle grandi architetture del ferro che hanno interessato il Palazzo del Quirinale a Roma, il Teatro Politeama a Palermo e la copertura a lucernaio del Museo Civico Gaetano Filangieri a Napoli.

Da valente imprenditore fondò l'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche, con sede in Castellammare di Stabia, che operò attivamente e proficuamente sia in Italia che all'estero.

Infine, è da non dimenticare l'impegno politico che vide Cottrau come Consigliere Comunale per il Comune di Napoli. Si spense a Napoli il 23 maggio 1898, a soli 59 anni, lasciando un ricordo indelebile, in ambito tecnico oltre che manageriale.

Alfredo Cottrau nel contesto del suo tempo

Alfredo Cottrau si trovò a operare in una particolare fase storica, agli albori dell'unità d'Italia in cui il progresso tecnologico e in particolare l'utilizzo del ferro rappresentava uno dei sistemi più utilizzati per costruire in ambito sia architettonico che industriale. Le applicazioni delle tecnologie diventavano sempre più spinte e affidabili e presso la Reale Scuola di Applicazione degli Ingegneri dell'Università di Napoli, sorta in epoca post unitaria, veniva istituita anche una cattedra *ad hoc* in Costruzioni Metalliche. In questo contesto, Cottrau occupò un ruolo fondamentale, riuscendo a coniugare il modello di imprenditorialità inglese con quella che era in quei tempi la tradizione teorica e sperimentalista francese.

I principali progetti e l'attività professionale.

Cottrau di distinse sin da subito nella sua attività professionale sia per la competenza come ingegnere che per le sue capacità progettuali innovative, collaborando a grandi

progetti di ponti e di stazioni ferroviarie, dapprima a San Pietroburgo e successivamente a Varsavia. In questo particolare ambito diede in seguito un enorme contributo anche in Italia. Tra le sue realizzazioni, quella del ponte sul Po a Mezzana Corti, nella frazione di Cava Manara, del tipo a trave doppia per ferrovia e strada costruito tra il 1865 e il 1867, una imponente struttura lunga 824 metri, composta da 10 campate su piloni costruiti con una tecnica molto innovativa per quei tempi.

Nel 1866 il Ministro per i Lavori Pubblici, Stefano Jacini, incaricò Cottrau, nel frattempo divenuto un tecnico di fama internazionale, di studiare un progetto per un ponte metallico galleggiante sullo Stretto di Messina, per collegare la Calabria con la Sicilia.

Nel frattempo realizzava il ponte girevole di Taranto sull'uscita del porto e nel 1868 il viadotto di Castellaneta sulla linea ferroviaria Bari-Taranto per conto della Società Italiana per le strade ferrate meridionali. Il viadotto era a travata continua di 230 metri con pile metalliche a traliccio alte fino a 70 metri.

All'età di trenta anni, nel 1869, Cottrau aveva quindi già acquisito un grande credito e gli venne conferito il meritato e ambito titolo di Ingegnere Ispettore delle costruzioni metalliche.

Tra i numerosi ponti da lui realizzati vi sono tra l'altro il ponte sul fiume Ticino a Sesto Calende, il ponte sulla Dora Riparia a Torino, il ponte sul Piave a San Donà di Piave, il ponte sul fiume Olona a Malnate.

Nel 1881 Cottrau venne insignito di una medaglia d'oro al merito industriale e ottenne la docenza presso la Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri e Architetti di Napoli, un ambito traguardo accademico.

Le molte opere scritte in ambito delle Costruzioni Metalliche fecero testo per molti anni successivi.

L'attività imprenditoriale nell'Impresa Italiana di Costruzioni Metalliche

Nel 1865 Cottrau progettò la grande tettoia della Stazione Centrale di Napoli, la cui esecuzione venne affidata alla ditta belga Finet Charles et C.ie. Le notevoli spese di trasporto delle capriate dal Belgio e le prospettive offerte dal mercato italiano spinsero i fratelli Gustave e Theophile Finet a fondare nel 1870, a Castellammare di Stabia, una officina per il trattamento del ferro di prima lavorazione, affidandone la direzione a Cottrau, che si dimise dalla Società Italiana per le strade ferrate meridionali per essere assunto in qualità di tecnico di grande esperienza e manager di fiducia di grandi finanzieri. Nel 1870 Cottrau assunse quindi la conduzione dell'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche che nel marzo 1873 diventò una regolare società anonima, in cui ebbe una quota di partecipazione azionaria relativamente modesta, pari ad appena 100 azioni.

L'iniziativa imprenditoriale fu possibile grazie non solo all'apporto rilevante di capitale belga della ditta Finet Charles et C.ie e del Conte Eduard Cahen, originario

di Anversa e residente a Napoli, ma anche grazie a illustri nomi della finanza italiana del tempo: la Società generale napoletana di credito e costruzioni, la Banca Napoletana, la Banca di Costruzioni di Milano, la Banca generale di Roma cui più tardi si aggiunse anche l'imprenditore Eugenio Cantoni.

La storia dell'Impresa coincise in gran parte con la vicenda personale e con l'ascesa nel mondo imprenditoriale di Cottrau, dapprima direttore e quindi amministratore delegato dell'anonima fino al 1887. In soltanto 14 anni di attività l'Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche produsse oltre 4000 lavori, contribuendo allo sviluppo dell'economia della cittadina stabiese che insignì Cottrau della cittadinanza onoraria e successivamente ne onorò la memoria dedicandogli una strada nel centro cittadino.

Sotto il profilo tecnico, in questo periodo Cottrau studiò nuovi sistemi di ponteggi e di locomozione su sede fissa, con innovazioni nel campo delle locomotive e dei vagoni ferroviari.

Come capo dell'Impresa, fece pressioni sugli amici politici Ubaldino Peruzzi, Quintino Sella e Antonio Scialoja per ottenere riduzioni daziarie sul ferro di prima lavorazione, in modo da eliminare la concorrenza di industrie metallurgiche protette, per appoggiare la concessione dell'esercizio ferroviario e della costruzione di nuove linee ai privati.

In ambito manageriale mantenne basso il costo del lavoro opponendosi a qualsiasi tentativo di regolare il lavoro dei fanciulli nelle fabbriche. Dopo il disimpegno dei Finet favorì nuove combinazioni finanziarie stipulando contratti anche a prezzo di costo con comuni, aziende private e Stato per vincere la concorrenza, promuovendo così l'espansione della società e la diversificazione dei suoi prodotti. La diversificazione si era resa necessaria nel 1878, a seguito della sua nomina ad amministratore delegato della Società anonima sicula occidentale per la costruzione della ferrovia Palermo-Marsala-Trapani, carica che pensò di sfruttare ordinando il materiale alla Impresa Italiana di Costruzioni Metalliche; poiché a Castellammare di Stabia non erano attrezzati per tali produzioni, nel 1881 procurò l'acquisto delle Officine di Savona, di proprietà della ditta franco-svizzera Galopin–Sue Jacob e C.ie, che era specializzata oltre che nella fabbricazione di materiale ferroviario anche nella costruzione di grandi condutture per acqua e gas. Quando le Officine di Savona, furono in seguito vendute per le gravi perdite economiche registrate, Cottrau volle rimpiazzarle con l'acquisto delle Officine al Sarno di proprietà della ditta Aselmeyer Pfister & C.

Il credito di Cottrau in qualità di manager negli ambienti finanziari italiani era tale che il senatore ed imprenditore Alessandro Rossi lo propose a Vincenzo Stefano Breda per la nomina ad amministratore delegato della Terni, che nella metà degli anni Novanta stava attraversando un momento davvero difficile, senza però alcun esito a causa dell'opposizione di alcuni azionisti.

L'attività politica

L'attività politica fu da sempre seguita con interesse da Cottrau: il suo conclamato liberismo gli consentì la vicinanza di alcuni importanti ambienti politici.

Fu anche consigliere comunale nel comune di Napoli dal 1878 al 1879, negli anni immediatamente precedenti all'epidemia di colera del 1884. Purtroppo non ebbe alcun esito il suo impegno per far nominare un regio commissario al Comune di Napoli per risolvere i molti mali da cui era afflitta la città e per lottare contro la prepotenza delle società private concessionarie dei servizi pubblici. Tra l'altro fu anche respinto un suo progetto per la sistemazione del Rione S. Brigida a Napoli, in cui prevedeva la demolizione della chiesa di S. Ferdinando. Le sue ambizioni politiche rimasero deluse, fu sconfitto alle elezioni del 5 novembre 1876, in cui si era presentato per il collegio di Napoli III.

Sperò più volte di diventare senatore. Dopo vari e vani tentativi, in cui fu supportato dai suoi amici Quintino Sella e Alfredo Baccarini, anch'egli ingegnere, nel 1890 vide sfumare la nomina a senatore del Regno a seguito delle dimissioni di Francesco Crispi. Malgrado ciò, nel 1895 chiedeva ancora all'imprenditore Alessandro Rossi di interessarsi per la sua nomina a senatore, ma fu un ennesimo tentativo inutile. Nel 1897 ripiegò quindi definitivamente sulla libera docenza presso la Reale Scuola di Applicazione degli Ingegneri e degli Architetti di Napoli.

Conclusioni

La storia della vita di Alfredo Cottrau coincide praticamente con quella delle costruzioni metalliche della seconda metà dell'Ottocento.

Cottrau seppe essere un grande innovatore e ha lasciato una impronta indelebile nello sviluppo dell'imprenditoria legata al mondo delle costruzioni metalliche, la sua vita non fu fatta solo di luce ma anche di ombre come dimostra il suo atteggiamento nei confronti del lavoro minorile; in ambito progettuale è stata una delle figure di spicco nella progettazione dei ponti e come politico seppe contribuire allo sviluppo e all'economia dell'Italia post unitaria.

Bibliografia di riferimento

Alisio G. 1980. *Napoli e il Risanamento*. Napoli: Banco di Napoli.

Boubée F.P. 1869. *Le ferrovie economiche ed il sistema di locomozione mista*. Milano: Fratelli Treves.

Carughi U., Guida E. 2003. *Alfredo Cottrau (1839-1898).* Napoli: Electa.

Russo G. 1960. *Il Risanamento e l'ampliamento della città di Napoli.* Napoli: L'Arte tipografica.

Daniele De Simone

Da terme a cisterna: le cosiddette "Stanze di Venere" nel Parco archeologico delle terme romane di Baia

From baths to tank: the so called "Stanze di Venere" in the Archaeological Park of the roman baths of Baia

Sommario

Il complesso delle Terme di Baia rappresenta uno dei più grandi esempi raggiunti dall'architettura e dall'ingegneria romana, celebre sia per la presenza di numerose sorgenti idrotermali sia per la piacevolezza dei luoghi. Nell'ambito del sito, le cosiddette "Stanze di Venere" rappresentano una interessante testimonianza della evoluzione di questo settore dell'area archeologica. Questa piccola terma, infatti, datata a epoca augustea nel corso dei secoli fu sottoposta a continui e profondi aggiornamenti sia strutturali che funzionali che ne mutarono completamente la destinazione d'uso, diventando nel II sec. d.C. una delle tante cisterne che permettevano di alimentare i sottostanti terrazzamenti che digradavano verso il mare. Il presente contributo cerca di ricostruire le principali fasi evolutive di questo edificio in relazione anche ai grandi cantieri che interessarono tale settore delle Terme di Baia tra il I e il III sec. d.C., come esempio delle grandi capacità tecniche dei progettisti romani capaci di mutare la funzione di un edificio e di adattarlo a nuove e rinnovate esigenze.

Abstract

The *Terme di Baia* represent one of the greatest examples achieved by Roman architecture and engineering, famous for the presence of numerous hydrothermal springs and the pleasantness of the places. Within the site, the so-called Rooms of Venus provide an interesting testimony to understand the evolution of this sector of the archaeological area. This small spa, indeed, dated to the Augustan era, over the centuries was subject to continuous and profound structural and functional updates that completely changed its intended use, becoming in the 3rd century. A.D. one of the many reservoirs that supplied the underlying terraces sloping towards the sea. This paper seeks to reconstruct the main evolutionary phases of this building, also in relation to the large construction sites that affected this sector of the Baia Baths between the 1st and 3rd centuries. AD, as an example of the great technical skills of Roman designers capable of changing the function of a building and adapting it to new and renewed needs.

Introduzione

Il complesso delle Terme di Baia rappresenta uno dei più grandi esempi raggiunti dall'architettura e dall'ingegneria romana, celebre sia per la presenza di numerose sorgenti idrotermali, sia per la piacevolezza dei luoghi. Tali caratteristiche resero *Baiae* la meta preferita delle élite romane dal I al III sec. d.C.

L'area archeologica, grande circa 40.000 m^2, è caratterizzata da una successione di edifici termali e residenze aristocratiche organizzate su complessi sistemi di terrazzamento che dalla sommità del cratere di Baia giungevano fino al mare, il *lacus Baianus*. Fu scavata tra gli anni Trenta e Cinquanta del secolo scorso ed è suddivisa in quattro settori, quelli dell'Ambulatio, della Sosandra, di Mercurio e di Venere.

Le cosiddette Stanze di Venere, note già dalla tradizione antiquaria e localizzate nel settore che da loro prende il nome, sono una delle strutture termali più interessanti per comprendere l'evoluzione di questa parte dell'area archeologica. Questa piccola terma, infatti, datata a epoca augustea, nel corso dei secoli fu sottoposta a continui e profondi aggiornamenti sia strutturali che funzionali che ne mutarono completamente la destinazione d'uso, diventando nel corso del II sec. d.C. uno dei tanti serbatoi che permettevano di alimentare i sottostanti terrazzamenti digradanti verso il mare.

Le Stanze di Venere nella storia

Posizionato nel settore Sud, alla base della lunga rampa che collega le Terme di Venere e le Piccole Terme, come mostrato in Figura 1, il complesso termale noto come Stanze di Venere rappresenta un interessante esempio di come i complessi termali ricadenti nel Parco Archeologico delle Terme di Baia nel corso dei secoli vennero continuamente riadattati, aggiornati e rifunzionalizzati a seconda delle esigenze che, di volta in volta, interessarono questo ricco quartiere termale. Assieme alle Piccole Terme, poste a monte, le Stanze di Venere rappresentano una delle prime strutture a essere realizzate per lo sfruttamento delle sorgenti idrotermali individuate in questo settore della collina di Baia (Ferrari *et al*., 2015, pp. 429-434; Doering, 2012, pp. 112-116; Yegül, 1996, pp. 137-161; Medri, 1990, pp. 217-236; Borriello e D'Ambrosio, 1979, pp. 63-69; Ling, 1979, p. 3260; De Angelis d'Ossat, 1976, pp. 227-256; De Franciscis, 1970, pp. 133-134; Sgobbo, 1934, pp. 294-309; Sgobbo, 1929, pp. 186-194).

A questo gruppo primordiale di terme va aggiunto anche il complesso delle Terme Ipogee, a oggi del tutto sconosciuto e inedito nonostante sia stato scavato nel 1958, come testimoniano alcune foto rinvenute nell'Archivio Fotografico del MANN e alcuni rilievi dell'epoca conservati presso l'Archivio corrente dello stesso Museo.

Le Stanze di Venere e il vicino Tempio di Venere sono monumenti ben noti nella tradizione sia umanistica che antiquaria, al punto che nel XVIII secolo divennero una delle mete più amate dai visitatori del *Grand Tour*, come testimoniato da una

Fig. 1 - Parco Archeologico di Baia: foto satellitare (Google Earth) *con evidenziazione delle Stanze di Venere.*

serie di firme apposte con inchiostro rosso in più punti del sito, in Figura 2 (Medri, 1990, pp. 234-235; Ling, 1977, p. 34; Auberson, 1964, pp. 167-178; Weller, 1943, pp. 264-265). Quest’area fu anche la prima a essere interessata dagli interventi di scavo avviati per la realizzazione del Parco Monumentale di Baia, fortemente voluto da A. Maiuri e che[5] portò alla nascita dell’attuale Parco Archeologico delle Terme di Baia (Medri, 1990, pp. 228-229; Ling, 1977, p. 34; De Simone, 2022a, pp. 59-67; Guardascione, 2019, pp. 19-20; Maiuri, 1956, pp. 9-11; Maiuri, 1951, pp. 359-364; Maiuri, 1930-31, pp. 241-25; Levi, 1922, pp. 129-154).

Questa grande avventura di scavo, iniziata nel 1939, si concluse nel 1963 con l’apertura al pubblico dell’area che aveva quasi raggiunto 40.000 m^2 di superficie visitabile. Nonostante la grande quantità di dati raccolti nel corso delle campagne di scavo, si deve a R. Ling il primo studio, preliminare, delle Stanze, dedicato alla ricostruzione dell’apparato decorativo leggibile solo sugli intradossi delle coperture di alcuni degli ambienti; lo studio offre

Fig. 2 - Firme lasciate dai visitatori del Grand Tour (foto dell’Autore).

Tab. 1 - Ricostruzione delle fasi che interessano le cosiddette Stanze di Venere (Ling, 1979).

Fase	Interventi	Datazione
1	Costruzione delle Stanze di Venere. Decorazione in Terzo stile delle pareti e delle coperture in stucco	Età augustea, I sec. a.C. ÷ inizi I. sec. d.C.
2	Ridecorazione delle coperture degli ambienti 2 e 3 in Figura 3	Età neroniana/flavia
3	Inserimento del primo arco di rinforzo per la cupola dell'ambiente 3 in Figura 3 per sostenere le strutture del Livello Intermedio	Età flavia/traianea, fine I sec. D.C.÷ Inizio II sec. d.C.
4	Conversione in cisterne degli ambienti 1, 2 e 3 in Figura 3	Prima metà del II sec. d.C.
5	Realizzazione dei due archi in laterizio a rinforzo della cupola dell'ambiente 3 in Figura 3	II ÷ III sec. d.C.

anche una prima ricostruzione delle principali fasi di vita dell'edificio che vanno dall'età augustea, fine I sec. a.C., fino ad almeno il IV-V sec. d.C. (Ling, 1979, pp. 32-60; von Hees-Landwehr, 1984; s.a., 1977; Mingazzini, 1977, pp. 275-281; Maiuri, 1958; Maiuri, 1951, pp. 359-364), come riportato in Tabella 1.

Descrizione dell'edificio originario

L'impianto originario delle Stanze di Venere è suddivisibile in almeno due settori: quello Sud, composto dagli ambienti numerati da 1 a 4 (Ling, 1979, p. 37, fig. 2), in Figura 3, che conservano il sistema di copertura originario e resti di raffinate decorazioni in stucco, e quello Nord, dove sono visibili ambienti per i quali non è possibile definire un utilizzo specifico (Medri, 1990, pp. 184-237). L'ambiente 1 ha dimensioni di 6,50 m · 6,50 m. L'altezza complessiva è pari a 6,60 m. In sommità vi è un'apertura rettangolare di dimensioni 0,90 m · 1,20 m. L'ambiente 3 ha dimensioni 4,80 m · 3,40 m, è alto circa 3,50 m ed è dotato di un'apertura rettangolare posta al centro della copertura di dimensioni 0,96 m · 2,40 m; questo ambiente presenta una volta a padiglione, mentre gli ambienti 2 e 4 sono coperti da una volta a botte, come mostrato in Figura 4. Le coperture poggiano su opere murarie in opera reticolata di buona fattura, costituite da *cubilia* di 9 cm · 9 cm allettati su letti di malta spessi circa 5 cm, e sono del tutto simili a quelle visibili in alcuni settori vicini (Di Luca, 2009, pp. 149-168), il che permette di confermare l'ipotesi che la costruzione di questo edificio risalga alla fine del I sec. a.C. - inizi I sec. d.C. Questo dato trova conferma con quanto analizzato da Ling (1979), che individua almeno due successivi interventi di rifacimento di alcuni elementi decorativi datati tra epoca neroniana (I sec. d.C.) ed epoca flavia/traianea (fine I - Inizi II sec. d.C.). Tutti gli ambienti sono illuminati da aperture realizzate nelle coperture.

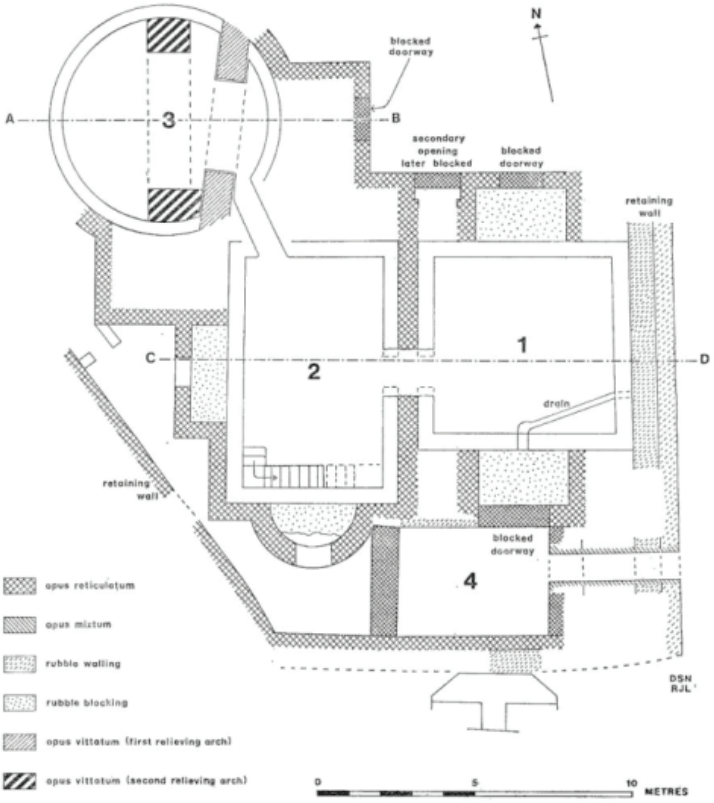


Fig. 3 - Pianta degli ambienti 1, 2, 3 e 4 delle Stanze di Venere (Ling, 1979).

Nonostante le profonde modifiche subite dall’edificio, come conseguenza della costruzione, voluta dall’imperatore Adriano, del complesso delle Terme di Venere, è possibile identificare l’edificio originario come una terma. Di questa gli ambienti 1 e 2 erano il *tepidarium* e il *calidarium* mentre l’ambiente circolare 3 il *laconicum*. Degli ambienti a Nord, trasformati in ambienti di servizio, tra i quali si riconosce sicuramente una cucina dotata di un lungo bancone per la cottura dei cibi, sfugge la funzione: potrebbe trattarsi di un *apodyterium* o di altri ambienti a servizio della terma. Con il II sec. d. C. il settore Sud del Complesso delle Terme di Baia venne coinvolto in imponenti lavori di riorganizzazione del versante collinare che portò alla risistemazione di tutti gli edifici termali in esso compresi e venne collegato all’Acquedotto Augusteo che corre all’interno della collina di Baia; le *Stanze* divennero una grande cisterna a camere concatenate collegate da stretti varchi, a servizio delle Terme di Venere (Di Fraia, 2011, pp. 100-101).

Le operazioni di riconfigurazione furono piuttosto semplici, poiché le pareti di questi ambienti furono rifoderate da un secondo paramento in laterizio, spesso 45 cm, a sua volta rivestito da uno spesso strato di intonaco idraulico di circa 5 cm che terminava all'imposta delle volte di copertura, conservate con tutta la decorazione, come mostrato nelle Figure 4 e 5. L'accesso alle cisterne avveniva tramite un'apertura realizzata lungo la parete sud dell'ambiente 2, che ospitava anche le scale per effettuare i lavori di manutenzione. Per evitare l'ammaloramento, dovuto al ristagno delle acque, si sfruttavano i lucernai originari degli ambienti, mentre l'acqua entrava attraverso una delle aperture della cupola dell'ambiente 3, mostrata in Figura 6, come confermato dalla presenza di un "albero di pietra" da identificare con la concrezione calcarea dovuta al passaggio dell'acqua (De Simone *et al*., 2021, p. 150; Ling, 1979, pp. 40-60). In questo modo la cisterna cosi creata, alimentata, come detto, dall'Acquedotto Augusteo, poteva contenere circa 505 m^3, probabilmente sufficienti alle attività termali. Per permettere la redistribuzione delle acque i progettisti antichi rifunzionalizzano l'ambiente 4, che venne dotato di quello che pare essere un sistema di distribuzione e gestione che in questo contesto sembra assumere la funzione paragonabile a quella di un *castellum aquae* (De Simone, 2022b, pp. 127-140; De Simone, 2022c; De Simone *et al*., 2021, p. 152; Ferrari e Lamagna, 2010, pp. 387-397; Camodeca, 1997, pp. 289-306; Sgobbo1938, pp. 76-97).

Fig. 4 - Panoramica delle coperture (foto dell'Autore).

Fig. 5 - Interno dell'ambiente 2. È ben visibile il muro di rivestimento funzionale alla riconversione in cisterna (De Simone, 2022b).

Questo sistema di cisterne sembra aver funzionato ininterrottamente per i secoli successivi, ma, all'inizio del III sec. d.C., la costruzione delle Terme del Livello Intermedio, poste tra le Piccole Terme e le Stanze di Venere stesse, impose una nuova funzione. Per la costruzione di questo ulteriore settore termale, al quale si accedeva dalla stessa terrazza che permetteva l'accesso alle Piccole Terme, fu necessario realizzare delle imponenti

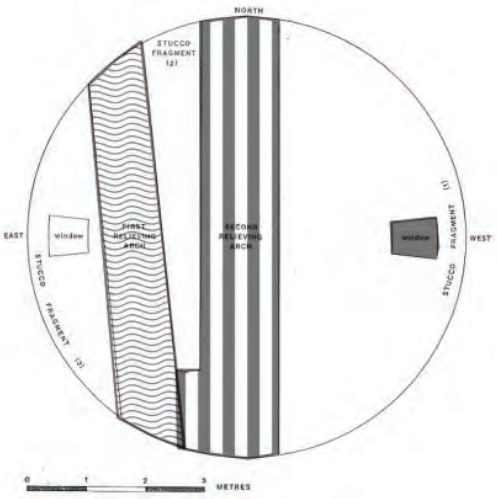


Fig. 6 - Planimetria dell’ambiente 3 con indicazione dei due archi di contenimento, in rosso il più antico e in viola il successivo, realizzati per sorreggere la cupola; a destra, il punto di carico delle acque (Ling, 1979).

sostruzioni, capaci di colmare il salto di quota che in questo punto è molto pronunciato. Fu quindi costruito un muro di terrazzamento che inglobò l’ambiente 3. Uno degli elementi più significativi di questo progetto molto invasivo, fu la realizzazione all’interno dell’ambiente 3, di un arco realizzato in laterizio, largo 1,20 m circa e allineato al soprastante terrazzamento, la cui funzione era, evidentemente, quella di scarico dei carichi gravanti sulla volta. Il carico doveva però essere talmente elevato che l’ambiente 3 dovette essere nuovamente rafforzato con un ulteriore arco di rinforzo, largo circa 1 m, come mostrato in Figura 6.

Un ulteriore elemento di interesse è rappresentato dall’ambiente 4, in Figura 3. Di questo piccolo ambiente non esistono né dati di scavo né un rilievo specifico, lacuna documentaria che l’Autore sta tentando di colmare nell’ambito del suo lavoro di tesi di dottorato, ma si tratta di un vano caratterizzato dalla presenza di una serie di canalizzazioni che permettevano il passaggio delle acque dall’ambiente 3 al vicino complesso delle Terme di Venere. Oltre, purtroppo, non è possibile ricostruire, ma è certo che tale sistema rimase attivo fino a quando l’area, a partire dal V sec. venne lentamente abbandonata.

Conclusioni

Anche per questo piccolo edificio termale l’impegno progettuale alla base della sua costruzione e della successiva riconversione dimostra le grandi abilità tecniche dei progettisti romani.

La necessità di sfruttare le ricche sorgenti idrotermali, a partire almeno dalla fine del II - inizio I sec. a.C. con le Piccole Terme (Medri, 2013, pp. 123-124; Medri *et al*., pp. 207-219) porta alla costruzione di vari complessi che sfruttavano in maniera efficace il *vapor* che scaturiva dalle profondità della collina baiana. Si tratta di edifici di dimensioni ridotte, se paragonate alle grandi strutture e complessi che caratterizzeranno Baia nei secoli successivi, ma posizionati in punti del pendio dove era molto semplice intercettare, con poco sforzo, le sorgenti idrotermali. Probabilmente si trattava di complessi di proprietà degli stessi personaggi che tra la tarda età repubblicana e l'età augustea occuparono l'intero golfo baiano senza soluzione di continuità (D'Arms, 2003). In età imperiale si assisté al mutare delle esigenze di questo ricco quartiere che, passando in gran parte al demanio dei Cesari, vide attivarsi un ingente sforzo di monumentalizzazione che portò, nel II sec. d.C. all'occupazione del settore Sud con le cosiddette Terme di Venere, la cui funzione non è ancora ben chiara (Di Fraia, 2011, 83-120). La necessità di disporre di grandi quantità di acqua, necessaria al funzionamento del vicino complesso delle Terme di Venere, indusse i progettisti romani a trasformare i vani termali augustei (Medri, 1990, 226-230; Mingazzini, 1977, 275-281; Cairoli Giuliani, 1977, pp. 145-175) in un sistema integrato di cisterne alimentato grazie all'acqua proveniente dall'Acquedotto Augusteo (De Simone, 2022b, pp. 127-14; De Simone, 2022c). Purtroppo dai dati in nostro possesso a oggi non è possibile ricostruire il prosieguo del percorso delle acque ma la presenza di una serie di canalizzazioni disposte a ovest dell'ambiente 3, ma soprattutto la presenza delle strutture di canalizzazione e gestione delle acque in ambiente 4, ci permettono di ipotizzare una distribuzione capillare dedicata agli ambienti disposti attorno al Tempio di Venere. In seguito, il rafforzamento strutturale dell'ambiente 3, dovuto alla costruzione delle Terme del Livello Intermedio, rappresentò un ulteriore passo della riconversione funzionale del complesso termale che fece delle Stanze la sostruzione di questa nuova e imponente struttura.

Le Stanze di Venere, in conclusione, con le loro continue modifiche e rifunzionalizzazioni, rappresentano efficacemente l'attenzione che i progettisti romani esperirono nel continuo aggiornamento di questo grande quartiere termale amatissimo nel mondo antico. Un'area, quella di Baia, che mostra quanto la competizione tra i diversi proprietari delle varie ville, compresi anche gli imperatori, abbia giocato un ruolo importantissimo nella evoluzione dell'architettura, ma soprattutto dell'ingegneria romana.

Bibliografia

Auberson, E.P. 1964. Etudes sur les Thermes de Venus. RAAN, 39, 167-178.

Borriello M.R., D'Ambrosio A. 1979. Baiae-Misenum. Forma Italiae I, XIV.

Cairoli Giuliani F. 1977. Note sull'architettura dei Campi flegrei. In: *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia*. *Atti dei Convegni Lincei, 33*, Roma 4-7 maggio 1976, 145-175. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Camodeca G. 1997. Una ignorata galleria stradale d’età augustea fra Lucrinum e Baiae e la più antica iscrizione di un curator aquae augustae. In: *Atti del Convegno in omaggio a Raimondo Annecchino*, Pozzuoli, 17 gennaio, 289-306. Napoli: Cartopoli Pozzuoli.

D’Arms J.H. 2003. *Romans on the bay of Naples and other Essays of Roman Campania*, Bari: Edipuglia.

De Angelis D’Ossat G. 1977. L’architettura delle Terme di Baia. In: *I Campi Flegrei nell’archeologia e nella storia. Atti dei Convegni Lincei, 33*, Roma 4-7 maggio 1976, 227-256. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

De Franciscis A. 1970. Baia. EAA, 133-134.

De Simone D., Ferrari G., Lamagna R., Rognoni E. 2021. Baia: Villa dell’Ambulatio, Prime analisi sulla gestione e conservazione dell’acqua tra età repubblicana ed età imperiale. In: *Puteoli, Cumae, Misenum, 1*, 137-152. Roma: Valtrend Editore.

De Simone D. 2022a. Gli scavi di Baia nell’archivio fotografico del Museo archeologico di Napoli. In: *Il tempo in rovina. Baia. Scavi. Paesaggio. Fotografia* (a cura di F. Pagano, E. Gallocchio e S. Carannante), 59-67. Roma: Gangemi Editore.

De Simone D. 2022b. Baia (Bacoli-NA): l’acqua e il suo utilizzo nel complesso delle Terme romane. In: *Watertrace. From Hydrology to Hydroarchaeology*, 127-140. Oxford: Archaeopress.

De Simone D. 2022c. Méthodologie d’analyse des cavités artificielles dans le parc archéologique des thermes de Baia (Naples, Italie). Le Project De Acquis Phlaegreorum. Archeo-Dot 16: Archeologie et fouilles en contexte difficile.

Döering M. 2012. *In der Wundersasten Gegend der Welt. Die Phlaegraeischen Felder am Golf von Neapel*. s.l.: Parmenios-Verlag.

Guardascione F. 2019. La riscoperta dell’antico a Baia nei primi del Novecento e il nuovo assetto del Territorio. In: *Bacoli 1919-2019. Cento anni di Storia* (a cura di Maurizio Erto), 19-36. Nocera Superiore: D’Amico Editore.

Di Fraia G. 2011. Adriano a Baia. Sibilla Cumana. La fonte del sapere, 1, 83-120.

Di Luca G. 2009. Nullus in orbe sinus Baianis praeluceta moenis, Riflessioni sull’architettura dei complessi cd ‘dell’Ambulatio’, della Sosandra e delle Piccole Terme a Baia. BABesh, 84, 149-168.

Ferrari G., Lamagna R. 2010. Il bimillenario dell’acquedotto augusteo di Serino. In: *Atti del XXI congresso di Spelologia* (a cura di F. Cucchi e P. Guidi), 387-397. Trieste: Edizioni Università di Trieste.

Ferrari G., Guidone I., Lamagna R. 2015. Il sistema di vapore delle Piccole Terme di Baia. In: *Atti del 22° Congresso nazionale di speleologia* ‘*Condividere i* dati’ (a cura di L. De Nitto, F. Maurano, M. Parise), 429-434.

Levi A. 1922. Ruderi di terme romane trovati a Baja. MonAnt, 28, 129-154.

Ling R. 1977. Stucco Decorations at Baia. PBSR, 45, 24-51.

Ling R. 1979. The Stanze di Venere at Baia. Archaeologia, 106, 32-60.

Maiuri A. 1930-31. Il restauro d’una sala termale a Baia. Bollettino d’Arte, Roma,1930-31, 241-253.

Maiuri a. 1951. Terme di Baia. Scavi, restauri, lavori di sistemazione. Bollettino d’Arte, XXXVI/IV, 359-364.

Maiuri A. 1958. *I Campi Flegrei*. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato.

Medri M. 1990. Baia. In: *I Campi Flegrei. Un itinerario archeologico* (a cura di P. Amalfitano, G. Camodeca e M. Medri), 184-237. Venezia: Marsilio.

Medri M., Soricelli G., Benini A. 1999. In Baiano sinu: le Piccole Terme di Baia. In: First International Conference on Roman Baths, 2, Design and Context (J.D. Delaine J. Ed.), Bath, 30 March-2 April, 207-220.

Medri M. 2012. In Baiano Sinu: il Vapor, le Aquae e le Piccole Terme di Baia. In: *Aquae Salutiferae. Il Termalismo tra antico e contemporaneo, Atti del Convegno internazionale* (a cura di M. Bassani, M. Bressan e F. Ghedini), Montegrotto Terme, 6-8 settembre, 121-144. Roma: Quasar.

Mingazzini P. 1977 Le Terme di Baia. In: *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia*. *Atti dei Convegni Lincei, 33*, Roma 4-7 maggio 1976, 275-281. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

s.a. 1977. *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella storia*. *Atti dei Convegni Lincei, 33*, Roma 4-7 maggio 1976. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

Sgobbo I. 1929. Terme flegree ed origine delle terme romane. In: *Atti del I Congresso Nazionale di Studi Romani*, Roma, 1928, 186-194.

Sgobbo I. 1934. I nuclei monumentali delle Terme Romane di Baia per la prima volta riconosciuti. In: *Atti del III Convegno Nazionale di Studi Romani*, 294-309. Bologna: Capelli.

Sgobbo I. 1938. L'acquedotto romano della Campania: Fontis Augustei Aquaeductus. NSc, 76-97.

von Hees-Landwehr C. 1984. *Capolavori greci in calchi romani. Il rinvenimento di Baia e la tecnica degli antichi copisti*. Napoli: s.e.

Weller A.S. 1943. *Francesco di Giorgio 1439-1501*. Chicago: The University Press.

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

Monica Esposito

Materiali e tecniche nella ricostruzione dell'ospizio del Pio Monte della Misericordia a Casamicciola

Materials and techniques in the reconstruction of the Pio Monte della Misericordia hospice in Casamicciola

Sommario
Il 4 luglio 1883 un devastante terremoto distrusse il villaggio ischitano di Casamicciola. Il contributo intende esaminare il dibattito le vicende che accompagnarono l'azione di ricostruzione del patrimonio edilizio distrutto dal sisma, con particolare attenzione all'episodio dell'Ospizio del Pio Monte della Misericordia. Inoltre, si analizzerà il progetto scaturito a seguito del lungo confronto tra la Commissione Ispettrice, costituita dagli architetti Michele Ruggiero, Lorenzo Schioppa e Ferdinando de Rosenheim, con il *Direttore della Costruzione dell'Ospizio di Casamicciola*, l'ingegnere Giuseppe Florio; nonché le successive varianti dell'ingegnere Nicola Breglia, subentrato a Florio nel 1890.

Abstract
On 4 July 1883 a devastating earthquake destroyed the Ischian village of Casamicciola. This paper aims to examine the debate the events that accompanied the reconstruction of the building heritage destroyed by the earthquake, with particular attention to the episode of the Hospice of Pio Monte della Misericordia. In addition, it will analyse the project that emerged following the lengthy discussion between the Inspector's Commission, made up of architects Michele Ruggiero, Lorenzo Schioppa and Ferdinando de Rosenheim, and the Director of Construction of the Casamicciola Hospice, engineer Giuseppe Florio; as well as the subsequent variants by engineer Nicola Breglia, who took over from Florio in 1890.

Introduzione
Sin dall'antichità, l'isola di Ischia, rinomata per le bellezze naturali e per il mite clima, è sempre stata soggetta, d'altronde come l'intera area del golfo di Napoli, a frequenti fenomeni tellurici. Uno dei più noti, per la sua intensità e i cospicui danni provocati al villaggio di Casamicciola, fu quello del 1883 (Delizia *et al.*, 2006, p. 31). La vasta

distruzione del patrimonio edilizio sollecitò confronti in campo scientifico, tanto da trasformare l'Isola in un luogo di ricerche e indagini per ingegneri e architetti riguardo ai sistemi antisismici da utilizzare nelle fasi della riedificazione (Johnston-Lavis, 1885). Non a caso, il Ministro dei Lavori Pubblici, Francesco Genala, e il Collegio degli Ingegneri e Architetti costituirono commissioni allo scopo di analizzare i danni e di comprendere la vulnerabilità e le criticità delle strutture, per poi pervenire a direttive generali e criteri validi per normare l'attività edilizia. A seguito di ciò si emanò il "Regolamento Edilizio per i Comuni dell'Isola di Ischia", con il quale furono fornite indicazioni sull'altezza degli edifici, sui materiali da adottare negli elementi verticali e orizzontali. Inoltre, tra altre istruzioni, fu prescritto l'uso di due principali soluzioni costruttive per le componenti verticali. Un primo sistema, introdotto esclusivamente per gli edifici pubblici di carattere permanente, prevedeva controventi in ferro nell'apparato murario (Romano, 2021, p. 93). Un secondo, invece, era il sistema della casa baraccata nel quale all'interno delle murature si adoperavano telai lignei, che potevano presentare differenti geometrie (Ruggieri, 2013; Campisi e Manfredi, 2017). Tale sistema, senza dubbio, preferito per la sua economicità e per facilità di realizzazione, affondava le sue radici nelle differenti applicazioni sperimentate sia dopo il 1627 a seguito del terremoto che colpì il Galgano, e quindi definito alla "beneventana", ma anche a Lisbona dopo il terremoto del 1755 (Pezone, 2008, p. 207), e di conseguenza detto alla "portoghese", nonché nelle province colpite dal terribile sisma del 1783 nelle Calabrie[1], perciò ricordato come alla "calabrese".

Nel villaggio ischitano, furono adottate differenti varianti della casa baraccata in legno; infatti l'ingegnere Carlo Deperais ideò alcune abitazioni con il tipo alla portoghese, installate poi da Pasquale Colonnese nei rioni Sanseverino e Genala (Savorra, 2021, p. 115). Inoltre, furono numerosi i nuovi prototipi di casa baraccata, tra questi è da segnalare il metodo collaudato degli architetti napoletani Ciro Sirano e Vincenzo Gaglione, «atto a resistere ad ogni movimento del suolo in Casamicciola d'Ischia»[2]. La "casa tipo per Casamicciola", in Figura 1, caratterizzata da una pianta regolare quadrata di 8,6 m per lato, prevedeva un telaio in legno di quercia con l'ausilio di mattoni, mentre la copertura era realizzata con una lamiera di ferro ondulato «affidato ad ormeggio di

Fig. 1 - Casamicciola: casa tipo per la ricostruzione dopo il terremoto del 1883 (Archivio Pio Monte della Misericordia, cat. A, rub. a, n.IX.).

Fig. 2 - Casamicciola: Piano Regolatore del novello abitato alla marina di Casamicciola, redatto da Domenico Lo Gatto nel 1884 (Delizia et al., 2006).

legno abete costituito da quattro cavalli, che con le loro corde poggiano su due opposti lati del telaio superiore»[3].

I sistemi menzionati furono adoperati nella riedificazione, disciplinata altresì nel "Piano Regolatore del novello abitato alla marina di Casamicciola", in Figura 2. In tale piano, redatto nel 1884 dall'ingegnere Domenico Lo Gatto, si prevedeva un addensamento edilizio presso la Marina, poiché valutata zona più sicura. Si propose anche l'eliminazione di edifici e fabbriche, laddove fortemente danneggiati, e la costruzione con una lottizzazione a scacchiera regolare dei quartieri Umberto I, Genala e Sanseverino. Tra questi ultimi due, nello specifico in località Persico, si decise di destinare un'intera area al nuovo Ospizio dei bagni termo-minerali del Pio Monte della Misericordia.

La ricostruzione del Pio Monte della Misericordia dopo il 1883

Il terremoto del 1883 distrusse completamente l'Ospizio, i Bagni e le stufe appartenenti al Pio Monte della Misericordia, poste in piazza Bagni e servite dalle vicine sorgenti del Gurgitello[4], si veda la Figura 3. In realtà, il complesso era stato già compromesso dal precedente sisma del 1881, quando non aveva riportato danni «per crollamento di fabbrica, ha sofferto però molte e diverse lesioni più o meno gravi, specialmente verso il lato orientale»[5]. Di conseguenza, il Governo dell'Ente aveva preposto una commissione, composta dagli architetti Michele Ruggiero, Orazio Dentice, Ferdinando de Rosenheim, affinché individuasse insieme a Lorenzo Gelanzé, "architetto ordinario" dell'Ente, i danni e per definire i lavori da effettuare[6].

Tuttavia, tali interventi non riuscirono a evitare la distruzione della struttura, provocata dal sisma del 4 luglio del 1883. Così, nel 1884, gli amministratori, avvalen-

Fig. 3 - Casamicciola: il Vecchio Ospizio del Pio Monte della Misericordia nel 1884 (Johnston-Lavis, 1885, p. 49).

dosi nuovamente della consulenza dei valenti architetti Ruggiero e de Rosenheim e del medico Giuseppe Palma, decisero di incaricare un «ingegnere specializzato che già si è occupato di tale materia dopo il tremuto affin di poter fare delle proposte concrete»[7]. A costui sarebbe stato affidato il progetto del nuovo Ospizio. In tal senso, rispettando le volontà del defunto governatore Ernesto Carignani Duca di Tolve e sentito il parere di Ruggiero[8], la scelta ricadde sul fondatore del Collegio degli Ingegneri e Architetti, Giuseppe Florio.

Differenti furono le motivazioni che spinsero a preferire Florio. In primo luogo, il tecnico si era già confrontato con impianti termo-minerali e con opere di ingegneria idraulica. Era stato incaricato, infatti, alla progettazione dell'impianto termale appartenente al comune di Ischia[9]. Inoltre, Florio aveva anche elaborato il piano della conduttura del Serino. Cruciale nella decisione del Governo fu poi il ruolo rivestito da Florio quale portavoce della relazione del Collegio degli ingegneri ed Architetti sull'azione di ricostruzione del patrimonio edilizio ischitano distrutto dal sisma del 1883[10].

Il nuovo Ospizio del Pio Monte della Misericordia

Accettato il rilevante incarico offertogli dal Governo del Pio Monte, Florio provvide a redigere un primo progetto di massima per il nuovo impianto dei bagni termominerali all'interno di un ampio Ospizio.

In tali anni, si discusse a lungo circa il luogo in cui ricostruire il complesso, dal momento che i terreni presso piazza Bagni, dove sorgevano gli edifici di proprietà del Monte erano stati valutati poco sicuri. Sicché, nel 1887, dopo serrati confronti con le amministrazioni locali e nazionali si decise di adoperare i suoli in contrada

Persico[11], già destinati all'Ospizio dal Piano regolatore. Così, il lotto su cui si andò a impiantare il complesso, capace di accogliere fino a 300 ospiti, ebbe una forma pressoché trapezoidale con una superficie di oltre 12.000 metri quadrati.

Per quanto attiene più strettamente al progetto dell'Ospizio e dei bagni proposto da Florio, attraversato l'ingresso sull'attuale via Girardi e corso Manzi, si accedeva al vestibolo, grazie al quale si raggiungevano prima i corridoi, e poi i cinque padiglioni disposti simmetricamente lungo i fronti longitudinali e intervallati da ampi giardini. Ai cinque reparti già menzionati se ne aggiunsero due per distribuire al meglio il numero di infermi.

Tra le file di padiglioni furono collocati gli spazi comuni, quali la chiesa e i locali dell'amministrazione e i refettori. Al termine del lotto, invece, si svilupparono le due ampie sale da bagno «adatte a distribuivi successivamente gli infermi, secondo l'età, e fino ad un certo punto ancora seconda la malattia […] altre minori [sale] siano ad esse aggregate per istallarvi ogni specie di docce speciali»[12].

Per la fabbrica furono inoltre previsti gli impianti di scarico delle acque e quelli delle fognature, in particolare questi ultimi prevedevano un sistema di «riunione di tutte le materie fecali in unica fogna centrale, la di cui galleria di scarico terminerebbe al mare»[13].

Nella relazione allegata al piano, Florio, come ovvio, ribadì di aver osservato le disposizioni urbanistiche, programmando l'apertura di nuove strade, che «circondino tutto il recinto»[14]. Sostenne poi di aver rispettato le norme espresse dal citato Regolamento Edilizio riguardanti gli edifici pubblici di carattere permanente giacché aveva previsto una struttura caratterizzata da un sistema di intelaiature interne all'apparato murario «per assicurare la resistenza delle fabbriche contro i possibili squotimenti del suolo»[15]. La scelta di un impianto costituito da differenti reparti evitava un numero eccessivo di infermi in ambienti con il possibile rischio di contagio[16] e consentiva maggiore sicurezza antisismica, grazie ai corpi di fabbrica di un sol piano e indipendenti tra loro.

Sicché, data la rilevanza del progetto, gli amministratori del Pio Monte richiesero proposte e soluzioni alle aziende specializzate in costruzioni metalliche, sottoponendo tali elaborati al giudizio di noti tecnici. Infatti, oltre gli architetti Ruggiero e De Rosenhaim fu interpellato anche l'ingegnere Francesco Paolo Boubée. Costui fu infatti figura chiave della seconda metà del XIX per i rilevanti studi riguardo alle strutture in ferro e in legno, ricordato per la copertura della Galleria Umberto I di Napoli, nonché per aver commentato nel 1877 l'importante opera di Gustav Adolf Breymann dal titolo "Trattato generale di costruzioni civili con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose guida all'insegnamento ed allo studio" tradotta da Lo Gatto. Inoltre, negli stessi anni, come è noto, Boubée fu autore di rilevanti pubblicazioni scientifiche sui sistemi strutturali in legno e in ferro, tra le quali il "Trattato elementare teorico-pratico di costruzioni metalliche" del 1880, occupandosi altresì

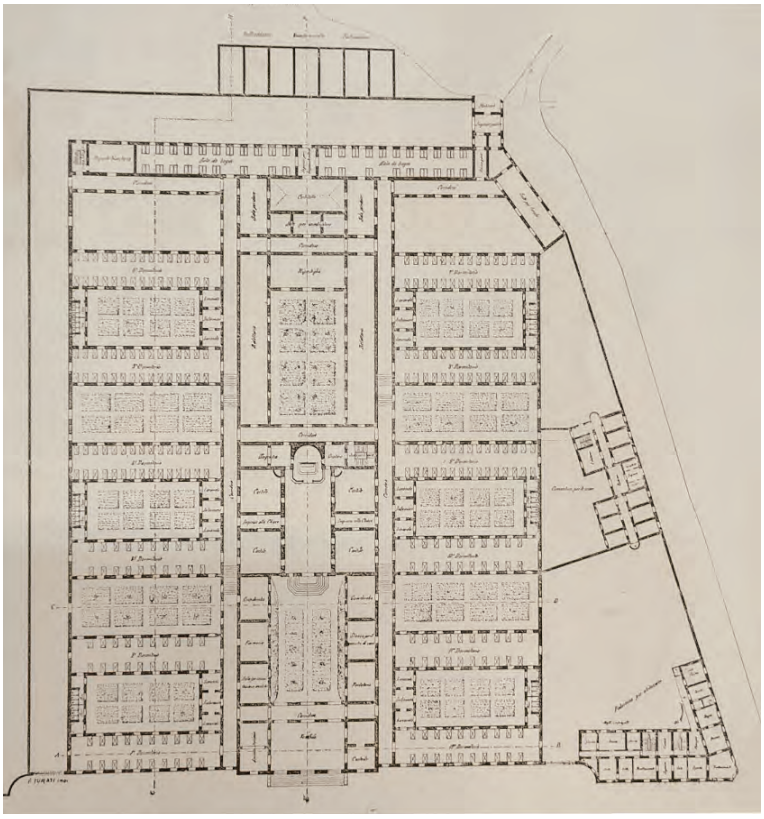


Fig. 4 - Casamicciola: progetto per la ricostruzione dell'Ospizio del Pio Monte della Misericordia: fotografia della pianta del 1889 redatta da Giuseppe Florio, 1889 (Archivio Pio Monte della Misericordia, cat. A, rub. a, n.IX, z).

di ferrovie e dei ponti metallici portatili, confrontando il sistema inventato da Gustav Eiffel con quello dello stabiese Alfredo Cottrau.

Per il Pio Monte della Misericordia, Boubée esaminò accuratamente una proposta definita dalla ditta Bellinger [17], respinta per il mancato rispetto di elementari condizioni statiche ed economiche. Inoltre, Boubée non valutò idonea la proposta a causa dell'assenza di dettagli costruttivi «delle unioni dei ferri fra loro e con gli altri materiali dei concatenamenti ed i calcoli relativi»[18].

In tale occasione anche l'azienda di Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche dell'ingegnere Cottrau, nella quale lo stesso Boubée era azionista, presentò un'alternativa. Sebbene la proposta fosse valutata «molto ingegnosa e degno della più seria considerazione»[19], fu rifiutata perché non rispondente pienamente alle «esigenze speciali» del caso.

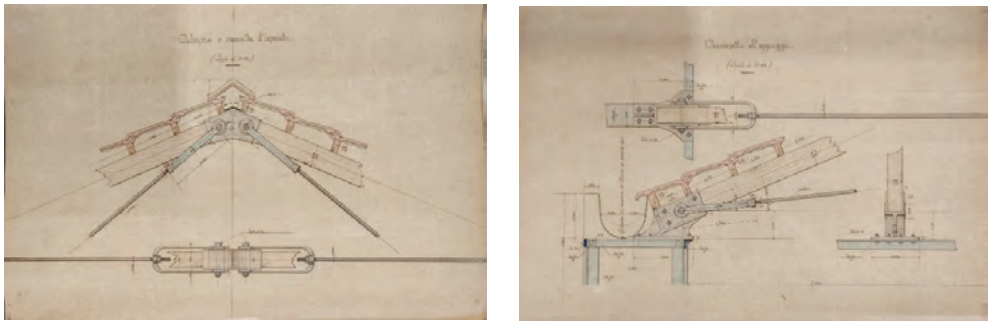


Fig. 5 - Casamicciola: dettagli costruttivi del progetto per la ricostruzione dell'Ospizio del Pio Monte della Misericordia (Archivio Pio Monte della Misericordia, cat. A, rub. a, n.IX, e).

In questi anni tra il 1887 e il 1889, anno dell'approvazione del piano definitivo, si susseguirono ancora continui incontri tra la Commissione Ispettrice, formata da Ruggiero, Schioppa e de Rosenheim, e l'ingegnere Florio. Al di là dei confronti circa la tipologia da adottare nelle strutture verticali, tra i temi di discussione vi fu la scelta di un sistema di fondazioni, che meglio rispondesse all'assorbimento dei carichi strutturali e di eventuali movimenti tellurici, mitigando gli effetti della forza sismica sulla costruzione. Un dibattito che verté essenzialmente sullo studio di fondazioni poste su uno strato di arena o sull'acqua, preferendo il secondo, valutato più idoneo «fondare nell'acqua che su qualunque strato, specialmente quando questo si trova a poca profondità»[20].

Ulteriore dibattito fu incentrato su un sistema di collegamento tra gli elementi verticali e le coperture[21], così nel 1889 Florio presentò un progetto, in Figura 4, nel quale propose un telaio doppio con funzione ingabbiante per la muratura e un sistema alla Polonceu per le strutture di copertura. Interessanti, in tal senso, sono i dettagli costruttivi conservati presso l'Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, quali quelle delle armature delle pareti e delle coperture dei differenti ambienti. In Figura 5 si riportano all'attenzione i disegni dagli eleganti tratti grafici dei nodi costruttivi in scala 1:10, tra cui quelli del cuscinetto d'appoggio, del culmine e della cassetta dell'innesto, nonché dei montanti.

Decisi i sistemi tecnologici per il complesso dell'Ospizio e dei bagni Florio si dedicò alla progettazione della conduttura idraulica, opera primaria e indispensabile per approvvigionare il nuovo ospizio con le acque minerali provenienti dalle sorgenti detta "degli Spennapollasti" e quella del Gurgitello. Tenuto conto delle condizioni geografiche, delle differenti quote da collegare e della distanza di 700 m tra le sorgenti e il moderno complesso, Florio elaborò un dettagliato progetto, ancora conservato presso l'Archivio del Monte. Sfruttando il naturale declivio del suolo, il tecnico propose l'istallazione di un canale sotterraneo, che iniziava presso piazza Bagni. La

condotta costeggiava, poi, il diruto Ospizio lungo il lato del vallone della Lava e proseguiva per diversi terreni non appartenenti al Pio Monte, fino a raggiungere la vasca di raccolta dell'acqua posta vicina ai bagni della nuova costruzione. Inoltre, Florio suggerì di istallare dei sistemi di raffreddamento dell'acqua al centro del vecchio edificio, facendo partire una seconda tubatura all'interno del canale sotterraneo. Tale acqua era quindi raccolta in una cisterna nel cortile del nuovo impianto.

Tutte le proposte furono definitivamente accettate nel 1889, a eccezione di quella della chiesa[22], il cui disegno destò critiche per via delle «forme bizantine»[23], incoerenti e «bizzarre» con l'uniformità dell'Ospizio.

Approvati i disegni, il Governo dell'Ente deliberò l'inizio dei lavori, stabilendo di realizzare un primo stralcio del piano generale, costruendo le opere indispensabili per la cura dei malati, ovvero i bagni, i sei dormitori e i due refettori. Questi ultimi ambienti, destinati all'esercizio amministrativo, a dispetto degli altri spazi, furono costruiti con un sistema di muratura mista al legno.

In questa fase esecutiva, nel 1890, Florio, nominato Direttore del Risanamento di Napoli[24], rinunciò all'incarico e fu sostituito da Nicola Breglia, il quale assunse la direzione dei lavori, impegnandosi a rispettare il piano approvato. Tra le prime disposizioni, il nuovo Direttore, insieme alla Commissione, si trovò a valutare le proposte presentate da differenti imprese di costruzioni metalliche per affidare l'appalto, stimando più idonea quella sottoposta dalla celebre Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche rappresentata da Kossuth[25]. Così con l'apporto del già menzionato Boubée, l'azienda consegnò gli elaborati delle armature e delle intelaiature per il rinforzo delle pareti[26] (Carughi, 1996, p. 22; Carughi e Guida, 2003, p. 216).

In realtà, in questi anni, non poche furono le modifiche apportate al progetto dal nuovo Direttore, in particolare per la parte relativa alla conduttura, che conduceva l'acqua dalla piazza Bagni alle vasche di deposito. Breglia era persuaso del fatto che la condotta non avesse tenuto conto della natura delle acque e che la sezione del canale fosse insufficiente per la portata di progetto, affermando che «il tubo in ferro progettato per servire da sifone è del diametro di m. 0,08 ed io credo che per naturale deposito di quelle acque e le inevitabili incrostazioni, la sezione del tubo verrebbe in brevissimo tempo ad ostruirsi […]. Ad evitare questo stato di cose io sarei d'avviso continuare il canale in muratura da costruirsi sopra un sistema di archi fino all'incontro delle vasche in modo da poter facilmente e direttamente scaricare in esso le acque»[27].

Nel 1892 insoluta la problematica relativa alla conduttura delle acque termali, risolta poi con la costruzione di un dispendioso e criticato ponte canale (Regia Commissione d'Inchiesta per Napoli 1903, p. 112), furono ultimate tutte le strutture a eccezione delle sale da bagno e dei fanghi[28], concluse nel 1896 insieme al secondo stralcio del piano definitivo, quando si realizzò la costruzione del prospetto principale, dell'androne di ingresso e le parti accessorie (Regia Commissione d'Inchiesta per Napoli 1903, p. 106).

È necessario sottolineare qui un'altra rilevante variazione apportata da Breglia. Infatti il Direttore manifestò di non concordare circa l'adozione del ferro, che aveva sostituito la tecnica già descritta della casa baraccata come prescritto dal Real Decreto per le opere pubblico di carattere permanente. L'uso del ferro era stato preferito «allo scopo, creduto valevole, di assicurare la maggiore stabilità all'Edificio nella occasione del tremuoto»[29]. Tuttavia, al contrario, Breglia considerò che: «detto sistema infatti non concorre alla maggiore stabilità della fabbrica, la quale viene invece spezzata in tutti i sensi, perdendo quel concatenamento delle parti, tanto necessario alla buona stabilità della muratura. Il sistema dei montanti in ferro fin oggi adottato in quella vasta costruzione se non è di vantaggio alla stabilità della muratura, (la) garantisce però ai soffitti, nel caso di un terremoto, rendendo quasi impossibile la loro completa rovina. Una tale garanzia però non è difficile ottenere con altro sistema, collegando cioè fra loro le diverse travi, in modo da formare tutto un sistema, ed evitando che ciascuna delle travi funzionasse isolatamente per proprio conto»[30]. Sicché per le costruzioni da realizzarsi, in ragione della ridotta luce del tetto, decise di non utilizzare il sistema detto alla Polonceau, come spesso erroneamente è riportato, preferendo elementi in legno e concatenando i diversi elementi con staffe e squadri di ferro[31].

Trascorso quasi un ventennio, nel luglio del 1898, non senza complicazioni dipese da errori progettuali, difficoltà economiche e inadempienze sorte nella fase esecutiva, si conclusero i lavori e le opere furono collaudate dagli ingegneri revisori.

Conclusioni

Sebbene esista un'ampia bibliografia riguardo alla ricostruzione post-sisma del 1883 di Casamicciola, mancava un approfondimento sulle operazioni di riedificazione del nuovo Ospizio del Pio Monte della Misericordia. Infatti le recenti ricerche nell'Archivio storico dell'ente benefico napoletano restituiscono proficui confronti sui sistemi e le tecniche da adoperare nel nuovo complesso. Oltre a quello di Florio e Breglia è necessario sottolineare l'apporto di Boubée nonché l'indispensabile ruolo svolto dagli architetti Ferdinando de Rosenheim e Michele Ruggiero, insieme a Schioppa, quali componenti della Commissione Ispettrice poi chiamati ai collaudi dell'opera. Costoro, furono attivi non solo nelle ultime operazioni, giacché seguirono grossomodo per vent'anni le vicende dell'Ospizio, a partire dalla individuazione dei danni arrecati alla seicentesca struttura all'indomani del terremoto del 1881 fino ai collaudi del 1899.

Fonti archivistiche

Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. c.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. d.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. e.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. g.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/, del.n.3, 7 marzo 1881, p. 201.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, 18 marzo 1881, pp. 211-213.

Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/82, del. n. 2, 24 marzo 1884, pp. 504-505.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/85, del. n. 1, 25 luglio 1885, p. 141.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/88, del. n. 2, 15 aprile 1887, p. 184.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/88, del. n. 2, 15 aprile 1887, p. 180.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, del.n.2, 5 settembre 1887, p. 456.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/88, del. n. 1, 17 novembre 1887, pp. 616-617.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/89, del. n.2., 2 dicembre 1887, pp. 650-651.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/89, del. n. 1, 28 giugno 1888, p. 353.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/89, del. n. 1, 28 giugno 1888, p. 353. Ha/89, del n. 1, 17 agosto 1888, p. 471.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, ASPMM, Ha/89, del n. 3, 10 agosto 1888, p. 456.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/91, del n. 10, 24 gennaio 1890, pp.16-17.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/91, del n. 2, 18 aprile 1890, pp. 97-98.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia,, Ha/91, del n. 1, 1°agosto 1890, pp. 224-225.
Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, Ha/89, del n. 7, 1 aprile 1892, p. 174.

Bibliografia

Currà E., Liberatore D., Paolini C., Pizzoli E., *et al*. 2015. History, development and application of anti-seismic techniques: the post-earthquake reconstruction of the "Pio Monte della Misericordia" in Ischia. In: *Proceedings of the 5th International Congress on Construction History* (a cura di D. Friedmant), 557-564. Raleigh: Lulu press.

Carughi U. 1996. *La Galleria Umberto I. Architettura del ferro a Napoli*. Napoli: Franco di Mauro Editore.

Carughi U., Guida E. 2003. *Alfredo Cottrau 1839-1898. L'architettura del ferro nell'Italia delle grandi trasformazioni*. Napoli: Electa Napoli.

Currà E., Liberatore D., Paolini C., D'Amico A. 2015. History, Development and Application of Anti-Seismic Techniques: the Post-Earthquake Reconstruction of the " Pio Monte della Misericordia" in Ischia. In: *Proceedings of 5th International Conference on Construction History*, Chicago, giugno, I, 557-564.

Delizia I. 1989. Il recupero e il destino del Pio Monte della Misericordia. La Rassegna di Ischia, IV, 16-19.

Delizia I., Luongo G., Carlino S., Cubellis E., *et al*. 2006. *Il Terremoto di Casamicciola del 1883: una ricostruzione mancata*. Napoli: *Alfa Tipografia.*

Fernández Martínez C. 2020. La città ferita. iconografia dei terremoti italiani del 1851 e 1883. In: *La città globale. La condizione urbana come fenomeno pervasivo* (a cura di M. Pretelli, R. Tamborrino e I. Tolic). Torino: Aisu International.

Florio G. 1883. Intorno alle cause che concorsero al disastro di Casamicciola del Pio Monte della Misericordia, sotto il punto di vista architettonico, e sul migliore sistema di ricostru-

zione delle case. In: *Atti del Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Napoli*, anno VIII, fasc. V, 143-160.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., *et al*. 2018. CFTI 5Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy from 461 BC. to 2000 and in the Mediterranean area, from 760 BC. to 1500*, INGV, An Advanced Laboratory of Historical Seismology, WEB GIS http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/

Johnston-Lavis H.J. 1885. *Monograph of the Earthquakes of Ischia: A Memoir Dealing with the Seismic Disturbances in that Island from Remotest Times, with Special Observations on Those of 1881 and 1883*. London, Naples, Furchheim: Dulau e Co.

Manzo E. 2001. Vincenzo Ferraresi, Regio Architetto del Regno di Napoli. In: *Ferdinando Fuga 1699-1799* (a cura di A. Gambardella). Napoli: ESI.

Maretto P. 1975. *Edificazioni tardo-settecentesche nella Calabria meridionale*. Firenze: Teorema.

Parisi R. 2001. Verso una città salubre. Lo spazio produttivo a Napoli tra storia e progetto. Meridiana, 42, 53-74.

Perzone M.G. 2008. Carlo Buratti. *Architettura tardo barocca tra Roma e Napoli*. Perugia: Alinea.

Principe I. 2001. *Città nuove in Calabria nel tardo Settecento*. Roma: Gangemi.

Regia Commissione d'Inchiesta per Napoli. 1903. *Relazione sulle isistuzioni pubbliche di Beneficenza di Napoli*. Roma: Tipografia Nazionale di G. Bertero.

Romano L. 2021. Dalle esperienze tardo settecentesche al terremoto di Ischia del 1883: l'innovazione di un'antica tecnica antisismica. In: *Resilienza versus catastrofe. Da Lisbona 1755 a Messina 1908: esperienze, temi e problemi della ricerca antisismica* (a cura di G. Menna), 87-108. Napoli: Diatoni.

Ruggieri N. 2013. Il sistema antisismico borbonico muratura con intelaiatura lignea genesi e sviluppo in Calabria alla fine del '700. Bollettino ingegneri, 10, 3-14.

Savorra M. 2021. Brevetti di case antisismiche e richerche sperimentali dal terremoto di Ischia alle catastrofi di Messina e Reggio Calabria (1883-1908). In: *Resilienza versus catastrofe. Da Lisbona 1755 a Messina 1908: esperienze, temi e problemi della ricerca antisismica* (a cura di G. Menna), 109-136. Napoli: Diatoni.

Vivenzio G. 1783. *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII.* Napoli: s.e.

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...*, Napoli: s.e.

Note

[1] Nelle Calabrie, la ricostruzione era stata regolata dalle "Istruzioni sul metodo da tenersi nella riedificazione dè Paesi diruti della Calabria", nelle quali era stata raccomandata l'adozione di murature con rinforzi di membrature di legno verticali e trasversali (Vivenzio, 1783, Maretto, 1975, Principe, 2001), di cui noto è il sistema dell'architetto Vincenzo Ferrarese (Manzo, 2001, pp. 153-160) pubblicato nella prima edizione dell'atlante di Giovanni Vivenzio.

[2] Napoli, Archivio storico del Pio Monte della Misericordia, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. g, d'ora in poi: ASPMM.

[3] Idem.

[4] Degna di menzione è una delle rare fotografie riportate in (Currà, 2015, p. 558). Si veda anche (Guidoboni *et* al., 2018)
[5] Napoli, ASPMM, Ha/, del.n.3, 7 marzo 1881, p. 201.
[6] La commissione, recatasi a Casamicciola, aveva elaborato un'attenta analisi del quadro fessurativo e indicato le varie opere di puntellatura necessarie, redigendo un progetto nel quale fu proposto di inserire catene nelle parti più pericolanti, di ricostruire gli archi nel corridoio degli impiegati, di sarcire le fabbriche spostate nell'appartamento del Governo, di risanare il tetto e di esaminare lo stato della volta e della chiesa, infine di sarcire le vasche di acqua minerale del ampio impianto costruito dal regio tavoliere Giuseppe Pollio. Napoli, ASPMM, Ha/, del.n.10, 18 marzo 1881, pp. 211-213.
[7] Ivi, Ha/82, del. n. 2, 24 marzo 1884, pp. 504-505.
[8] Napoli, Ha/85, del. n. 1, 25 luglio 1885, p. 141.
[9] Oltre alle terme comunali, a Florio si devono poi ulteriori impianti quali dello stabilimento di Scarjo a Vico Equense; l'ingegnere fu attivo altresì a Pozzuoli. In altra località termale, Telese Terme, provvide alla progettazione del Grand Hotel.
[10] Napoli, Ha/85, del. n. 1, 25 luglio 1885, p. 142.
[11] Nel 1887 si susseguirono numerosi confronti tra il Governo del Pio Monte con le amministrazioni locali e nazionali. Dunque, gli amministratori incaricarono Florio per selezionare il suolo su cui erigere il nuovo complesso; in particolare la scelta era tra i terreni in contrada Persico già destinati dal Piano Regolatore o in contrada Perrone dove il terreno risultava poco pianeggiante e meno adatto all'Ospizio. Napoli, Ha/88, del. n. 1, 17 novembre 1887, pp. 616-617.
[12] Napoli, Ha/88, del. n. 2, 15 aprile 1887, p. 184.
[13] Napoli, Ha/88, del. n. 2, 15 aprile 1887, pp. 185-186.
[14] Napoli, ASPMM, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. d.
[15] Napoli, Ha/88, del. n. 2, 15 aprile 1887, p. 180.
[16] Ibidem.
[17] L'ingegnere Francesco Paolo Boubée, figura di spicco nell'ambiente napoletano di fine secolo e autore, per altro, dei grafici esecutivi strutturale e del vetro della Galleria Umberto I a Napoli (Parisi, 2001, p. 53).
[18] Napoli, ASPMM, Ha/88, del.n.2, 5 settembre 1887, p. 456.
[19] Ivi, Ha/89, del. n.2., 2 dicembre 1887, pp. 650-651.
[20] Ivi, Ha/89, del. n. 1, 28 giugno 1888, p. 353.
[21] Napoli, ASPMM, Ha/89, del n. 3, 10 agosto 1888, p. 456;
[22] Ivi, Ha/89, del. n. 1, 28 giugno 1888, p. 353. Ha/89, del n. 1, 17 agosto 1888, p. 471.
[23] Napoli, ASPMM, Ha/89, del n. 7, 1 aprile 1892, p. 174.
[24] Napoli, ASPMM, Ha/91, del n. 10, 24 gennaio 1890, pp. 16-17.
[25] Napoli, ASPMM, Ha/91, del n. 2, 18 aprile 1890, pp. 97-98.
[26] Napoli, ASPMM, Ha/91, del n. 1, 1°agosto 1890, pp. 224-225.
[27] Napoli, ASPMM, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. e.
[28] Napoli, ASPMM, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. e.
[29] Napoli, ASPMM, cat. A, rubr. a, n. IX, fasc. c.
[30] Ibidem.
[31] Ibidem.

Elena Gianasso

Ingegneri e governance: note intorno a Gian Giacomo Plantery decurione

Engineers and governance: notes on Gian Giacomo Plantery decurione

Sommario
Professionista capace di occuparsi a lungo della "Città", del disegno urbano, dell'architettura e pure dell'amministrazione, Gian Giacomo Plantery (1680-1756) è eletto nel Consiglio decurionale di Torino nel 1712. Ingegnere, segue la trasformazione della Città, intesa come Municipalità, negli anni di governo di Vittorio Amedeo II quando il ducato, all'indomani del trattato di Utrecht, diventa regno sabaudo. Al tempo stesso, perché tecnico, si occupa di questioni di edilizia, viabilità, idraulica, non solo nella Città vecchia, nella città quadrata o nell'area di espansione verso la Francia dove sono aperti i più noti cantieri urbani, ma lavora osservando con uno sguardo di insieme l'intero territorio comunale. Presente in Consiglio per quarantaquattro anni, fino alla sua scomparsa, assume un ruolo che appare significativo per discutere la relazione tra la figura professionale dell'ingegnere e la *governance*, nel significato esteso, ora contemporaneo, del termine. Plantery, noto forse più per le sue capacità di strutturista, è il primo tecnico qualificato con il proprio titolo professionale, se lecito utilizzare questa locuzione con riferimento al Settecento, nell'elenco dei decurioni che aprono o chiudono i volumi che riuniscono i verbali delle riunioni consiliari. Scorrendo le pagine degli "Ordinati", focalizzando l'attenzione sui suoi interventi soprattutto intorno al progetto di Filippo Juvarra per la Città vecchia si inizia a delineare una più specifica *governance* tecnica municipale, prima nel regno della capitale sabauda.

Abstract
Technician dealt with the City, the urban planning, the architecture and the administration of Torino's Municipality, Gian Giacomo Plantery (1680-1756) is elected in the Council – the so-called Consiglio decurionale of Torino in 1712. Engineer, he worked in the same period during which the dukedom of Savoy became a kingdom because of the treaty of Utrecht. He took care of construction industry, mobility, hydraulic, not only in the city center, the so-called Città vecchia and in the third expansion towards Rivoli and the France – in the area in which it was opened the bigger building sites of

the city, but he worked considering the whole area inside the municipal administrative limits. Plantery has worked in the Torino's Consiglio decurionale for forty-four years, since 1712 to his death, taking on a significant role to discuss the relationship between the engineer, the profession of the engineer, and the governance, according to the contemporary meaning. Plantery is the first technicians identified with his profession in the list of councilors written at the beginning, or at the end of each Ordinati's volume. Reading the Ordinati and considering especially the period in which Plantery analyzed Filippo Juvarra's projects for the Città vecchia, it's possible to outline the first technical governance of the Municipality, probably the first in the sabaudian kingdom.

Note intorno alla figura di Gian Giacomo Plantery, decurione a Torino

Discendente da una famiglia agiata proveniente dalla francese Briga, figlio di Giacomo o di Giovan Giacomo, Gian Giacomo Plantery è registrato dal censimento di Torino del 1705, venticinquenne, abitante in cantone San Giuseppe con la moglie Cristina Maria Comune[1] e tre figli, Clara Francesca, Amedeo e Giuseppe Maria (Olivero, 1932, p. 21; Signorelli, 2015). Le carte registrano altri discendenti e il secondo matrimonio con Rosa Francesca Chiaves. Tecnico esperto, è figura ancora molto da approfondire, non solo attraverso i rapporti di famiglia che lo legano a Vittone, ma anche attraverso la sua attività professionale, di strutturista e progettista (Olivero, 1932; Braida *et al.*, 1963; Cavallari Murat, 1957; Signorelli, 2015) negli anni di Filippo Juvarra e Benedetto Alfieri, solo per citare due figure emergenti del Settecento sabaudo (Cornaglia *et al.*, 2012; Cornaglia, 2014; Cornaglia *et al.*, 2014; Merlotti, 2014).

Il 16 maggio 1712[2], a Palazzo di Città, Gian Giacomo Plantery diviene membro del Consiglio dei decurioni[3], organo centrale del potere municipale, eletto consigliere di seconda classe in luogo del referendario[4] Paolo Antonio Testone. I chiavari[5] nominano, allora, un Consigliere di prima classe, il conte di Lombriasco, e tre di seconda classe: l'avvocato Giacomo Ottavio Bonaventura Tonso, Gio. Giacomo Audiffredi e, appunto, l'ingegnere Gio. Giacomo Gerolamo Plantery che, il 25 maggio, presta giuramento. Nelle pagine degli "Ordinati", i poderosi volumi manoscritti che riuniscono i verbali delle riunioni consiliari, le sue presenze sono registrate regolarmente dal periodo estivo[6], mesi in cui a Palazzo di Città si discute il progetto di Michelangelo Garove per la Regia Università degli Studi di Torino (Castiglioni, 2010; Cornaglia, 2012).

I tanti incarichi assunti da Plantery in Comune sono ricordati da Eugenio Olivero nel 1932, nel volume dedicato al torinese Palazzo Cavour (Olivero, 1932) e sono poi ripresi da Augusto Cavallari Murat nel 1957, in un articolo pubblicato nelle pagine della rivista "Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino" in occasione del bicentenario della morte di Plantery (Cavallari Murat, 1957). È giusto riconsiderarli ora, come base di una ricerca che in queste pagine si può solo introdurre, indagando gli interventi planteriani nel tanto apporto offerto dall'ingegnere al dibattito municipale.

Lo spoglio sistematico dei volumi degli "Ordinati"[7] e il successivo e parallelo confronto con le note di Olivero e di Cavallari Murat restituiscono l'incarico attribuito a Plantery nel 1714, nel 1717 e ancora nel 1736 di direttore del Monte di san Giovanni Battista, un istituto finanziario che Vittorio Amedeo II vuole come sistema creditizio per lo Stato e per le sue spese (Ricuperati, 2002a; Ricuperati, 2002b).

Nel 1720, all'età di quarant'anni, e poi nel 1739, Plantery è nominato chiavario, usuale responsabile degli archivi, incaricato di individuare la terna per la nomina a Consigliere decurionale (Rocci, 2002, p. 63).

Nel 1723, nel 1742, nel 1745 e poi ancora nel 1748 è ragioniere, una figura cui non sono richiesti saperi specifici ma che, fin dal Cinquecento, è tradizionalmente identificata con i mercanti o gli esperti in materia economico-finanziaria (Merlin, 1998, p. 141).

Rappresentante dell'élite mercantile e professionale che aveva caratterizzato a lungo la seconda classe di decurioni (Rosso, 2002, p. 121), tre anni dopo la prima nomina a ragioniere, Plantery diventa sindaco di seconda classe, incarico che riceve ancora venticinque anni dopo, nel 1751.

Nel 1726, quando in qualità di sindaco è ricevuto a udienza da Vittorio Amedeo II, il sovrano loda il «suddetto ingegnere Plantery come celebre architetto civile»[8]. È il riconoscimento della professionalità tecnica dell'ingegnere, o ingegnere-architetto, estesa da Plantery alla categoria professionale, in quel sovrapporsi e confondersi di titoli, ingegnere, ingegnere-architetto, architetto, che caratterizza il Piemonte sabaudo tra Seicento e Settecento, esplicitando perlopiù saperi e competenze.

Negli anni di attività a Palazzo di Città, Plantery si occupa anche di esaminare i candidati misuratori ed estimatori, professionisti impegnati nelle perizie di valutazione fondiaria utili alle procedure amministrative di stima dei lotti urbani (Roggero, 2002, p. 803). La stessa mansione, attribuita prima all'ingegnere Tommaso Sevalle, dopo la scomparsa di Plantery, è affidata a Ignazio Agliaudi, alias Giovanni Pietro Baroni di Tavigliano, noto allievo e collaboratore di Filippo Juvarra.

Nel 1733, ancora, l'ingegnere è mastro di ragione, la figura cui è affidata la gestione economica del Municipio, motivo per cui gli sono richieste conoscenze in materia economica (Rocci, 2002, p. 63). Alla sua scomparsa, in sua vece, è eletto consigliere di seconda classe l'avvocato Carlo Giacinto Laveseri (Olivero, 1932, pp. 22-23).

Plantery appare, quindi, come tecnico che, come nel secolo precedente, si trova nella posizione di intermediario nel dialogo tra il potere centrale e quello locale. Tuttavia, la sua persona aggiorna la professionalità dell'ingegnere a servizio della Municipalità, progettista riconosciuto e apparentemente autonomo che, con competenze multidisciplinari, integra l'immagine offerta da Carlo e Amedeo di Castellamonte e da Rocco Antonio e Giuseppe Rubatto, figure professionali che, tra primo e secondo Seicento, avevano progressivamente definito i ruoli seicenteschi degli ingegneri sabaudi tra Corte e Città (Gianasso, 2016; 2022).

Scorrendo gli incarichi planteriani emerge il *cursus honorum* di un uomo che da direttore del Monte di San Giovanni Battista a chiavario, a ragioniere, a sindaco, a mastro di ragione pare anticipare la legge di riforma del governo cittadino che sarebbe stata emanata a Torino nel 1767. Con una lettura estesa, la sequenza di impegni di Plantery declina la relazione tra professionalità nel settore dell'ingegneria e *governance* locale, rendendo al tempo stesso il sapere dell'ingegnere municipale del Settecento piemontese, tecnico esperto non solo di edilizia, architettura o disegno dello spazio urbano, ma anche dotato di riconosciute abilità gestionali e capacità in materia economica, finanziaria e giuridica.

Un primo progetto per la Città: la "Machina dei Fuochi artificiali" (1713)

Fin dai primi anni di presenza in Comune, Plantery svolge per la Municipalità anche un'intensa attività professionale, aperta nel 1713 con il progetto per la macchina dei fuochi di gioia che celebra la desiderata attribuzione del titolo di re di Sicilia al duca di Savoia Vittorio Amedeo II. Narra, infatti, il *Compendioso ragguaglio delle solenni feste celebrate nella Città di Torino*: «La sera poi dello stesso giorno fu accesa alle Glorie del Nuovo Monarca, la gran Machina di Fuochi artificiali fatta alzare nella Piazza del Reale Castello dalla generosa Magnificenza de Signori della Città. Fu invenzione, e disegno del Sig. Giacomo Plantery, Cittadino, Architetto, e uno de Settanta Signori Decurioni della Città medesima, e dell'Ornamento Letterario d'essa, fù onorato uno dei Padri della Compagnia di Gesù» ([Audiberti], 1713, p. 10).

A pianta triangolare, in omaggio alla forma dell'isola nonché ai tre possedimenti sabaudi, Piemonte, Savoia e Sicilia, la macchina, in Figura 1, è posata su un basamento e si erge su tre livelli. Le colonne tortili sormontate da statue che raffigurano la Sicilia, la Savoia e il Piemonte sono poste agli angoli della prima ampia piattaforma, cui corrispondono piramidi geometrizzate al livello successivo, sostenute da aquile in corrispondenza della Sicilia, leoni in relazione alla Savoia e tori rispetto al Piemonte. All'ultimo livello, ancora, le statue rispettivamente della Felicità, della Pace e della Vittoria enfatizzano l'altezza e la maestosità, volutamente celebrativa, di un «ingegnoso edificio, ricoperto di fuochi artificiali d'ogni sorte, lavorati senza risparmio, e con iscquisita cura, e diligenza, come si vidde dall'effetto de curiosi, e bellissimi giuochi, che faceva» ([Audiberti] 1713, p. 15).

La struttura, nel settembre 1713, non è montata nell'usuale spazio celebrativo municipale, ossia la piazza delle Erbe di fronte al Comune, ma in piazza Castello, in asse con la via che conduce a Palazzo di Città. La collocazione, che pare concretizzare il ruolo di Plantery come mediatore tra Stato e Città, esplicita la trasformazione della vita cerimoniale cittadina che individua quale nuovo, essenziale e unico, centro del potere lo spazio della Corte, specchio del progressivo crescere dell'autorità statale a discapito di quella municipale (Symcox, 2002, p. 837). Retribuito dal Comune sebbene decurione, come chiarisce il verbale della riunione della Congregazione del sei dicembre 1713,

Fig. 1 - G.B. Tasnière: incisione su disegno di G.G. Plantery, Disegno della Machina de Fuoci Artificiali eretta dalla Città di Torino nella piazza del Regio Castello l'anno 1713 il 22 di sett.bre in occasione che il Sovrano Reale Vittorio Amedeo fu con publica Solennità dichiarato Re di Sicilia ([Audiberti], 1713).

Plantery riceve quattrocento lire piemontesi per aver realizzato il disegno dell'apparato effimero e per averlo fatto «gravar e scolpir in rame dal signor Tasnère»[9].

Il disegno degli apparati effimeri realizzati per cura della Città è, qui, solo un esempio delle tante progettazioni siglate da Plantery che, comunque, nove anni più tardi è ancora chiamato a occuparsi dell'illuminazione di piazza delle Erbe e del Palazzo di Città quando si svolgono i festeggiamenti per le nozze tra Carlo Emanuele III e Anna Cristina Luisa Ludovica di Baviera Sultzbach; per l'occasione, il Comune illumina pure le porte urbiche, affidandone il disegno a Tommaso Sevalle (Bertagna, 1974-1976). Per lo Stato, è Filippo Juvarra a occuparsi della progettazione degli apparati effimeri innalzati in città e dell'illuminazione con torce e candele delle facciate degli edifici con l'intento di evidenziare agli sposi la regolarità dei fabbricati. È questo, forse, il primo

confronto tra il Messinese e Plantery, avvio di una relazione che certamente prosegue quando Juvarra presenta a Palazzo di Città i suoi disegni per la Città vecchia di Torino.

Intorno ai lavori di trasformazione della Città vecchia (1729-1733)

Nello scorrere delle pagine dei poderosi volumi degli "Ordinati", negli anni tra il 1712 e il 1756, più volte emerge come Plantery sia l'unico ingegnere e l'unico tecnico presente a Palazzo di Città. È forse questa una delle ragioni per cui è chiamato a esprimersi per risolvere le questioni che richiedono perizia e conoscenze in ingegneria o in architettura. Tuttavia, l'individuazione di Plantery[10] come tecnico incaricato dal Comune si desume non solo dalla citazione diretta del suo nome, come quando è detto firmatario di disegni o è esaminatore dei misuratori o degli estimatori, ma anche dal confronto tra i membri del Consiglio decurionale presenti alle riunioni e i progetti discussi, ascrivibili al suo ambito professionale per confronto con altre fonti storico documentarie. È il caso dell'impegno per i lavori nella cosiddetta Città vecchia, i cantieri che hanno segnato la trasformazione del centro cittadino di Torino.

Nella capitale sabauda, nei primi decenni del XVIII secolo si lavora alla sistemazione della città quadrata, una vicenda già più volte consegnate alle stampe (Cavallari Murat, 1968; Comoli Mandracci, 1983; Roggero, 2014; Roggero, 2020). La riorganizzazione dello spazio urbano, dalla allora ancora riconoscibile *facies* medievale, è affidata a Filippo Juvarra che, fin dai primi anni torinesi, si occupa del centro cittadino, risolvendo pure la saldatura tra il "vecchio" e la zona di espansione occidentale con la costruzione, iniziata nel 1716, dei Quartieri militari negli isolati di San Celso e San Daniele, ideati come porta urbica (Cavallari Murat, 1968; Comoli Mandracci, 1983; Comoli Mandracci, 2002; Roggero, 2014; Roggero, 2020). Costruiti al termine della contrada di Porta Susina, ora via Corte d'Appello, segnano il passaggio tra l'area di espansione occidentale, la piazza omonima, ora piazza Savoia (Muscedra, 2012; Bo, 2014), e la preesistenza, cui si saldano in adesione al cosiddetto principio dell'integrazione strutturale con la preesistenza. È in quest'area che si riconosce Palazzo Saluzzo Paesana, in Figura 2, di mano di Plantery e luogo in cui il tecnico municipale risiede fino al termine della sua esistenza.

Nel 1729, i progetti juvarriani per la rettificazione di via Corte di Appello e per la lineazione della contrada per Milano, entrambi raffigurati su fogli di grande formato incollati tra loro, tentano un controllo razionale dello spazio urbano, diventando parte di quella «politica del Regno» che cerca un'immagine rappresentativa del Regno anche nella Città vecchia (Comoli Mandracci, 2002, p. 962). Nuovi assi portanti della città quadrata, si aprono rispettivamente nella direzione dello stradone di Rivoli già definito da Michelangelo Garove e nella piazzetta quadrangolare di Porta Palazzo, risolta a portici, oltre la Basilica Mauriziana, dove via Milano si allarga in forma romboidale. È questo l'elaborato grafico, in Figura 3, che reca la firma di «Filippo Juvarra Primo Architetto Regio»[11] (Roggero, 2014; 2020).

Fig. 2 - Torino, Palazzo Saluzzo Paesana: atrio. Fotografia di Gian Carlo Dall'Armi (Città di Torino, 2000, p. 21).

Il dibattito municipale sulla trasformazione degli isolati nell'area di Porta Palazzo si protrae negli anni a causa di complesse vicende che interessano le proprietà e le necessarie pratiche di esproprio. È nella trattazione del progetto generale che si riconoscono i due ruoli dello Stato e della Municipalità, impersonati da Filippo Juvarra, che impartisce gli ordini del sovrano e da Gian Giacomo Plantery, che si occupa dei provvedimenti esecutivi emessi dal Comune.

Fin dal 1729, in adesione al progetto juvarriano, nella sede civica si valutano le espropriazioni per rettificare la contrada di Porta Palazzo e per ampliarla in corrispondenza della Basilica dei Ss. Maurizio e Lazzaro. Nello stesso anno, a Palazzo di Città si esaminano pure i disegni juvarriani per il Duomo nuovo di Torino, tema progettuale mirato forse a riplasmare le *isole* della Città vecchia in direzione nord-occidentale. I disegni di Juvarra sono forse affidati al sindaco conte Gabaleone di Salmour e ad altri due consiglieri, tra cui presumibilmente Plantery (Olivero, 1932, p. 23). Il Consiglio si esprime il 23 maggio, considerando gli elaborati e l'idea prospettata, commentata con parole che rendono l'importanza di trovare per gli isolati della città quadrata una soluzione adeguata a riflettere l'importanza del culto religioso e conveniente a esprimere la Magnificenza della Città (Roggero, 2014, p. 39).

Nell'anno successivo (1730), i verbali consiliari elencano note e conti che lasciano intendere l'impegno professionale di un uomo, Plantery, che è "il" tecnico

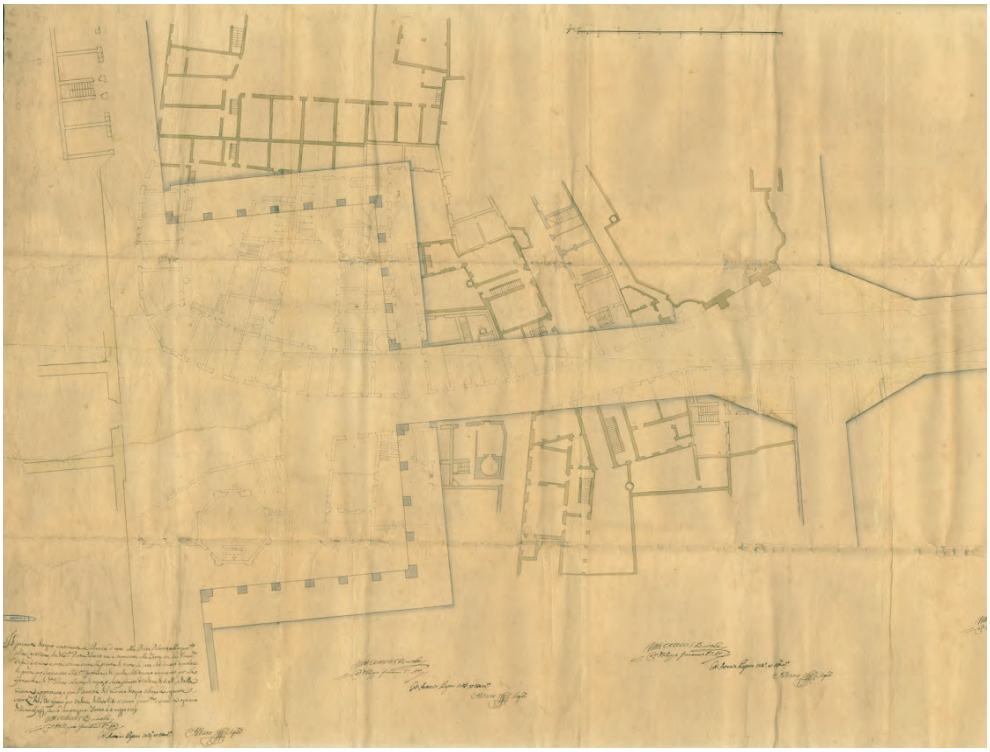


Fig. 3 - Filippo Juvarra. Progetto per la rettifica di Contrada di Porta Palazzo, 3 maggio 1729. Particolare della piazza aperta verso Porta Palazzo (Archivio Storico della Città di Torino, Carte sciolte, n. 1550).

presente in Comune, figura ancora incaricata di seguire le vicende che interessano la sistemazione della Città vecchia, ma anche chiamata ad assolvere ai suoi tanti incarichi tra cui quello di esaminatore di Carlo Francesco Pagano estimatore[12].

Nel 1731, l'ingegnere, unico Consigliere tecnico esperto, è nuovamente incaricato di valutare la relazione sul disegno di Juvarra per i fabbricati prospicienti la piazzetta di Porta Palazzo, comprendente «tutta l'isola di S. Michele […]»[13] e altri documenti inerenti lo stesso cantiere. Gli interventi planteriani sul tema si registrano nelle riunioni di Consiglio e in quelle di Congregazione, assemblee più ristrette di consiglieri in cui si trattano questioni pratiche e tecniche. Nel corso di una riunione di Congregazione a porte aperte svoltasi il 21 aprile 1731, ad esempio, si discute, in un dibattito qui presentato per la prima volta, l'opportunità di continuare la nuova contrada tracciata da Juvarra, chiudendo la via precedente e modificando i fronti dei fabbricati; è evidenziata la necessità di scegliere un disegno adeguato a rappresentare un conveniente decoro, nel rispetto, proprio del periodo dell'Assolutismo, della

volontà sovrana[14]. Una relazione e il commento a un disegno scritto tra le righe lasciano intuire l'intento programmatico juvarriano che, probabilmente, guarda oltre la ricercata regolarità viaria, verso un piano per la città dai confini estesi forse fino a cercare un confronto con la centrale zona di comando.

Altri incarichi portano ancora Plantery a lavorare nella Città vecchia: nel 1732 esamina contabilità e visita altri fabbricati da espropriare o da acquistare, nel 1733, quando è mastro di ragione, riceve pure l'ordine di riedificare la cosiddetta casa della civica Torre «per collocare in essa la scuola di terza e di umanità» dell'università (Olivero, 1932, p. 24; Signorelli, 2015). Negli stessi anni, è giusto ricordarlo, riceve commesse che lo portano a superare i confini della città quadrata, raggiungendo i fiumi; ne è esempio, nel 1733, il suo occuparsi di due ponti sul fiume Stura, uno verso Rivoli e uno verso Leinì, in direzione dell'Abbazia di San Giacomo, in un continuo estendersi delle aree e dei temi oggetto dei suoi studi.

Conclusioni

Il fare di Gian Giacomo Plantery, che prosegue incessante per quarantaquattro anni, fino alla sua scomparsa nel 1756, potrà ancora essere approfondito, soprattutto con riferimento ai lavori in materia di ingegneria strutturale o di idraulica, ma è possibile fin da ora ipotizzare il suo *modus operandi*, esemplificativo di una *governance* tecnica che, nel Settecento sabaudo, relaziona sapientemente nozioni di ingegneria e saperi intorno all'amministrazione municipale.

Intendendo il termine g*overnance* con il significato ora contemporaneo del termine, ossia «modo di governo, conduzione», ma anche «maniera, stile o sistema di conduzione e di direzione di un'impresa» (Treccani, 2023), emerge l'operatività guidata di un tecnico che si pone come attento interprete della Municipalità, concentrato sempre sulla ricerca del «bene della sua città» (Cavallari Murat, 1957), nel rispetto mai dimenticato del volere sovrano e della cosiddetta «politica del Regno» (Comoli Mandracci, 2002). Cifra dell'Assolutismo, tra Corte e Città, la *governance* esercitata da Plantery si fonda, oltre che su studi e indagini che si leggono tra le righe dei verbali consiliari, anche, presumibilmente, su un dialogo costantemente aperto tra la Municipalità e lo Stato, all'interno del quale il suo ruolo, che oggi pare non altamente significativo, è ancora da rileggere. Alla sua morte, il legame con il Comune non si spezza, ma è ereditato, secondo un'usanza non insolita in età moderna, dal nipote Bernardo Antonio Vittone, ancora un ingegnere che presterà il suo servizio al potere locale.

Risorse archivistiche

Archivio di Stato di Torino, Materie politiche per rapporto all'interno, Cerimoniale. Pubblicazione della Pace, m. 1, f. 8.
Archivio Storico della Città di Torino, Carte sciolte, n. 1179
Archivio Storico della Città di Torino, Ordinati, 1712-1756, ff. vari.

Bibliografia

Archivio di Stato di Torino (a cura di). 1982. *I rami incisi dell'Archivio di Corte: sovrani, battaglie, architettura, topografia*. Torino: Archivio di Stato.

[Audiberti C.M.] 1713. *Compendioso ragguaglio delle solenni feste celebrate nella Città di Torino, nel radoppiato giubilo per la dichiarazione della pace e della esaltazione del Reale Sovrano Vittorio Amedeo al trono di Sicilia*. Torino: Pietro Giuseppe Zappata.

Bertagna U. 1974-1976. Vicende costruttive delle chiese del Corpus Domini e dello Spirito Santo in Torino. In: *Palladio*, XXIII-XV, 75-113.

Bo D. 2014. *Storia dalle origini a oggi di Piazza Savoia e le sue quattro isole nel terzo ingrandimento di Torino verso Occidente.* Torino: Centro Studi Piemontesi.

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.

Brayda C., Coli L., Sesia D. 1963. Specializzazione 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.

Canavesio W. (a cura di) 2005. *Il voluttuoso genio dell'occhio. Nuovi studi su Bernardo Antonio Vittone*. Torino: Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti.

Castiglioni C. 2010. *Michelangelo Garobe 1648-1713. Ingegnere militare nella capitale sabauda.* Torino: Celid.

Cavallari Murat A. 1957. Nella ricorrenza del bicentenario della morte. Gian Giacomo Plantery architetto barocco. In: *Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino,* n.s., 11(7), 313-346.

Cavallari Murat A. 1968. *Forma urbana e architettura nella Torino barocca. Dalle premesse classiche alle conclusioni neoclassiche*. Torino: UTET.

Città di Torino 2000. *Architetture barocche fotografate da Gian Carlo Dall'Armi* (a cura di L. Manzo). Torino: Archivio Storico della Città.

Comoli Mandracci V. 1983. *Torino*. Roma-Bari: Laterza.

Comoli Mandracci V. 2002. L'urbanistica per la città capitale e il territorio nella «politica del Regno». In: *Storia di Torino. IV. La città fra crisi e ripresa (1630-1730)* (a cura di G. Ricuperati), 939-967. Torino: Einaudi.

Cornaglia P. (a cura di). 2010. *Michelangelo Garove. 1648-1713, un architetto per Vittorio Amedeo II*. Roma: Campisano.

Cornaglia P. 2014. Torino nel Settecento e la sua immagine perfezionata. Riplasmazioni urbanistiche, vedute incise, matrimoni dinastici, tra corte e città. In: *La città nel Settecento. Saperi e forme di rappresentazione* (a cura di M. Formica, A. Merlotti, A.M. Rao), 219-245. Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.

Cornaglia P., Kieven E., Roggero C. (a cura di). 2012. *Benedetto Alfieri 1699-1767, architetto di Carlo Emanuele III*. Roma: Campisano.

Cornaglia P., Merlotti A., Roggero *C.* (a cura di). 2014. *Filippo Juvarra 1678-1736, architetto dei Savoia, architetto in Europa.* Roma, Campisano.

Gianasso E. 2016. La costruzione della «Città Nova» negli *Ordinati* del Comune. In: *Carlo e Amedeo di Castellamonte (1571-1683). Ingegneri e architetti per i duchi di Savoia* (a cura di A. Merlotti, C. Roggero). Roma: Campisano.

Gianasso E. 2022. La patente di ingegnere. In: *History of Engineering. Proceedings of the 5th International Conference - Atti del 9° Convegno nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R.

d'Ambrosio Alfano, E. Manzo), II. 627-640. Napoli: Cuzzolin Editore.
Merlin P.P. 1998. Amministrazione e politica tra Cinque e Seicento: Torino da Emanuele Filiberto a Carlo Emanuele I. In: *Storia di Torino. III. Dalla dominazione francese alla ricomposizione dello Stato (1536-1630)* (a cura di G. Recuperati), 111-183. Torino: Einaudi.
Merlotti A. 2014. Corte e città. L'immagine di Torino fra Sei e Ottocento. In: *La città nel Settecento. Saperi e forme di rappresentazione* (a cura di M. Formica, A. Merlotti, A.M. Rao), 247-267. Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.
Muscedra V. 2012.*Tre secoli, tre palazzi, un isolato: le trasformazioni dell'isolato di San Dionigio dal 1714 a oggi*. Tesi di laurea. Torino: Politecnico di Torino.
Olivero E. 1920. *Le opere di Bernardo Antonio Vittone architetto piemontese del secolo XVIII*. Torino: Tipografia del Collegio degli Artigianelli.
Olivero E. 1932. *Il palazzo Cavour a Torino.* Torino: Federazione Fascista del Commercio della Provincia di Torino.
Piccoli E. 2001. Le strutture voltate nell'architettura civile a Torino. In: *Sperimentare l'architettura* (a cura di G. Dardanello), 86-96. Torino: Cassa di Risparmio di Torino.
Ricuperati G. 2002a. I tempi: gli spazi della città e le loro rappresentazioni. In: *Storia di Torino. V. Dalla città razionale alla crisi dello Stato d'Antico Regime (1730-1798)* (a cura di G. Recuperati), IX-XXXVIII. Torino: Einaudi.
Ricuperati G. 2002b. Lo specchio degli ordinati. La città e lo Stato nel tempo di Carlo Emanuele III. In: *Storia di Torino. V. Dalla città razionale alla crisi dello Stato d'Antico Regime (1730-1798)* (a cura di G. Recuperati), 7-57. Torino: Einaudi.
Rocci F. 1999. Il municipio torinese dalla reggenza alla fine del ducato. Bollettino Storico Bibliografico Subalpino XCVII(1), 89-14; XCVII(2), 547-623.
Rocci F. 2002. Municipalità, ceti e funzioni. In: *Storia di Torino. V. Dalla città razionale alla crisi dello Stato d'Antico Regime (1730-1798)* (a cura di G. Recuperati), 59-153. Torino: Einaudi.
Roggero C. 2002. L'urbanistica nel secondo Settecento. In: *Storia di Torino. V. Dalla città razionale alla crisi dello Stato d'Antico Regime (1730-1798)* (a cura di G. Recuperati). 799-820. Torino: Einaudi.
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.
Rosso C. 2002. Uomini e poteri nella Torino barocca (1630-1675). In: *Storia di Torino. IV. La città fra crisi e ripresa (1630-1730)* (a cura di G. Recuperati), 7-195. Torino: Einaudi.
Signorelli B. 2010-2011. Il fondo dell'Insinuazione presso le Sezioni Riunite dell'Archivio di Stato di Torino: una fonte inesauribile di informazioni. Bollettino della Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti n.s. LXI-LXII. 267-274.
Signorelli B. 2015. Gian Giacomo Plantery, *ad vocem*. In: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 84. Roma: Istituto dell'Enciclopedia Italiana Giovanni Treccani.
Symcox G. 2002. La trasformazione dello Stato e il riflesso nella capitale. In: *Storia di Torino. IV. La città fra crisi e ripresa (1630-1730)* (a cura di G. Recuperati), 719-867. Torino: Einaudi.

Note

[1] Cristina Maria Comune è sorella di Francesca Maria, madre di Bernardo Antonio Vittone. I rapporti tra Plantery e Vittone sono indagati in (Olivero, 1920; Piccoli, 2001; Canavesio, 2005).

[2] Archivio Storico della Città di Torino, d'ora in poi ASCT, Ordinati, 1713, f. 118r. Il disegno di Plantery è anche nello stesso ASCT, Carte sciolte, n. 1179.

[3] Nel primo Settecento torinese, la Città è retta dal Consiglio dei decurioni che dal 1687, con un editto emanato da Vittorio Amedeo II, è suddiviso nella prima classe riservata ai nobili di nascita o per acquisizione e nella seconda composta da mercanti e professionisti.

[4] Il referendario è figura incaricata di occuparsi di questioni fiscali.

[5] Il chiavario è il custode degli archivi.

[6] ASCT, Ordinati, 1712.

[7] ASCT, Ordinati, 1712-1756. Gli incarichi sono elencati nei verbali delle riunioni di Pentecoste, del 29 settembre o del 31 dicembre, quando è riunito il Consiglio comunale generale.

[8] ASCT, Ordinati, 1726, verbale del Consiglio del giorno 1gennaio 1726, f. 2v.

[9] Archivio Storico della Città di Torino, d'ora in poi ASCT, Ordinati, 1713, f. 118r. Il disegno di Plantery è anche nello stesso ASCT, Carte sciolte, n. 1179.

[10] Nei volumi degli Ordinati, Plantery compare anche come Planterij.

[11] Si conservano due esemplari del progetto: Archivio di Stato di Torino, Paesi, Provincia di Torino, Città di Torino, m. 2 d'addizione, n. 1 e ASCT, Carte sciolte, n. 1550.

[12] ASCT, Ordinati, 1730, f. 165r.

[13] ASCT, Ordinati, 1731, f. 40r.

[14] ASCT, *Ordinati*, 1731, ff. 39v-40v.

Giuseppe Antuono

Modelli digitali delle architetture dell'acqua. Il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti

Digital models of water architectures. The Alviggi Mill-Ironworks in Sant'Agata de' Goti

Sommario
La gestione delle vie dell'acqua per la trasformazione dei prodotti ha visto nel tempo la realizzazione di numerosi manufatti dell'industria molitoria, caratterizzati da soluzioni ingegneristiche innovative e testimoni delle relazioni stabilite tra l'acqua e il contesto circostante. L'evidente portato culturale e lo stato di degrado di molte di queste strutture stimolano oggi la sperimentazione di nuovi approcci di modellazione parametrico-informativa utili al progetto di valorizzazione. In tale contesto, i manufatti e le opere di ingegneria della rete manifatturiera lungo il fiume Isclero, in provincia di Benevento, rappresentano il segno di un processo di trasformazione del disegno del paesaggio di Terra di Lavoro. Tra le molte strutture in completo stato di abbandono, il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti ha rappresentato un momento di grande partecipazione produttiva. In questo caso, la definizione del *digital twin*, da un progetto di rilievo digitale integrato, favorisce il racconto della memoria di uno scenario complesso, comprensibile oggi solo attraverso le fonti storiografiche.

Abstract
The management of waterways, for the transformation of products, has seen over time the construction of numerous milling industry artifacts, characterized by innovative engineering solutions and witnessing the relationships established between water and the surrounding context. The obvious cultural bearing and the state of degradation of many of these structures now stimulate the experimentation of new parametric-informative modeling approaches useful for the enhancement project. In this context, the artifacts and engineering works of the manufacturing network along the Isclero River in the province of Benevento represent the sign of a process of transformation of the "design" of the landscape of Terra di Lavoro. Among the many structures, in a complete state of abandonment, the Alviggi Mill-Ironworks in Sant'Agata de' Goti represented a moment of great productive participation, for which the definition of the digital twin, from an integrated digital survey project, fa-

vors the memory narrative of a complex scenario, understandable today only through historiographic sources.

Introduzione

Le acque affioranti e quelle sotterranee hanno avuto, sin dai tempi più antichi, notevole rilevanza sul piano produttivo, determinando lo sviluppo di sistemi e impianti connessi all'utilizzazione e allo sfruttamento del relativo potenziale energetico. Gli ingegnosi sistemi idrici per la captazione e la distribuzione delle acque, finalizzati a convogliare l'acqua di fiumi o sorgenti in canali artificiali, nonché i mulini e gli opifici per la trasformazione dei prodotti hanno condizionato la strutturazione del paesaggio senza stravolgerne la naturale giacitura.

Oggi le tracce di ciò che un tempo ha assicurato la ricchezza dei territori, quali pozzi, canali drenanti, sistemi di distribuzione, fontanili, lavatoi e opifici, sono spesso dimenticate e talvolta scomparse. Nel paesaggio dell'antica *Campania Felix* un esempio è manifesto lungo il fiume Isclero, che dalle sorgenti del Fizzo, in località Airola, prosegue fino alla gola di Moiano, riversandosi poi nel Volturno. Risalendo il fiume, nella vegetazione, si incontrano i frammenti, più o meno evidenti, di una passata organizzazione infrastrutturale, frutto delle molteplici relazioni del territorio di Terra di Lavoro. Sin dal XVII secolo sono documentate numerose attività produttive adibite tanto alla trasformazione dei prodotti agricoli quanto alla lavorazione tessile, alimentate da una fitta rete di canali, e alcune opere di ingegneria, quali ad esempio l'acquedotto Carolino (Serraglio, 2008) e del Carmignano (Fiengo, 1990). Tra le molte strutture in completo stato di abbandono, la rete manifatturiera e pre-industriale della fascia fluviale a nord di Sant'Agata de' Goti ha rappresentato un momento di grande partecipazione produttiva allo sviluppo del territorio, con il Mulino Ferriera Alviggi, in Figura 1, che caratterizza il contesto sociale tra il XVII e il XX secolo.

Fig. 1 - Complesso manufatturiero ex Mulino-Ferriera Alviggi: vista dall'alto.

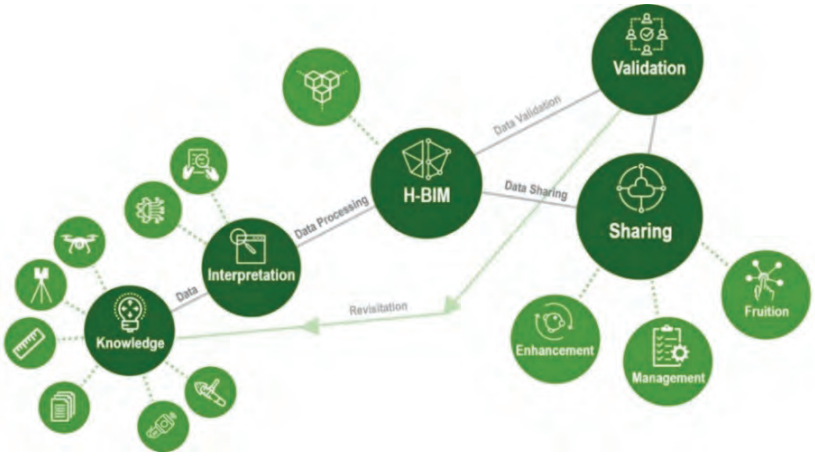


Fig. 2 - Schema metodologico delle fasi di sviluppo per la conoscenza, interpretazione, modellazione e condivisione del patrimonio costruito esistente (elaborazione dell'Autore).

Per rileggere il valore culturale materiale e immateriale del Mulino, lo sviluppo delle fasi metodologiche di conoscenza e modellazione ha condotto alla definizione del clone digitale del manufatto secondo un'organizzazione informativa multiscalare, multidisciplinare e multiutente, riportata in Figura 2. Questa operazione è stata basata su un progetto di rilevamento digitale integrato e attraverso lo studio sistematico e diacronico del materiale storiografico. Ciò ha favorito una descrizione del manufatto tanto sincronica, pensata per una conoscenza tecnica nell'auspicabile realizzabilità di azioni progettuali, quanto asincrona, in grado di raccontare ai fruitori del turismo virtuale la storia della memoria di uno scenario oggi visibile solo attraverso le fonti documentali.

La rete idrico-manifatturiera del fiume Isclero

L'esistenza di un importante *corpus* documentario, costituito dall'inventario dei Beni della corona tra il 1826 e il 1827 redatto dall'amministratore cav. Antonio Sancio dello Stato di Caserta (Loffredo, 2006, pp. 272-279), ha consentito a molti studiosi di sviluppare interessanti ricerche storico-documentali sui complessi edilizi a sostegno di iniziative produttive nel settore tessile e in quello della trasformazione di prodotti agricoli (Messana, 2008; Capano, 2010; Amore e Terracciano, 2020). Tali studi hanno rivelato una consistenza di attività manufatturiere con architetture inserite nel più vasto disegno del territorio di Terra di Lavoro. Minore attenzione è invece stata posta invece al sistema di mulini costruiti lungo il percorso fluviale dell'Isclero, caratterizzato da manufatti, e alle opere di ingegneria realizzate tra il XVII e il XIX secolo e oggi in condizioni di estremo degrado e incuria.

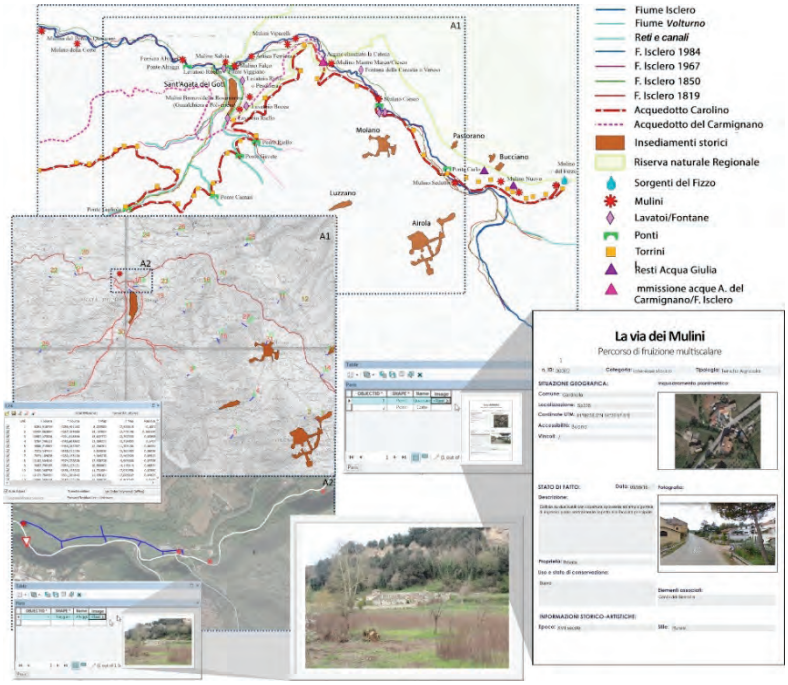


Fig. 3 - Quadro di sintesi del Sistema Informativo: layering del fiume Isclero nelle differenti fasi temporali, nella georeferenziazione delle cartografie storiche, con individuazione della rete molitoria e infrastrutturale dell'area a Nord di Sant'Agata de' Goti (elaborazione dell'Autore).

Gli elementi superstiti rappresentano il segno di un lungo processo di trasformazione che ha contribuito al "disegno" del paesaggio circostante. Difatti, il ricco patrimonio di architetture pre-industriali si compone di manufatti con forma, dimensione e localizzazione affini, tenuto conto delle singolarità morfologiche, idrologiche e storico-culturali del territorio. Per riconoscere e catalogare gli antichi opifici, attivi fino al secolo scorso, è indispensabile lo studio sistematico e diacronico della documentazione storiografica in ambiente GIS-*Geographic information system*, il cui schema metodologico è riportato in Figura 3.

Il confronto, la classificazione e l'analisi della documentazione storico-iconografica e cartografica realizzate in ambiente GIS hanno rappresentato una fase fondamentale dell'approccio metodologico adottato, tanto nell'individuazione dei manufatti che per l'esame delle componenti organizzative e funzionali delle parti architettoniche superstiti. I dati risultanti hanno motivato la localizzazione di alcune opere primarie, quali canali di adduzione, distribuzione e di scarico, filtri, chiuse e pozzi di regolazione, nonché accessorie, quali peschiere, lavatoi, pozzi, comodi

rurali e fontane, in ragione anche delle trasformazioni dell'alveo del fiume Isclero nel corso dei secoli. Inoltre, la possibilità di integrare una categorizzazione delle immagini dei luoghi, da diversi punti di vista ha favorito la conoscenza di una realtà complessa analizzata secondo chiavi di lettura sempre nuove. Ne deriva una pluridimensionalità dove ogni punto del territorio ha una diversa profondità di informazione, data dalla costruzione di *layer* tematici che incorporano non solo numeri e segni, ma anche dati *raster* per comprendere la percezione dei luoghi e approfondire la trasformazione dell'ambiente antropico.

La strutturazione del sistema informativo ha permesso di evidenziare una catena di piccole imprese della macchina produttiva locale, composta da circa 16 opifici in pietra locale e con una simile distribuzione tipologica degli spazi d'uso, oggi per lo più celati dalla fitta vegetazione, spesso abbandonati e ai più sconosciuti. Si tratta di un articolato sistema di fabbriche che nel tempo hanno plasmato il territorio lasciando numerose tracce volte a ordinare o correggere le irregolarità, si pensi a argini e canali, torrini d'ispezione e ponti, e che hanno nel contempo rappresentato elementi di collegamento e mediazione tra la dimensione cittadina e il paesaggio agrario circostante. Nel contempo, l'odierna e decisa frammentazione e marginalizzare dei sistemi pre-industriali motiva a superare la dicotomia tra immagine e materia, ricuperando l'immagine e l'identità dei luoghi attraverso una lettura multiscalare e multitemporale della materia.

L'interpretazione critica delle testimonianze superstiti, anche storiografiche, ha favorito la ricostruzione dell'immagine dei luoghi. Questo approccio di lettura e analisi multilivello, di grande interesse per i contesti insediativi di rilievo per lo sviluppo del territorio, è ancora più significativo per l'area alle soglie della frangia insediativa a nord di Sant'Agata de' Goti, dove è possibile riconoscere e interpretare i reali elementi che costituivano la struttura formale e antropica legata allo sfruttamento delle acque del fiume Isclero.

Il Mulino-Ferriera Alviggi attraverso l'indagine storiografica

Tra le molte strutture in completo stato di abbandono, il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti ha rappresentato un momento di grande partecipazione produttiva, soprattutto per l'interesse economico che ruotava intorno agli edifici adibiti alla lavorazione del ferro e del rame nel XIX secolo (Bianchini, 1834).

Come mostrato in Figura 4, il complesso manufatturiero sorge a nord-ovest del banco tufaceo su cui si erge Sant'Agata de' Goti e, nel suo stato attuale, è l'esito di un processo di aggregazioni e ampliamenti avvenuti nel corso dei secoli per assolvere alle funzioni di mulino per cereali, di ferriera e infine di centrale elettrica per la pubblica illuminazione ai primi decenni del Novecento. È difficile stabilire con precisione a quale data risalga l'originaria costruzione e se essa derivi dalla trasformazione di un precedente edificio. Alcuni documenti testimoniano la realizzazione di una prima ferriera in altra zona chiamata la «ferrera"[1], luogo citato anche nelle relazioni com-

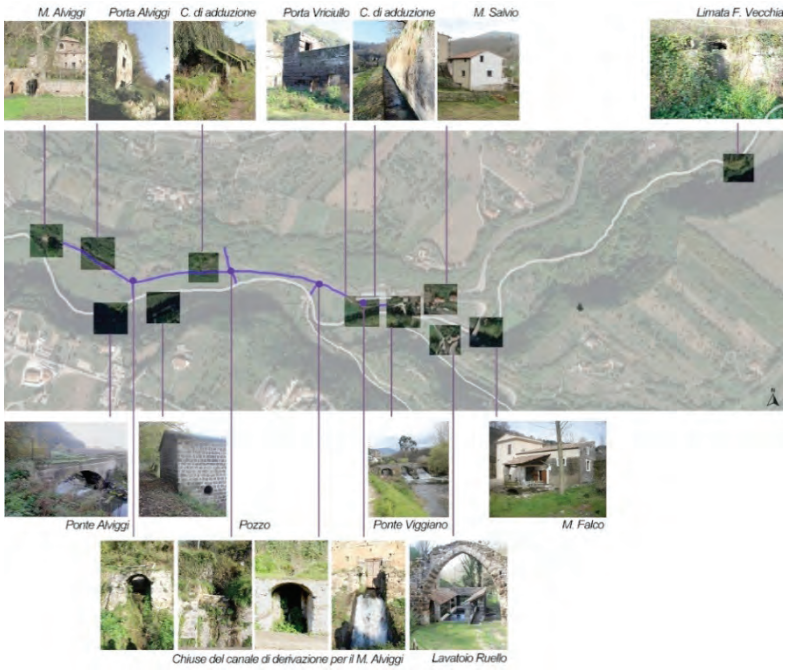


Fig. 4 - Quadro di sintesi delle infrastrutture di adduzione e distribuzione, a servizio dell'opificio Alviggi, lungo la fascia fluviale dell'Isclero, a nord di Sant'Agata de' Goti (elaborazione dell'Autore).

missionate dal Re Carlo III di Borbone per fare chiarezza sulle acque che egli intendeva "divertire" nell'Acquedotto Carolino (Fiengo, 1990, p. 108) e nell'apprezzo della Città di S. Agata, redatto dall'ingegner Lorenzo Ruggiano[2]. Il riferimento è a una zona denominata "Limata della Ferrera Vecchia e la sua fabbrica", documentata come inutilizzabile al 1689 perché «rimaneva altro che parte delle mura di essa»; con l'aggettivo "vecchia" è chiara l'intenzione nel distinguere il manufatto da un altro edificio, quello alla "Limata della Ferriera nuova"[3], poi di proprietà della famiglia Alviggi. Non vengono fornite informazioni sulla sua localizzazione.

Peraltro, analizzando gli elaborati di progetto si apprende che l'area di nuova edificazione era probabilmente libera da qualsiasi altra preesistenza. In particolare, i disegni acquerellati d'inquadramento dell'intera zona forniscono informazioni sulla localizzazione e l'orientamento della nuova Ferriera (Antuono, 2019). Il contesto territoriale è segnato dalle opere di canalizzazione delle acque che, da ponte Viggiano e a monte di un altro piccolo edificio a uso di «casa della conciaria e ferrera e ramera […]»[2], denominato poi Mulino Salvio, alimentavano gli impianti a ruota orizzontale del nuovo impianto Alviggi.

L'area a Nord di Sant'Agata de' Goti diventò quindi strategica nel campo della siderurgia, con strutture che richiedevano un attento progetto dei sistemi di raccolta e distribuzione delle acque. Difatti, nel progetto dell'Ingegnere Federico Alviggi la prima difficoltà da superare era rispondere alla richiesta di un dislivello nel salto d'acqua e un volume di raccolta tale da garantire la continuità delle lavorazioni anche in periodi di siccità. La soluzione sfruttava l'orografia del territorio: l'acqua deviata dal fiume Isclero, « […] e propriamente nella località ponte Viggiano, questo con tre luci forma diga sul diversivo delle acque nel canale artificiale […]»[4], veniva condotta in un «canale regolato, della lunghezza di m. 978,65; parte in rilevato, con opere in muratura di tufo; e parte in trincea; munito a breve distanza dallo incline, di sfioratore di superficie, e successivamente di scaricatori con paratoie a vita, e di canale di scarico terminale di fondo […]»[5] e quindi giungeva nel "bottazzo" principale, ovvero una vasca di carico in muratura che regolava la distribuzione dell'acqua ai palmenti[6]». Come si evince dai progetti (Antuono, 2019), il mulino inizialmente si componeva di due palmenti; nel corso della sua costruzione, venne poi dotato di un ingegnoso sistema di canalizzazioni per l'alimentazione di tre trombe di carica[7], inglobate nella struttura portante in muratura[8]. Ancora dopo, i progetti documentano l'ampliamento del complesso verso est, con l'aggiunta di ulteriori trombe per svolgere compiutamente le funzioni di ferriera, prima, e centrale idroelettrica, poi[9].

Purtroppo, le evidenti condizioni di degrado odierne non permettono una lettura immediata delle diverse parti del complesso, ma il confronto delle indicazioni contenute nei disegni e nel preventivo di progetto[10] con i risultati dell'esame diretto della consistenza materica del manufatto contribuiscono a desumere alcuni dati utili a restituire un modello parametrico-informativo, che è uno strumento non solo di mera rappresentazione della "materia" ma di *intellegendi vis*, trasmissione divulgativa e gestione del bene.

Rilievo e modellazione informativa dell'esistente

In ambiti specifici, come quello archeologico-industriale, sono richiesti dati estremamente accurati, acquisiti attraverso tecnologie che integrano le metodiche del rilievo tradizionale. Per questo motivo gli attuali flussi di lavoro vedono sempre più l'integrazione di tecniche *image-based* e *range-based* (Hassan e Fritsch, 2019; Fiorillo *et al*., 2021) per raggiungere livelli qualitativi funzione della complessità dell'oggetto da rilevare. Difatti, l'integrazione fra soluzioni e tecnologie multi-sensore per documentare il sito del Mulino-Ferriera Alviggi ha favorito la completezza del dato e la successiva fase di indagine analitica e multi-scalare delle diverse componenti del complesso, ricostruendone i caratteri architettonici, formali-proporzionali, tipologici-funzionali e costruttivi. In particolare, la definizione del programma di rilevamento, complementare alle preliminari analisi sulla documentazione iconografica, ha guidato le prime fasi di acquisizione e integrazione dei dati delle aree accessibili, in Figura 5.

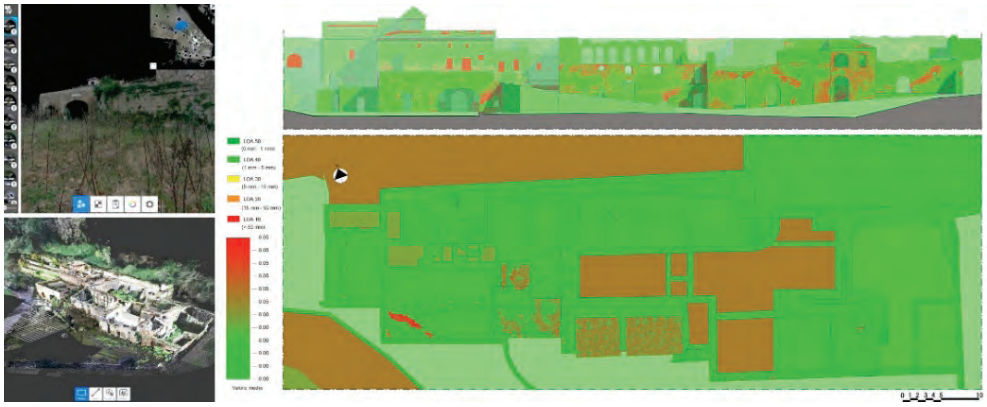


Fig. 5 - A sinistra, esiti dell'integrazione dei dati di rilevamento digitale; a destra, pianta e sezione del modello Cloud to BIM con la valutazione del livello di accuratezza nella modellazione degli elementi costruttivi (elaborazione dell'Autore).

Il rilevamento *range-based* è stato condotto con un Leica BLK360, acquisendo 95 scansioni allineate con l'ausilio di *target* e *typoint*. Nel contempo sono stati acquisiti diversi *dataset* fotografici, terresti e aerei, allo scopo di integrare le informazioni delle aree inaccessibili del complesso (Barba *et al.*, 2020) e per inquadrare l'andamento orografico dell'intero sito. Nel passaggio di scala, da quella urbana a quella architettonica, il rilevamento fotografico aereo è stato condotto utilizzando una camera mirrorless Canon Eos M montata su un drone Xiaomi Mi Drone a 4K, in grado di effettuare riprese sia nadirali, finalizzate ad acquisire le coperture, sia con fotocamera ad asse inclinato, per rilevare i fronti dei manufatti. La presenza di punti di riferimento noti, i *target*, all'interno della scena, ha consentito l'allineamento e la registrazione di tutti i *dataset* fotografici, garantendo la sufficiente sovrapposizione con i dati laser scanner e integrando talune lacune informative dovute alla fitta vegetazione.

I dati così integrati hanno permesso di ricostruire, in un approccio *Cloud to Bim*, il modello dello stato dei luoghi, con un livello di dettaglio geometrico degli elementi relativo alla scala di restituzione 1:50/1:20. L'elevata accuratezza della restituzione deriva da una buona risoluzione del dato digitale di rilievo. Come da Figura 5, tenendo conto di una risoluzione della nuvola di punti, pari a 5mm a 10 m, il livello medio di accuratezza della modellazione, il LOA-*Level of Accuracy* [1] è 0,03 mm, con valori peggiori per quelle aree dalla consistente vegetazione presente in fase di acquisizione dei dati digitali.

A seguire, è stato ricostruito il modello 4D-HBIM come da Figura 6, descrittivo dei valori spaziali e del percorso evolutivo dell'architettura in esame, integrando i dati raccolti sul campo, nonché i dati e le risultanze dell'analisi delle fonti iconografiche e documentali. Nel dominio digitale, il complesso sistema architettonico, composto da

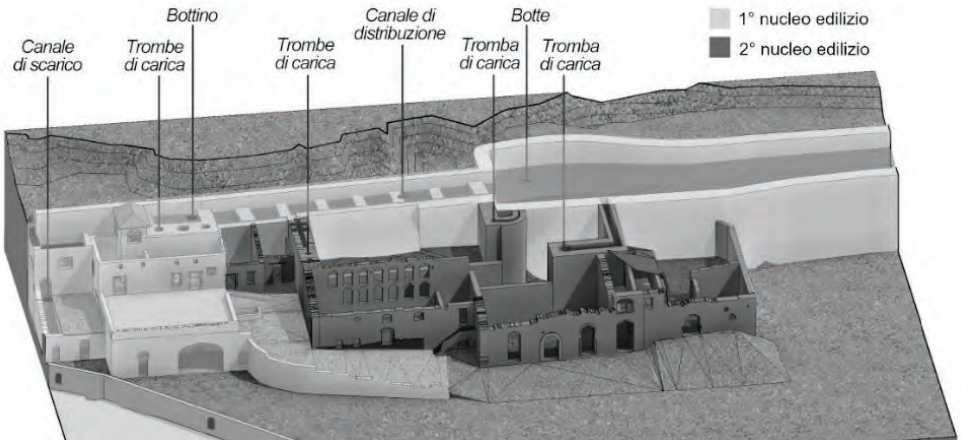


Fig. 6 - Modello 4D-HBIM del complesso e descrizione semantica del sistema idrico-architettonico (elaborazione dell'Autore).

due principali nuclei edilizi a sviluppo prevalentemente longitudinale, si articola in spazi e locali aperti, chiusi o semi-chiusi, che si adattano alla morfologia del territorio.

La differente conformazione plano-volumetrica degli ambienti, nonché la differente quota di accesso ai piani, manifesta le differenti destinazioni d'uso e la funzione preesistente del manufatto a valle rispetto a quella dell'edificio a monte. Attraverso la modellazione è possibile leggere e analizzare la composizione del primo fabbricato, realizzato prima dell'ampliamento a uso probabilmente di mulino per cereali, con al piano terra un atrio voltato a crociera tra due locali per allevamento del bestiame, un ampio vano per l'alloggiamento dei due palmenti e un piccolo vano contiguo che ospitava il pulitore per cereali. Al piano superiore, con accesso esterno o da una piccola scala interna a doppia rampa, erano collocate le stanze destinate ad abitazione e due locali per la raccolta dei prodotti agricoli [11]. L'ultimo livello delle coperture, infine, era in parte occupato da un terrazzo accessibile per la manutenzione dei sistemi di distribuzione e smaltimento dell'acqua in fiume. Nell'approccio parametrico-informativo è possibile annotare i molti elementi caratteristici del corretto funzionamento della struttura molitoria: dai canali di adduzione idrica per derivare le acque del fiume Isclero da Ponte di Viggiano (De Martino e Suppa, 2017), realizzati in buona parte fuori terra, a quelli di distribuzione interna al Mulino, nel tramite di una botte aperta, a forma di imbuto, e un bottino, quadrangolare ad angoli smussati, provvisti di chiuse per regolare l'approvvigionamento idrico alle trombe di carica, alte circa 8 m. L'acqua poi si reimmetteva nel fiume attraverso un canale di scarico, posto a valle del canale di distribuzione interna principale, per la fuoriuscita dell'acqua in eccesso dal sistema idrico.

La parziale maturità raggiunta dall'approccio informativo HBIM ha richiesto approfondimenti circa la gestione degli elementi parziali superstiti e delle superfici

irregolari e voltate, nonché delle consistenze di degrado, come attributi e annotazioni di non semplice traduzione informativa (D'Agostino *et al*., 2023; Al-Sakkaf e Ahmed, 2019; Croce *et al*., 2020).

La metodologia proposta ha valorizzato il dato di rilievo attraverso la misura del livello di affidabilità geometrico-informativo associabile al singolo componente del modello, secondo una discretizzazione per LOIN-*Level of Information Need* con famiglie contenenti componenti geometrico-parametrici nidificati, evitando nella gestione del modello un numero eccessivo di informazioni rispetto a quanto effettivamente necessario alla ricostruzione digitale del fabbricato. Ciò ha comportato una riflessione preliminare sulla pre-strutturazione delle componenti geometriche e informative, basate tanto sui dati delle acquisizioni metriche quanto su quelli dedotti dalla documentazione archivistica, tradotta con parametri alfa-numerici definiti *ad hoc* o richiamata attraverso *link* ipertestuali che vestono il modello di ulteriori unità informative delle trasformazioni avvenute nel tempo (Antuono *et al*., 2021). Difatti, equilibrando le esigenze di dettaglio delle informazioni geometriche e documentali, il modello digitale è strato strutturato per asservire a una rappresentazione che racconta, per fasi, l'evoluzione del complesso.

Del resto, le possibilità offerte dall'implementazione semantica e l'implementazione ontologica in rapporto alle diverse finalità di utilizzo del modello parametrico costituiscono un ambiente collaborativo destinato a una pluralità di attori, dunque a molteplici usi e scopi, tanto divulgativi che di supporto all'intervento sul patrimonio esistente (Raco *et al*., 2022).

Conclusioni

Il contributo ha sottolineato il ruolo fondamentale delle fonti d'archivio per il censimento e lo studio degli opifici storici e delle relative reti idrico-antropiche. Nel contempo, la ricerca ha permesso di rispondere ad alcune domande aperte sul ruolo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione nel contribuire all'implementazione delle conoscenze e per orientare futuri e consapevoli progetti di conservazione e valorizzazione dei manufatti lungo la fascia a nord di Sant'Agata de' Goti. Difatti, la sintetica discretizzazione informativo-digitale ha favorito la lettura dei sistemi di adduzione, raccolta e distribuzione delle acque, con particolare attenzione a uno dei manufatti più importati della fascia fluviale, ovvero il Mulino-Ferriera Alviggi. L'uso integrato di differenti metodiche di rilevamento digitale ha dettagliato un modello parametrico e multiscalare in grado di organizzare informazioni di tipo eterogeneo, mettendo in relazione il complesso architettonico e il paesaggio fluviale in cui si inserisce.

Ecco, dunque, che una realtà poco conosciuta, quella delle antiche opere alimentate ad acqua, può essere individuata e trasformata in una tematica di ricerca e studio interdisciplinare, volta alla gestione tecnica e trasmissione divulgativa di episodi da

ascrivere alla più ampia categoria della cosiddetta archeologia industriale, per conservarne e tramandarne la memoria storica.

Nello sviluppo futuro, la ricerca apre alla definizione di una piattaforma interoperabile e multiscalare con un'organizzazione dei dati in unità informative che consenta di rileggere le correlazioni tra i modelli digitali dei manufatti e il paesaggio naturale e antropico circostante. In tal senso, questi contesti rappresentano anche il pretesto per nuove sperimentazioni che possono contribuire al recupero e alla valorizzazione di un passato che è, allo stesso tempo, frammento evocativo e testimonianza storica di momenti edificatori oggi non più visibili.

Bibliografia

Al-Sakkaf A., Ahmed R. 2019. Applicability of BIM in Heritage Buildings: A Critical Review. International Journal of Digital Innovation in the Built Environment (IJDIBE), 8 (2), 20-37.

Amore R., Terracciano M. 2020. I "mulini reali" di Caserta. Nuove acquisizioni e strategie di conservazione e riuso. In: *History of Engineering. Proceedings of the 4th International Conference - Atti dell'8° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano), I, 15-28. Napoli: Cuzzolin Editore.

Antuono 2019. Reti e impianti idrici in Sant'Agata dei Goti. Verso un sistema informativo integrato. Disegno, 5, 157-168.

Antuono G., D'Agostino P., Maglio A. 2021. Enrichment and sharing for historical architectures. A multidisciplinary HBIM approach. Eikonocity, 6(2), 40-65.

Barba S., Parrinello S., Limongiello M., Dell'Amico A. 2020. *D-SITE, Drones - Systems of Information on cultural heritage. For a spatial and social investigation*. Pavia: University Press.

Bianchini L. 1834. Sullo stato delle ferriere del Regno di Napoli. In: *Il Progresso delle Scienze, delle Lettere e delle Arti* (a cura di G. Ricciardi). Napoli: Tipografia Flautina.

Capano F. 2010. Architetture del lavoro in area casertana tra Sette e Ottocento: "architetti ingegneri" alla scuola di cantiere di Luigi Vanvitelli. In: *Storia dell'Ingegneria, Atti del 3° Convegno Nazionale*. I, 857-868. Napoli: Cuzzolin Editore.

Croce V., Caroti G., De Luca L., Piemonte A., Véron, P. 2020. Semantic Annotation on Heritage models: 2D/3D Approaches and Future Research Challenges. ISPRS Archives, XLIII-B2-2020, 829-836.

D'Agostino P., Antuono G., Marone P., Iorio G. 2023. EBIM for the information management of historical built surfaces. palazzo Cellamare in Naples. In: *Intervention on historic building surfaces. What about innovation?* (a cura di Driussi G.). Marghera: Edizioni Arcadia Ricerche, 73-84.

De Martino G., Suppa M. 2017. Didattica, ricerca, tutela. Il caso del Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti (BN). In: *Le nuove frontiere del restauro. Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni* (a cura di G. Driussi). 425-433. Marghera: Ed. Arcadia Ricerche.

Fiengo G. 1990. *L'acquedotto di Carmignano e lo sviluppo di Napoli in età barocca*. Firenze: Olschki.

Fiorillo F., Limongiello M., Bolognesi C. 2021. Image-Based and Range-Based Dataset Integration for an Efficient 3D Representation. In: *Connettere - Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi, distanze, tecnologie* (a cura di A. Arena, M. Arena, D. Mediati, P. Raffa). 2319-2336. Milano: Franco Angeli.

Hassan A.T., Fritsch D. 2019. Integration of Laser Scanning and Photogrammetry in 3D/4D Cultural Heritage Preservation - A Review. Int. J. Appl. Sci. Eng., 9(4), 76-91.
Loffredo E. 2006. Platee e planimetrie dell'archivio storico della Reggia di Caserta. Rivista di Terra di Lavoro, Bollettino on line dell'Archivio di Stato di Caserta, I, 272-79.
Messana V. 2008. Architettura e tecnologia della produzione: i mulini Reali. In: *Carlo Vanvitelli* (a cura di B. Gravagnuolo), 249-266. Napoli: Ed. Guida.
Raco F., Balzani M., Planu F., Tasselli N. 2022. Modellazione semantica HBIM per la rappresentazione digitale dell'intervento sul patrimonio esistente. In: *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare* (a cura di E. Bistagnino e C. Battini). 2789-2804. Milano: Franco Angeli.
Serraglio R. 2008. L'acquedotto Carolino: il sistema produttivo dei mulini. In: *Storia dell'Ingegneria, Atti del Secondo Convegno Nazionale* (a cura di A. Buccaro, G. Fabricatore, L.M. Papa). II, 1073-1080. Napoli: Cuzzolin Editore.
U.S. Institute of Building Documentation, 2016. USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide. Technical report.

ADSAG: Archivio Diocesano di Sant'Agata dei Goti
AfA: Archivio famiglia Alviggi
ASB: Archivio di Stato di Benevento
ASCSAG: Archivio Storico del Comune di Sant'Agata dei Goti
ASN: Archivio di Stato di Napoli

Sitografia

[1] https://cdn.ymaws.com/www.nysapls.org/resource/resmgr/2019_conference/handouts/hale-g_bim_loa_guide_c120_v2.pdf

Note

[1] ADSAG, fondo Jura, Diversa Mensae Episcopalis, tomo V, parte III, 1350-1386, ff. 10-13.
[2] ASN, Regia Camera della Sommaria, Materia Feudale, Processetti per le intestazioni dei Feudi, vol. 63; ASB, fondo Atti Demaniali, Copia estratta dalla relazione Apprezzo della Città di S. Agata, n. 201, p.152/v.
[3] ASCSAG, *Libro in cui si registrano tutti gli assensi delli Affitti dell'Eccellentissima Ducal Camera Padronale, principiato in quest'anno 1756. Agente il Razionale D. Menna Albanese et erario il Magnifico Crescenzo Cimino*, 1756.
[4] AfA, Ing. Carlo Alviggi, Relazione tecnica del molino agricolo a cereali, a forza motrice idraulica, Napoli, 1934, p. 6.
[5] AfA, *op. cit.*, 1934, p. 5.
[6] Per "palmento" si intende lo strumento agricolo che permette di macinare il grano, costituito da due ruote in pietra molto dura.
[7] Per "tromba di carica" si intende il condotto cilindrico forzato verticale necessario ad aumentare la velocità del getto dell'acqua in caduta sulla ruota orizzontale.
[8] AfA, *op. cit.*, 1934, p. 8.
[9] AfA, *op. cit.*, 1934, p. 3.
[10] ASCSAG, *Preventivo per la spesa d'impianto Pubblica Illuminazione*, 1901, Cartella 10, p. 1.
[11] AfA, *op. cit.*, 1934, p. 3.

Damiano Santillo

I Centri di Preparazione Olimpica di Roma e Formia: da impianti per lo sport di alto livello a beni architettonici di interesse culturale

The Olympic Preparation Centers in Rome and Formia: from high-level sports facilities to architectural heritage

Sommario
Il Complesso Sportivo dell'Acqua Acetosa, realizzato a ridosso dei Giochi della XVII Olimpiade di Roma 1960, e la Scuola Nazionale di Atletica Leggera di Formia, inaugurata nel 1954, rappresentano a tutt'oggi dei veri e propri benchmark dell'impiantistica sportiva italiana. L'articolo ripercorre i momenti progettuali più salienti e le successive fasi di ampliamento e adeguamento funzionale. Per l'originalità delle soluzioni progettuali, che coniugano efficacemente forma e struttura, entrambi i complessi sono di fatto elementi identitari della cultura architettonica italiana della seconda metà del Novecento e, al contempo, rappresentano casi emblematici nel quadro delle riflessioni sulle modalità di tutela di tale patrimonio e sull'efficacia dell'ordinamento vigente.

Abstract
The Olympic Preparation Center in Rome, built for the Games of the XVII Olympiad in Rome 1960, and Olympic Preparation Center in Formia, inaugurated in 1954 as National School of Athletics, still represent real benchmarks of Italian sports facilities. The paper retraces some of the most salient design phases, as well as the key steps of the subsequent phases of expansion and functional adaptation. Both complexes are identifying elements of the Italian architectural culture of the second half of the twentieth century, due to the design peculiarity, which effectively combine form and structure, and, at the same time, represent emblematic cases in the context of reflections on protection of this heritage and on the effectiveness of the current legislation.

Il Centro di Preparazione Olimpica di Roma
Il 15 giugno 1955 Roma viene scelta dal Comitato Olimpico Internazionale come sede dei Giochi della XVII Olimpiade sebbene la città, per la penuria di impianti dove svolgere le gare, non sia in grado di ospitare un evento del genere. Le Olimpiadi, dunque, costituiscono un'opportunità unica per pianificare una diffusione organi-

ca dell'impiantistica sportiva in tutti i quartieri romani, al fine di ampliare la pratica sportiva (Folchi, 2018). Comune di Roma, Stato e CONI predispongono un piano che, al contrario, privilegia la concentrazione delle strutture in due grandi poli alle estremità della città: nel quadrante nord, a cavallo del Tevere e lungo la via Flaminia, e a sud, nel comprensorio dell'EUR. In particolare, nel piano riscuote apprezzamento l'idea di riunire vari impianti in un unico centro in località Acqua Acetosa[1], dove il CONI, su volere dell'allora presidente Giulio Onesti, aveva acquisito un'area estesa 21 ha e affidato all'architetto Annibale Vitellozzi sia la redazione di un piano urbanistico che la progettazione di un primo stralcio di opere. A valle della elaborazione di un documento di assetto complessivo dell'area, vengono intrapresi i lavori di bonifica, con la riorganizzazione del regime di scolo delle acque e il riempimento con materiale detritico di ampie zone depresse, cui segue la realizzazione di una rete viaria, dei campi di rugby e di calcio e, da ultimo, la messa a dimora di alberi ad alto fusto. Obiettivo del piano di Vitellozzi è quello di organizzare un nuovo complesso che serva agli allenamenti collegiali degli atleti di varie discipline (Drudi, 2018). Il tema progettuale, innovativo per l'Italia dell'epoca e non assimilabile a una predefinita tipologia, affronta sia gli aspetti strutturali connessi alle esigenze delle varie discipline che le problematiche dell'abitare legate agli alloggi degli atleti, unitamente a quelle relative alla fase formativa, che necessita di aule per la didattica, e a quella scientifica, che richiede laboratori di medicina dello sport, senza trascurare la necessità di garantire sia gli spazi di relazione che le condizioni per lo sviluppo di capacità introspettive e di concentrazione psicofisica da parte degli atleti (Pedullà e Pannunzio, 2008). Alla fine di giugno del 1960, poco prima dell'inaugurazione dei Giochi, la zona sportiva era completa di tutte le attrezzature previste; in Figura 1 è riportata una vista aerea del complesso.

Fig. 1 - Vista aerea dell'Acqua Acetosa al termine dei lavori di Roma 1960 (Coppo, 2023).

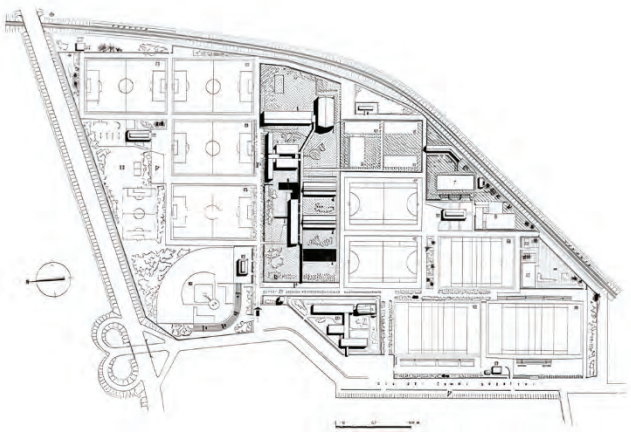


Fig. 2 - Complesso dell'Acqua Acetosa: planimetria generale del progetto dell'architetto Vitellozzi elaborato per le Olimpiadi di Roma 1960 (Pedullà e Pannunzio 2008).

Fig. 3 - Piscina dei Gerani (Vaccaro, 1962)*, a sinistra, e palestra di scherma al termine dei lavori di adeguamento* (Dore, 2008)*, a destra.*

La configurazione finale del complesso, in Figura 2, con uno schema distributivo caratterizzato dall'inserimento di bassi edifici all'interno di un grande parco e un porticato come nastro di collegamento, prevede tre campi di rugby, tre campi di hockey su prato, quattro campi di calcio più una zona di allenamento, un campo di baseball e la Piscina dei Gerani, in Figura 3, con vasca da 20 m · 50 m immersa nel verde. Nella zona centrale si collocano una costruzione ausiliaria, adibita a mensa e lavanderia, e, dalla parte opposta del porticato, gli alloggi per gli atleti in due corpi di fabbrica tripli, ognuno da 50 posti, con la previsione di un terzo modulo.

Più a est, si sviluppa un articolato padiglione, in Figura 4, con un patio centrale dal quale si accede a quattro ambienti, divenuto poi la sede della Scuola Centrale dello Sport, fondata nel 1966 e nel 1978 ridenominata *Scuola dello Sport*, per la formazione dei quadri tecnici e dirigenziali delle Federazioni Sportive e la promo-

Fig. 4 - Scuola dello Sport: pianta del gruppo palestre e uffici nel progetto iniziale dell'architetto Vitellozzi (Vaccaro, 1962)*, a sinistra, immagine dei primi corsi della Scuola* (Istituto Luce, 1967)*, al centro, e installazione dell'artista Toni Benetton [1], a destra.*

zione della ricerca scientifica applicata. Nel prato prospiciente l'ingresso della Scuola è installata la scultura in ferro "Airone", sempre in Figura 4, realizzata nel 1958 dall'artista Toni Benetton, divenuta il simbolo della scuola.

Particolarmente interessanti risultano i caratteri costruttivi del gruppo palestre, ubicato in prossimità della linea ferroviaria Roma-Viterbo. Adibite inizialmente all'atletica pesante e al pugilato, le cinque strutture minori attualmente contengono i laboratori dell'antidoping e la Biblioteca Sportiva Nazionale, che ospita la più ampia raccolta italiana nel settore dello sport, composta da circa 40.000 volumi tra cui un fondo antico con documenti che vanno dall'età rinascimentale al XIX secolo. La palestra maggiore, di dimensioni 20 m · 40 m, con struttura in calcestruzzo armato e murature di tamponamento in mattoni semipieni, ha una copertura eseguita con una sequenza di travi in calcestruzzo armato a doppia coda di rondine, in Figura 3, che ripercorrono geometrie già utilizzate da Vitellozzi e Nervi, nel vicino Palazzetto dello sport di viale Tiziano, dove le stesse soluzioni costruttive erano state utilizzate per risolvere gli elementi verticali con pilastrate radiali a Y. La palestra, con un restyling terminato nel 2008, è stata destinata in via esclusiva alla scherma (Dore, 2008).

In prossimità della strada che lambisce il centro del complesso, viene edificato l'Istituto di Medicina dello Sport, in Figura 5, progettato da Vitellozzi in collaborazione con l'architetto Cesare Ligini, già progettista di un'altra opera simbolo di Roma 1960, il Velodromo Olimpico, demolito nel 2008. La struttura, in calcestruzzo armato, lasciata esternamente grezza e con tamponature in mattoni, è articolata su tre corpi di fabbrica a un piano collegati da una galleria, a essi perpendicolare e aperta sul giardino. Annessa all'Istituto ed evidenziata da una variazione in altezza rispetto ai padiglioni vi è un'Aula Magna, con ingresso indipendente, in Figura 6.

Sulla ossatura del piano originario, tra il 1961 e il 1969 il complesso viene integrato da un secondo gruppo di strutture, in cui Vitellozzi «pur rimanendo assolutamente fedele a sé stesso, ha arricchito il suo linguaggio, mira a espressioni più dinamiche e ha accentuato la tensione plastico-strutturale... L'architetto frantuma

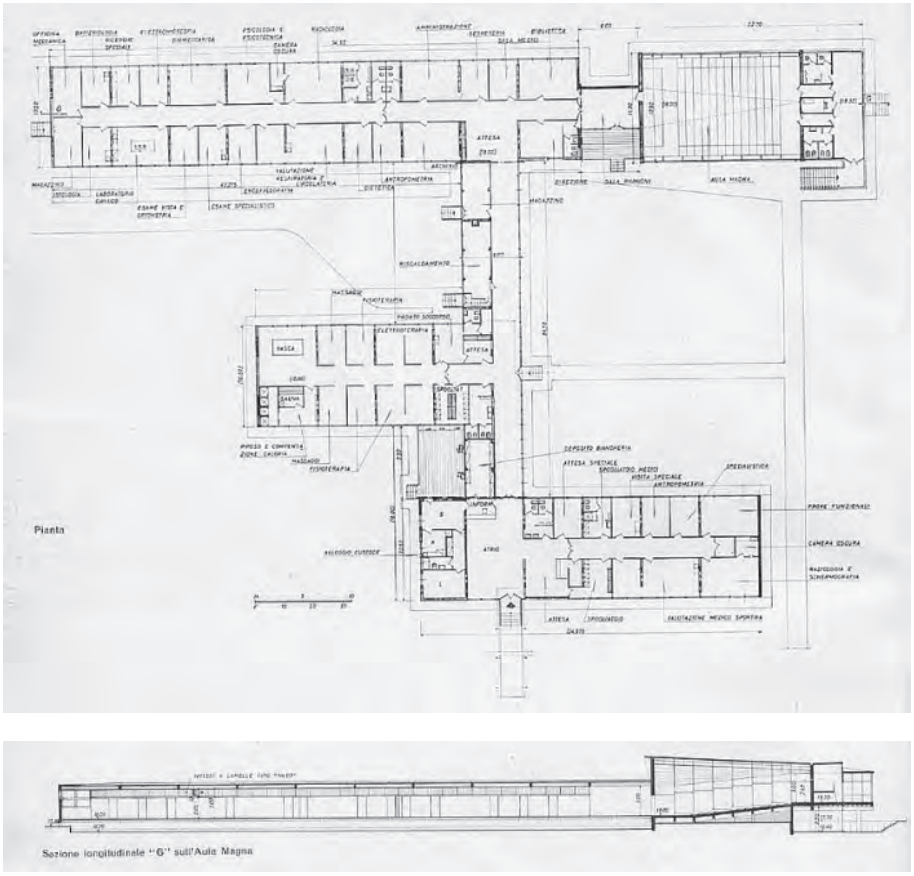


Fig. 5 - Pianta e sezione longitudinale dell'Istituto di Medicina dello Sport nel progetto degli architetti Vitellozzi e Ligini (Vaccaro, 1962).

Fig. 6 - Istituto di Medicina dello Sport: Aula Magna (Lupo, 2009).

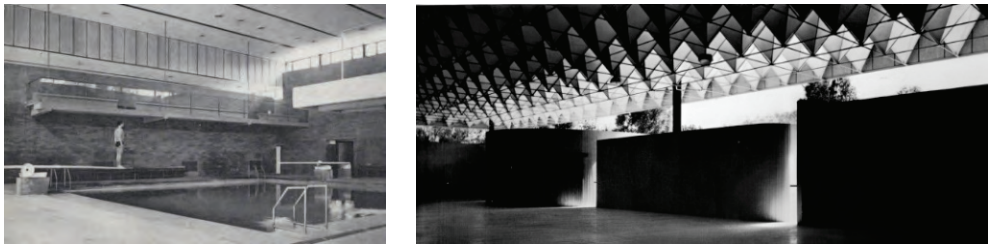


Fig. 7 - Vasca per i tuffi, a sinistra, e palestra del Centro Pulcini, a destra (Vaccaro, 1969).

gli spigoli, alleggerisce le strutture orizzontali usando il metallo, frange l'unità dei volumi» (Vaccaro, 1969). Le opere della seconda fase comprendono un gruppo di piscine coperte denominato Centro addestramento nuoto e tuffi, in Figura 7, composto da una vasca corta per il nuoto, di dimensioni 12,5 m · 25 m, e una per i tuffi, in cui la tribuna sospesa dialoga mirabilmente con il trampolino, un complesso di nuovi padiglioni funzionali alla ospitalità di atleti di interesse nazionale, denominato Centro di preparazione olimpica, articolato in tre corpi di fabbrica interconnessi da un portico, e un Centro di addestramento all'equitazione, con doppio maneggio, coperto e scoperto; nel Centro è presente anche uno spazio per i bambini dai 6 agli 8 anni, denominato Centro Pulcini e caratterizzato da una copertura reticolare metallica a elementi prefabbricati, sempre in Figura 7, in cui una configurazione ritmica di piramidi rovesce, costituita dall'unione di triangoli tamponati con piani di polistirolo, si giustappone alla ragnatela delle nervature orizzontali lasciate in vista.

Nei decenni successivi, l'ufficio tecnico del Coni realizza nuove strutture e adegua quelle esistenti. Il Centro Pulcini viene trasformato in palestra per la lotta e, attualmente, è destinato al Taekwondo. Il Centro Nuoto e Tuffi, gravemente danneggiato da un incendio nel 1992, viene demolito e sostituito da un nuovo impianto inaugurato nel 2011. La Piscina dei Gerani viene "inglobata" da una struttura coperta. L'Istituto di Medicina dello Sport viene ampliato, per circa 600 m^2, al fine di ospitare un reparto di diagnostica per immagini e un centro fisioterapico. Nella zona contigua alla linea ferroviaria viene realizzata una nuova palestra dedicata alla pallavolo, per una superficie complessiva di intervento pari a 1600 m^2. In prossimità della Biblioteca, un nuovo edificio ospita una sezione del Liceo Scientifico a indirizzo sportivo del Convitto Vittorio Emanuele II. Infine, negli spazi a ridosso di Via del Foro Italico, destinati a maneggio da Vitellozzi, è in fase di ultimazione un nuovo edificio in calcestruzzo armato di 2400 m^2, destinato al basket, alla pallavolo e al calcio a 5.

Il Centro di Preparazione Olimpica di Formia

È il 17 maggio del 1953. A Roma, con la partita amichevole di calcio tra l'Italia e l'Ungheria, si inaugura lo Stadio dei Centomila, ridenominato Stadio Olimpico dopo

l'assegnazione dei Giochi Olimpici del 1960. I magiari, oltre a vincere nettamente l'incontro, surclassano per condizione fisica gli avversari. A tarda sera, l'allora segretario generale del CONI Bruno Zauli ha una lunga conversazione con il progettista del nuovo stadio romano, l'architetto Vitellozzi, al quale espone l'idea di costruire un complesso, in una località baricentrica della penisola (Vitellozzi *et al.*, 1991), dove gli atleti italiani possano affinare la preparazione fisica sotto la guida di grandi maestri, un luogo che consenta ai giovani più promettenti di formarsi unendo la pratica sportiva specialistica al percorso scolastico, in strutture funzionali immerse in ampi spazi naturali: «Abbondonare l'empirismo e l'autodidattismo per tutte le discipline sportive, che hanno una tecnica ben definita e difficile da apprendere. Una scuola che, come tutte le scuole, formi non soltanto gli allievi, ma anche i maestri». Per realizzare l'idea viene scelto un terreno esteso circa 77 ha, appartenuto ai Savoia, messo a disposizione dal comune di Formia. «Buone le condizioni climatiche […] riparato dai venti di Nord e Nord-Est. L'unico inconveniente era la vicinanza del mare da dove lo scirocco e il libeccio soffiavano, talvolta, in maniera alquanto fastidiosa. Questo ultimo elemento e l'ambiente "natura" condizionarono l'impostazione di tutto il complesso. Infatti, ubicare il campo da gioco con una gradonata "a *crescent*" e i vari corpi di fabbrica separati da zone verdi e alberi di alto fusto fu il punto di partenza per comporre tutto l'insieme della Scuola. Inoltre, venne piantata verso il mare una spessa cortina frangivento di varie essenze arboree sempre verdi. Di conseguenza, il rapporto tra l'atleta e la natura che lo circonda, coadiuvato da un sereno contesto di forme e di colore, trovò felice espressione in un ambiente sportivo» (Vitellozzi *et al.*, 1991).

Il progetto del complesso denominato Centro di Preparazione di Atletica Leggera, che Vitellozzi sviluppa in collaborazione con Sergio Musmeci, viene approvato e finanziato nel settembre del 1953 dal CONI. La prima pietra viene posta l'8 febbraio 1954; la cerimonia di inaugurazione, con la denominazione finale di Scuola Nazionale di Atletica Leggera, avviene il 23 novembre 1955 ed è nobilitata da una mini-riunione agonistica nel corso della quale il campione olimpico di Londra 1948, Adolfo Consolini, lancia il disco a 55,77 m (AA.VV., 1995). Dalla vista aerea al termine dei lavori, in Figura 8, si denota «la disinvolta scioltezza compositiva con cui si articolano gli andamenti planimetrici ed i volumi» (Vaccaro, 1956). Dall'ingresso lungo l'Appia si diparte la viabilità interna su cui si innestano in logica sequenza i vari edifici: l'alloggio del custode, le foresterie, gli spazi per il tempo libero, fino a giungere allo slargo su cui si attesta l'edificio centrale che ospita il ristorante, gli spogliatoi, gli uffici, i laboratori, la biblioteca, le aule didattiche e il tunnel di collegamento con la palestra coperta.

Per dialogare con l'ambiente circostante, Vitellozzi realizza per la prima volta coperture non piane (Brandizzi, 2008), rivestite da un mosaico vetroso colorato: a strisce gialle e verdi per la copertura dei fabbricati foresteria e scuola, di colore grigio verde e con spessori in rosso vermiglio per il manto di copertura della pale-

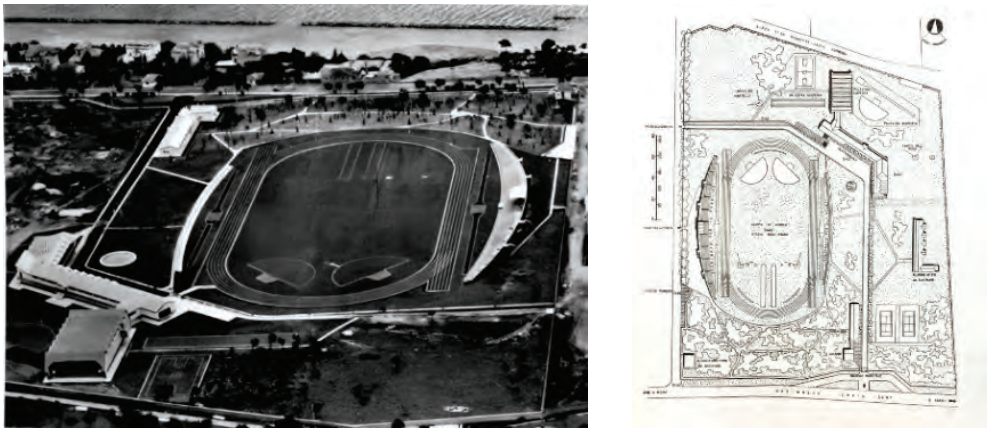


Fig. 8 - Il complesso: vista aerea, a sinistra, e planimetria, a destra (Vaccaro, 1956).

stra. L'impiantistica all'esterno è incentrata sullo Stadio degli Aranci, a orientamento nord-sud, che contiene una pista a sei corsie e doppie pedane per i salti e i lanci. La gradinata per il pubblico, in Figura 9, capace di ospitare 2000 persone, si distacca con leggerezza dal suolo.

Dalla configurazione d'insieme risalta la palestra coperta, in Figura 10, caratterizzata da una originale concezione spaziale e dal particolare sistema di copertura, a "volte corrugate", che rende possibile, sui lati lunghi, uno spazio libero da pilastri intermedi e la trasparenza con gli ambienti verdi esterni. La struttura, in calcestruzzo armato, denota una copertura con luce di 19,80 m, con una soletta portante per forma, di 10 cm di spessore, composta da una serie di falde piane inclinate e due telai reticolari con luce di 35 m che fanno da appoggio alla copertura, riportando l'intero carico su quattro punti posti agli angoli. Le falde di estremità continuano sui prospetti laterali, a costituire un involucro che ingloba fino a terra il volume della palestra. La copertura della palestra di Formia, prima superficie pieghettata progettata da Musmeci, rappresenta un passaggio particolarmente importante per la formazione del giovane ingegnere: «Quando si trattò della palestra di Formia, ricordo benissimo che Nervi disse: "No, così non si può fare, non si regge". Io partii (era quello il mio viaggio di nozze) e quando tornai trovai che i disegni non erano stati consegnati all'impresa; io, però, conoscevo già abbastanza il comportamento delle strutture per non tener conto dell'opinione di Nervi, sia pure autorevole: i disegni vennero mandati e vennero eseguiti. Se fu incoscienza o coraggio non lo so; comunque, secondo me, ogni strutturista deve avere una dose di coraggio non indifferente» (Zhara Buda, 2022). La distribuzione delle forze quale principio generatore delle forme, scelta di fondo che connoterà largamente le opere di Musmeci, si disvela proprio durante la realizzazione della palestra di Formia: «In cantiere il disegno dei ferri disposti in

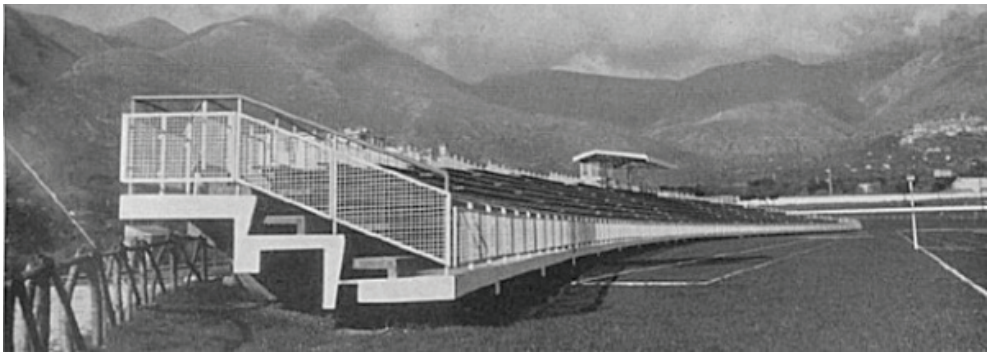


Fig. 9 - Stadio degli Aranci: gradinata per il pubblico (Vaccaro, 1956).

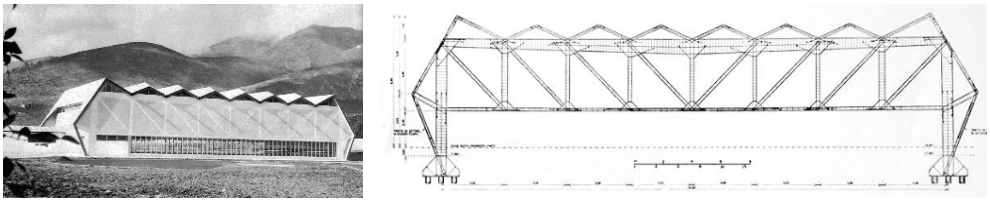


Fig. 10 - Palestra: foto, a sinistra, e schema della struttura, a destra (Vaccaro, 1956).

modo da seguire le variazioni degli sforzi apparve particolarmente bello. Il getto del calcestruzzo avrebbe in seguito nascosto quel disegno così significativo e questa circostanza mi fece comprendere che la forma della volta non seguiva abbastanza l'andamento naturale delle forze interne per poterla esprimere visibilmente. Per questo, quando mi si presentò l'occasione di progettare altre coperture, cercai di piegare la soletta in modo da far variare l'ampiezza del corrugamento in sintonia con la variazione naturale degli sforzi prodotti dalla distribuzione dei carichi e dei vincoli» (De Felice, 2016). Nel 1981, su progetto dell'architetto Brandizzi, viene un ampio programma di interventi di ampliamento, in Figura 11, con la realizzazione di un immobile che si sviluppa per l'intera larghezza della pista di atletica e che ospita la sala preatletismo, gli spogliatoi, il pronto soccorso e un deposito nonché la palestra muscolazione. Il raccordo nello sviluppo lineare degli edifici è stato sottolineato con una struttura adibita ad Aula Magna.

Di fatto, il centro di Formia ha rappresentato per l'Italia il primo esempio di una struttura progettata e costruita appositamente per la preparazione degli atleti di alto livello, prototipo per gli impianti di tale genere e fulcro del modello organizzativo della costruenda rete impiantistica dello sport italiano nel dopoguerra, tant'è che a esso sarebbe seguita la realizzazione del Centro di addestramento al calcio di Coverciano,

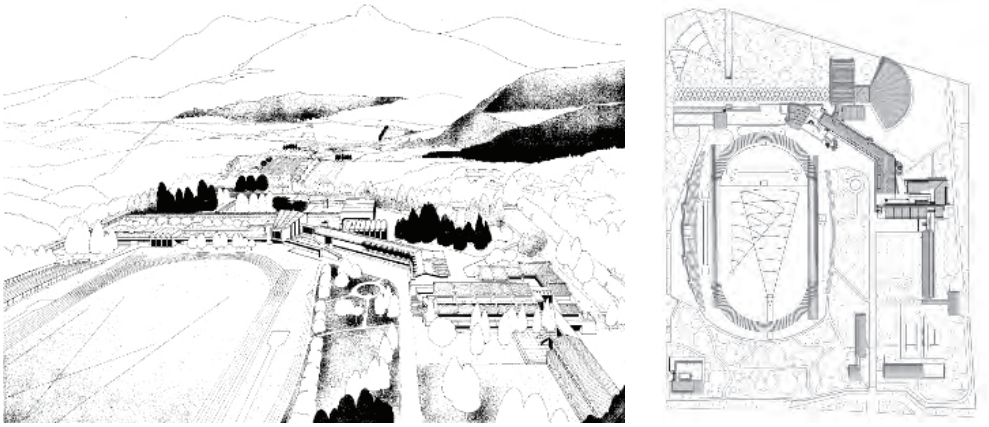


Fig. 11 - Il programma di ampliamento degli anni ’80 (Brandizzi, 2008).

nel 1958, e del Campo di addestramento per il rugby di Rovigo, nel 1962. I primi due allievi della Scuola furono l’ostacolista Giorgio Mazza, finalista olimpico a Tokyo 1964, e il velocista Livio Berruti, medaglia d’oro a Roma 1960 (Colasante, 2016). A partire dal 1967, il Centro di Formia ha ospitato per decenni uno dei più importanti meeting dell’atletica internazionale. Ma la notorietà della Scuola si deve senza dubbio a una figura mitica dello sport italiano, Pietro Paolo Mennea. A Formia, il velocista ha faticosamente costruito il suo successo e alcune delle rare immagini delle sedute di allenamento, in Figura 12, sono entrate nella iconografia dello sport mondiale del XX secolo. Oggi, da scuola di Atletica Leggera, il centro si è trasformato nel punto di riferimento per gli stage di oltre 20 discipline olimpiche, in grado di offrire le migliori forme di allenamento e lo sviluppo di ricerche di tipo fisiologico e biomeccanico. E, tuttavia, il fascino iniziale dello Stadio degli Aranci disegnato da Vitellozzi, in Figura 12, è ormai perduto: soffocato lungo tutto il perimetro da una caotica espansione edilizia che ha deturpato il paesaggio della costa laziale, il centro, sulla base delle nuove esigenze indotte dall’introduzione di discipline diverse dall’atletica (Farroni, 2008), ha visto il progressivo inserimento di altri impianti nella configurazione complessiva, con la saturazione di alcune aree verdi, ad esempio l’area beach volley, a dispetto delle raccomandazioni dello stesso Vitellozzi esposte in occasione della presentazione del progetto di ampliamento: «le nuove strutture e i nuovi collegamenti volumetrici con i precedenti corpi di fabbrica sono stati elaborati con maestria e l’ispirazione dell’esistente complesso è stata compresa e rispettata. Auguro a Brandizzi che possa realizzare completamente questo lavoro e al contempo lo prego, amichevolmente, di resistere a eventuali richieste di nuovi ulteriori elementi che possano alterare, nel suo insieme, il definitivo assetto del Complesso Sportivo» (Brandizzi, 2008).

Fig. 12 - Vista prospettica del complesso nel progetto di Vitellozzi (Vaccaro, 1956)*, a sinistra, e il prof. Vittori "segue" gli allenamenti di Mennea sulla pista dello Stadio degli Aranci, a destra.*

Conclusioni

Il Complesso Sportivo dell'Acqua Acetosa e la Scuola Nazionale di Atletica Leggera di Formia sono a tutt'oggi, a quasi settant'anni dalla costruzione, dei poli di riferimento dell'impiantistica sportiva italiana. Le fasi della progettazione di tali centri hanno anche rappresentato un importante momento di sperimentazione nel panorama dell'architettura e dell'ingegneria contemporanea e il luogo di incontro, a valle di una organica pianificazione spaziale, tra progettazione formale e strutturale. Le articolazioni compositive nella progettazione architettonica di Annibale Vitellozzi, in collaborazione con Cesare Ligini, nel caso di Roma, e le brillanti applicazioni nel calcolo delle strutture in calcestruzzo armato da parte di un giovane Sergio Musmeci, nel caso di Formia, hanno senz'altro contribuito a rendere i due centri luoghi iconici della preparazione sportiva di alto livello. Tuttavia, a dispetto della originalità delle soluzioni progettuali, ideate da figure di primissimo piano dell'architettura del Novecento e della "Scuola italiana di ingegneria" del dopoguerra (Iori e Poretti, 2011), della rilevanza dei due centri nella configurazione dei tessuti urbani e del paesaggio locale nonché dell'esplicito collegamento con avvenimenti che hanno segnato la storia della Nazione quale le Olimpiadi di Roma del 1960, i due complessi non hanno ricevuto una specifica attenzione da parte delle istituzioni, rimanendo privi di un provvedimento volto a sancirne l'interesse culturale ai sensi del Codice dei beni culturali e del paesaggio e ciò ha contribuito a non diffondere nell'opinione pubblica la percezione dei due centri come patrimonio architettonico del Novecento. È peraltro evidente come le opere ideate da Vitellozzi e Musmeci per i due complessi sportivi siano paradigmatiche, ovvero abbiano inaugurato modalità espressive e costruttive inedite, in vario modo riprese e reinterpretate da quelle successive, contribuendo a sviscerare il tema progettuale della definizione della forma architettonica tramite il calcolo ingegneristico. La possibilità di individuare elementi comuni tra più opere dello stesso autore, ispirata all'accostamento di opere differenti per circostanze di realizzazione, come accade per i progetti di Vitellozzi e Musmeci,

ripropone l'esigenza di una strategia di tutela a rete, estesa contemporaneamente a più beni con un processo di tutela attiva, di fatto inibita dalla prassi contemplata dalla normativa italiana, basata sulla mera storicizzazione della singola opera in relazione a una soglia temporale predefinita e standardizzata. Le vicende dei due complessi, dunque, possono offrire ulteriori spunti di riflessione su un tema, quello della tutela delle opere di architettura contemporanea destinate alla pratica sportiva che, essendo caratterizzate da una rapida obsolescenza funzionale e dalla conseguente richiesta di interventi di adeguamento o, addirittura, di sostituzione, non dialogano con la rigidezza della normativa di settore (Carughi, 2019). Alla luce dell'inserimento dei due impianti nell'elenco delle opere schedate dal Ministero della Cultura con il "Censimento delle architetture italiane dal 1945 ad oggi" (Coppo, 2023; Vittorini, 2023) e dell'incipiente ingresso *ope legis* delle strutture primigenie nella categoria dei beni vincolati per "presunzione" dell'interesse culturale, in quanto immobili di proprietà pubblica opera di autori non più viventi e con più di 70 anni di età, è auspicabile una formale espressione istituzionale del valore identitario e storico-testimoniale dei centri di preparazione olimpica di Roma e Formia, nella duplice dimensione dell'interesse "relazionale", a prescindere dalla materialità dei complessi, e del valore "intrinseco" di opere che rientrano tra quelle che attestano il successo della cosiddetta "architettura dell'ingegneria" (Carughi, 2012) tra gli anni '50 e '60 del Novecento.

Bibliografia

AA.VV. 1955. L'inaugurazione della Scuola Nazionale di Atletica Leggera di Formia. Agenzia Italiana Sportiva, IX, 268, 1-2.

Brandizzi S. 2008. Centro "Bruno Zauli"-Formia. Spaziosport, 8, 38-49.

Carla Zhara Buda (a cura di). 2022. *L'archivio Sergio Musmeci nelle collezioni del MAXXI Architettura.* Roma: Quaderni del Centro Archivi del MAXXI Architettura.

Carughi U. 2019. *L'architettura contemporanea nell'idea di tutela*. In: Atti del *Seminario Conoscenza e tutela del patrimonio architettonico moderno e contemporaneo*, 35-43. Roma: MAXXI.

Carughi U. 2012. *Maledetti vincoli. La tutela dell'architettura contemporanea.* Torino: Allemandi.

Colasante G. 2016. *Bruno Zauli. Il più colto uomo di sport.* Roma: Garage group.

Coppo A. 2023. *Censimento delle architetture italiane dal 1945 ad oggi. Scheda Opera: Centro Sportivo Giulio Onesti.* Ministero della Cultura.

De Felice S. 2016. *Il calcestruzzo armato e le strutture resistenti per forma nel pensiero e nell'opera di Sergio Musmeci.* Roma: Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

Drudi C. 2018. *Riqualificazione di un Impianto Sportivo a Roma.* Edizioni Accademiche Italiane.

Farroni C. 2008. *Progetti di sviluppo e strategie future.* Spaziosport, 8. CONI Servizi, 44-49.

Folchi A. 2018. *Sport Popolare a Roma dal 1948 alle Olimpiadi del 1960*. Tesi di laurea. Sapienza Università di Roma.

Iori T. e Poretti S. (a cura di). 2011. *SIXXI Storia dell'ingegneria strutturale in Italia: 2*. Roma: Cangemi Editore.

Lupo V. 2009. *Archivio Cesare Ligini-Inventario*. Soprintendenza archivistica per il Lazio
Pedullà S., Pannunzio F. 2008. Centro "Giulio Onesti". Acqua Acetosa – Roma. Spaziosport, 8. CONI Servizi. 20-23.
Vaccaro G. 1956. Scuola Nazionale di Atletica Leggera a Formia. L'Architettura-Cronache e Storia, 8. 86-91.
Vaccaro G. 1962. Recenti impianti sportivi in Italia. Complesso sportivo all'Acqua Acetosa. L'Architettura-Cronache e Storia, 79. 18-25.
Vaccaro G. 1969. Impianti sportivi all'Acqua Acetosa. L'Architettura-Cronache e Storia, 164. 98-103.
Vitellozzi A. 1956. *La Scuola Nazionale di Atletica leggera*. Roma: URIA.
Vitellozzi A. et al. 1991. *La Scuola Nazionale di Atletica Leggera a Formia*. CONI.
Vittorini R. 2023. *Censimento delle architetture italiane dal 1945 ad oggi. Scheda Opera: Scuola Nazionale di Atletica Leggera di Formia.* Ministero della Cultura.

Sitografia

[1] http://museotonibenetton.it

Note

[1] Vasta zona pianeggiante ubicata in sinistra idrografica del fiume Tevere e territorio di naturale espansione del corso d'acqua in occasione di eventi di piena, l'area dell'Acqua Acetosa era così descritta prima dell'intervento di trasformazione: «Nel 1954, in tutto il comprensorio tra l'arco ferroviario della Roma Viterbo, i campi sportivi del CRAL del Comune e del campo di polo e il rilevato ferroviario (attualmente sede della strada Olimpica) esisteva un solo campo di rugby, una casetta del guardiano con rudimentali spogliatoi, una casa colonica fatiscente e un deposito rottami di guerra; il resto si presentava come una "bassa" ricca di acquitrini, di falasco e di qualche raro canneto» (Vaccaro, 1962).

Damiano Santillo, Federico Capriuoli

L'acquedotto ipogeo di Aesernia

The underground aqueduct of Aesernia

Sommario
L'acquedotto di *Aesernia* è tra le più interessanti opere di ingegneria idraulica antica rinvenibili negli insediamenti di età romana. L'infrastruttura connette la zona delle sorgenti di San Martino, ovvero il complesso idrogeologico della montagna di Miranda-Pesche, con l'attuale centro storico della città di Isernia. A valle di una speditiva analisi del contesto storico-archeologico, vengono illustrati il quadro conoscitivo sull'opera, evidenziando il primo rilievo dell'acquedotto condotto nel 1887 dall'ingegnere Udalrigo Masoni, e le principali caratteristiche costruttive, con una specifica disamina plano-altimetrico del tratto esterno alle mura che si sviluppa interamente in sotterraneo.

Abstract
The Aesernia aqueduct is one of the most interesting examples of ancient hydraulic engineering found in Roman-era settlements. The infrastructure connects the San Martino spring area, specifically the hydrogeological complex of the Miranda-Pesche mountain, with the present-day historic center of the city of Isernia. Following a brief analysis of the historical-archaeological context, the knowledge framework of the aqueduct is presented, highlighting the initial survey conducted in 1887 by the engineer Udalrigo Masoni and the main construction features. Additionally, a specific examination of the planimetric and altimetric aspects of the section outside the walls, which is entirely underground, is provided.

Inquadramento storico - archeologico
La città di Isernia è un tipico esempio di sito "a continuità di vita", in cui la forma urbana e le persistenze funzionali delle infrastrutture trovano ampio riscontro nelle fonti storiche e nella ricerca archeologica (Santillo, 2018). A seguito dell'occupazione dell'*ager Aeserninus* da parte di Roma sul finire delle guerre sannitiche, in questa zona di confine venne dedotta, nel 263 a.C., una colonia di diritto latino, avamposto strategico nei confronti dei popoli italici di lingua osca. L'insediamento, ubicato

nell'alta valle del Volturno a circa 400 m s.l.m, era il crocevia dei percorsi che collegavano il Sannio con la Campania settentrionale, con gli altipiani abruzzesi e con il Lazio: la via diretta da Isernia ad *Aufidena*-Sulmona con l'innesto a Corfinio con la via Valeria, la via da Isernia verso *Bovianum-Saepinum* con la successiva connessione all'area di *Beneventum* e la diramazione dalla Via Latina con il passaggio per *Venafrum* (De Benedittis, 2010).

Isernia, di fatto, era la chiave di accesso al Sannio (Coarelli e La Regina, 1984). I dati archeologici a oggi disponibili non permettono di trarre conclusioni sulla presenza o meno di insediamenti precedenti la fondazione della colonia. Peraltro, è plausibile che anche in questa porzione di territorio, ampiamente fortificata dai Sanniti nel V-IV sec. a.C. per il controllo della regione e delle vie armentizie, sia stato attuato un modello di occupazione diffusa, tipico delle culture italiche, in cui coesistevano a livello paritario e in numero indeterminato *oppida, vici*, santuari, ecc. (La Regina, 1970); i rinvenimenti nel circondario della città, come ad esempio la cinta fortificata in località La Romana del comune di Isernia (Capini, 1984), sembrerebbero avvalorare tale ipotesi. Il territorio afferente ad *Aesernia*, nel periodo repubblicano, si estendeva per almeno 400 km^2; la città poteva ospitare circa 7000 persone, oltre a un nucleo dell'originaria popolazione sannitica nella condizione di stranieri residenti (La Regina, 1971). Il crinale roccioso sagomato da due corsi d'acqua perenni su cui sorse la colonia fu circondato da mura in blocchi di travertino, giustapposti a secco con la tecnica dell'*opus poligonalis*, a delimitare uno spazio di circa 105.000 m^2 (La Regina, 1971). L'impianto urbano era caratterizzato da un'articolata distribuzione di terrazzi artificiali, raccordati mediante un asse principale che attraversava tutto l'abitato per circa 900 m, l'attuale Corso Marcelli; i collegamenti tra i diversi piani erano dedotti con una serie di criptoportici o di rampe (De Benedittis, 2021).

Il promontorio urbanizzato era privo di sorgenti; i dati archeologici lasciano ipotizzare che in una prima fase la colonia, stante la sostanziale impossibilità di emungere acqua da pozzo, si sia avvalsa di un sistema di grandi cisterne per la conservazione delle acque meteoriche (De Benedittis, 2021). A ciò sarebbe ascrivibile un *lacus* identificato all'interno del complesso di Santa Maria delle Monache, ove due condotti convogliano l'acqua piovana in un ampio bacino comunitario di forma rettangolare, di dimensioni in pianta pari a 7 m · 4 m e con un'altezza di 7 m, con angoli smussati e pareti rivestite di cocciopesto. Pertanto, la costruzione di un acquedotto, alimentato dalla principale scaturigine del comprensorio [1], che consentiva un approvvigionamento costante e regolato della risorsa idrica, rappresentò un momento decisivo nel processo di sviluppo della città.

Il quadro delle conoscenze sull'opera

Le prime notizie sull'esistenza a Isernia di un acquedotto ipogeo risalgono al 1564 quando il Ciarlanti, nelle "Memorie historiche del Sannio", scrive: «quei sagaci an-

tichi cittadini fecero un sotterraneo meato con tanta fatica, spesa e magistero che maraviglia porge a chiunque lo rimira. Forarono dentro le viscere della terra per più di un miglio durissimi e vivi sassi e vi formarono un acquedotto dell'altezza di palmi otto e di larghezza quattro, e tanto profondo che in sei spiragli solo che si scorgono, dalla corrente dell'acqua sin alla superficie della terra son palmi novantasei», precisando come l'opera di adduzione fosse all'epoca pienamente efficace: «in tanta abbondanza vi corre, che sufficientemente soddisfa dentro alle pubbliche e private fontane, e fuori intorno le mura a i giardini, molini, cartere, e all'arti, a cui l'acqua è di bisogno» e commentando, infine, come «opera in vero, che à pena si può co l'animo concepire, e con le parole non à pieno spiegare» (Ciarlanti, 1564).

Nella "Descrizione dello stato antico ed attuale del Contado di Molise", Galanti osserva che «La cosa che oggi è degna di essere osservata in Isernia, è un acquedotto ricavato dentro vive e dure pietre, […] di una struttura difficile e meravigliosa […] Sei spiracoli dalla superficie della terra portano giù nel canale, coll'opera de' quali una così stupenda opera si è potuta eseguire», specificando che «S'ignora quando sia stata fatta» (Galanti, 1781).

I resti dell'acquedotto captarono l'attenzione di Sir Richard Colt Hoare che, nel resoconto "*A Classical Tour though Italy and Sicily*", pubblicato nel 1819 ma relativo a un viaggio in Italia compiuto dall'autore nel 1789, scrive: «*The other fragments of antiquity, which occurred to my observation, at Isernia, and in the neighbourhood, were the vestiges of a subterraneous aqueduct, at some distance from the town, on the road towards Sulmone; and part of a little bridge nearer the town*».

Della struttura dà notizia Giuseppe Sanchez nel 1833: «Isernia ha un meraviglioso acquedotto scavato nella viva roccia» (Sanchez, 1833). L'acquedotto di Isernia viene annotato anche nei diari delle escursioni che Keppel Craven, intorno al 1836, compie nel Mezzogiorno e che due anni dopo vengono pubblicati con il titolo "Excursions in the Abruzzi and Northern Provinces of Naples": «*the most remarkable object is a subterranean channel, or aqueduct, of considerable depth and breadth... which to this day supplies the fountains and manufactories of the town with water brought from under the little town of Miranda… The deepest spiracular, or air – holes, of which there are five in the whole extension of its course,* […] *measure nearly ninety feet. A portion of this stream runs through a ravine on the west side of the town*» (Craven, 1838).

Nella "Storia delle Due Sicilie dall'antichità più remota al 1789", pubblicata in quattro volumi a Napoli fra il 1843 e il 1852, l'archeologo e storico Nicola Corcia, socio della Regale Accademia Ercolanense di Archeologia, nell'illustrare la città di Isernia rimarca la presenza dell'antico acquedotto e scrive che lo stesso è ancora funzionante: «[…] ed è degno soprattutto di attenzione un acquedotto, di considerevole profondità e larghezza, aperto nella roccia per lo spazio di un miglio, e tuttavia in essere» (Corcia, 1843).

Nel 1858, l'acquedotto di Isernia viene rappresentato nella prestigiosa opera "Il Regno delle due Sicilie descritto ed illustrato da Filippo Cirelli", con un testo a cura di Stefano Jadopi: «meraviglioso il vedere come Isernia, situata sopra una collina, sia stata dai suoi primi abitatori provveduta di acque in abbondanza, recandovele mediante un acquedotto tagliato nella collina stessa tra duri sassi […] Vi sono sei spiragli, onde rendere agevole il ripulirlo e il ristaurarlo in ogni caso. Questo antico acquedotto parte dal ponte S. Leonardo, e va fino al così detto Pozzo. In questo punto se ne devia un ramo che corre all'interno della città, ed anima sette fontane pubbliche e circa 45 private: l'altro ramo, nel quale scorre maggior volume di acque, serve ad animare varie macchine idrauliche» (Jadopi, 1858).

Le annotazioni di Craven, nel frattempo, diventano fonte di ispirazione per una delle più autorevoli guide turistiche dell'Ottocento, il "Murray's Handbook for travellers in Southern Italy" di Octavian Blewitt, pubblicata a Londra nel 1878: «*The great curiosity of Isernia is the ancient aqueduct, hewn in the rock. It begins at the bridge on the Solmona side, where the water enters the channel. It is long, and has six airholes or spiracoli, the deepest of which is said to be 96 palms (82 ¾ feet). It supplies the fountains and manufactories of the town with water*» (Blewitt, 1878).

La geometria

Le prime informazioni analitiche sulla geometria dell'acquedotto sono ascrivibili al rilievo compiuto nel 1887 dal poliedrico ingegnere Udalrigo Masoni, titolare della cattedra d'idraulica alla scuola degli ingegneri di Napoli, deputato e membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione. Dalle sorgenti in località S. Martino fino alle diramazioni interne al nucleo urbano, il Masoni riproduce in scala 1:2000 il tracciato complessivo dell'acquedotto, in Figura 1, censendo e ubicando tutti i pozzi di ispezione, con l'indicazione meticolosa dei nominativi dei proprietari dei terreni interessati dall'attraversamento del condotto.

Gustavo Strafforello, qualche anno più tardi, scrive: «Degno di ammirazione è un antico acquedotto che provvede sempre d'acqua la città. Esso è scavato entro dure roccie: ha la lunghezza di 1797 metri, è alto m. 2,112 e largo m. 1,056. Sei spiracoli corrono dal principio al fondo» (Strafforello, 1890).

Nel manoscritto "Storia della città antica di Isernia", opera di Domenicantonio Milano risalente al 1897, è invece pubblicata una illustrazione del tracciato dell'acquedotto nell'ambito della pianta complessiva della città di Isernia contenente le indicazioni dei principali rinvenimenti archeologici, in Figura 2, che, di fatto, costituisce la prima carta archeologica nota per la città; la rappresentazione grafica è corredata dall'annotazione: «La città è ricca d'acqua, ma per un canale sotterraneo che la raccoglie a 4 chilometri da' piedi del Monte di Miranda» (Cefalogli e Manera, 2018). Nel prosieguo, l'autore illustra ulteriormente l'opera, in Figura 3, e osserva «al Ponte San Leonardo dove la strada si dirama per Campobasso, colui che da questo punto si

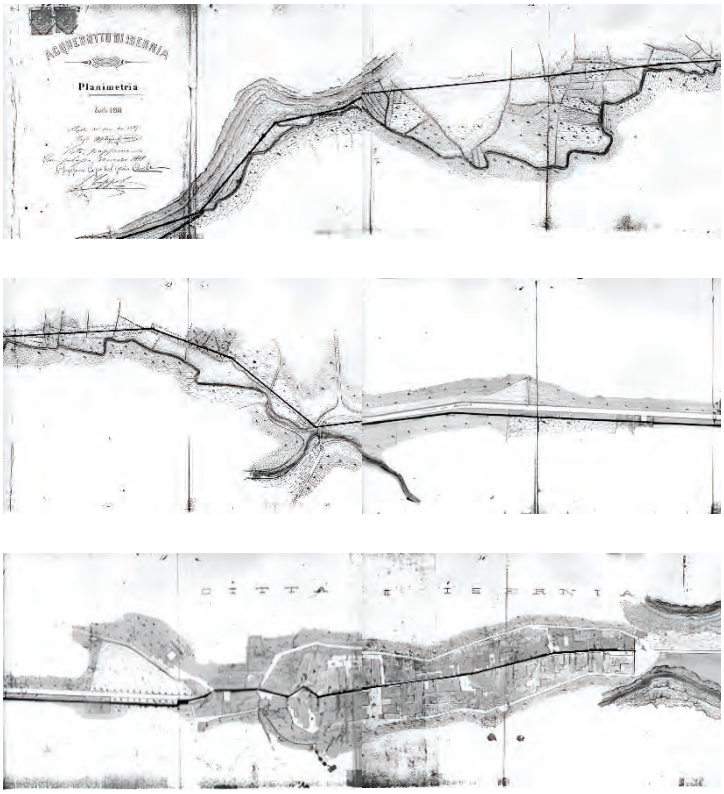


Fig. 1 - Planimetria del tracciato dell’acquedotto, a opera dell’ing. Masoni (Valente, 1982)

rivolge ad Isernia, vedrebbe a corta distanza de pozzi serrati da grosse pietre quadrate, e salendo vedrebbe ancora su una linea diritta altre aperture simili che in tutto sommano al numero di sei, da quali si sente il mormorio delle acque fluenti. Il più alto di tali pozzi […] è profondo 25 metri, e sono tagliati dallo scalpello nello spessore de’ massi di travertino». Milano, inoltre, fornisce una interessante descrizione dell’attività di pulizia straordinaria dell’acquedotto compiuta nel 1889 «in occasione del nuovo lavoro per l’acqua potabile […] essendosi nella maggior parte interrato, ed in qualche punto roso, da permettere grosse perdite di acqua», durante il quale «Da lavoratori e dal Ingegnere Direttore dell’opera […] fu osservato che il canale lungi d’essere rettilineamente scavato […] seguiva una linea ad angoli o a zig zag. Sempre da un lato, qual è l’Ovest, oltre che taluni angoli risultavano acutissimi ed abbastanza profondi», sempre in Figura 3. A tal proposito, lo stesso Milano prospetta «riuscimmo a congetturare salvo la verità, che quella disposizione potesse essere non tanto l’aumento sulla lunghezza del letto fluviabile, perché le acque vi sbattessero e dirigessero quanto il

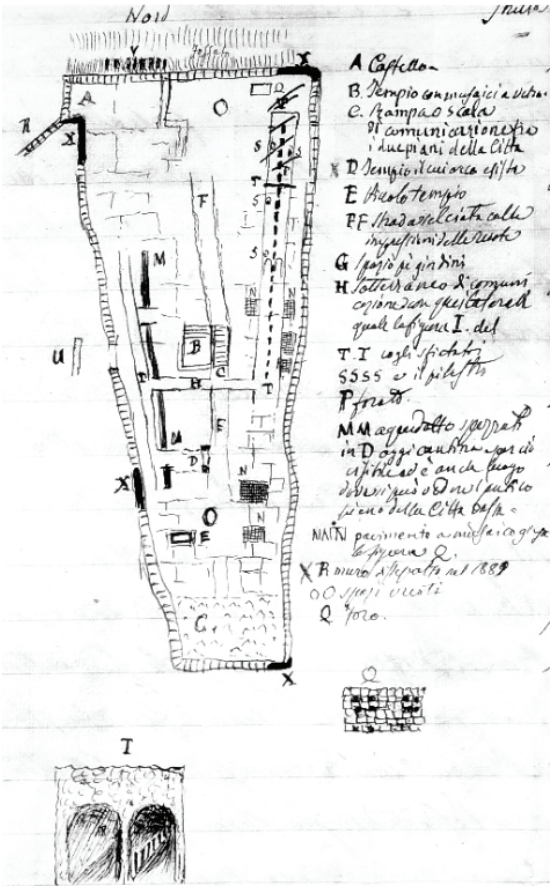


Fig. 2 - Pianta della città di Isernia (Cefalogli e Manera, 2018).

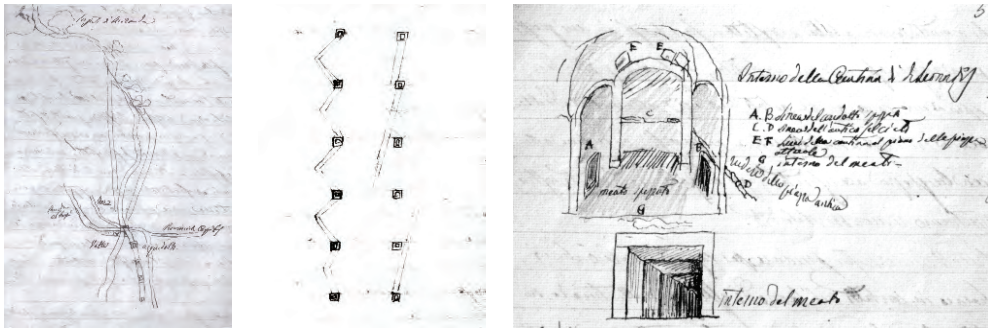


Fig. 3 - Da sinistra: schizzo del tracciato dell'acquedotto; schizzo andamento irregolare del tracciato; schizzo cantina De Leonardis (Cefalogli e Manera, 2018).

fatto d'esser l'artificio in cui fare un errore facile ad accadere, ove altrimenti si fosse fatto, poiché non avendo bussola o altro modo di tenere la dirittura, alla quale era facile poter sfuggire e così poter vagare sottoterra, invece, profondando ad angolo i due che lavoravano colle facce rivolte a loro stesse da due pozzi, doveva necessariamente accadere l'incontro sempre da un fianco, d'onde poi l'angolosità riscontrate. E ciò anche perché quegli angoli non sono eguali, essendovene di certi acutissimi» (Cefalogli e Manera, 2018). Milano fornisce preziose informazioni anche sui canali di distribuzione presenti all'interno delle mura urbiche, sia in merito alla tecnica costruttiva, costituita da grossi basoli di pietra poggiati orizzontalmente sui muri laterali di delimitazione del condotto, che sulla forma quadrata della sezione, ancora in Figura 3: «Codesto canale nel condurre in città l'acqua, questa si convogliava da altro canale non meno grandioso del primo, quantunque tutto artificiale, eseguito con grandi pezzi da tutti i lati, di cui se ne ha prova chiarissima, cui ci fu dato scoprire nella cantina del sig. De Leonardis per costruire la quale fu tagliato per mezzo lasciando i capi tra le mura. Il Meato […] coperto da grosso lastrone dell'istessa pietra le cui pareti risultano di pezzi paralleli dell'istessa altezza del meato, e stanno benissimo fra essi connessi» (Cefalogli e Manera, 2018).

L'esplorazione

La prima esplorazione sistematica e documentata del sistema ipogeo risale all'inverno del 1977, a opera del Gruppo Speleologico Aquilano su incarico della Cassa per il Mezzogiorno che, in occasione del rifacimento della rete idrica cittadina imposto dalle rinnovate esigenze idriche di una città in rapida espansione, aveva in animo di utilizzare il condotto romano a mo' di galleria per inserirvi una tubazione del nuovo acquedotto. Peraltro, qualche anno addietro, un incidente occorso a uno dei serbatoi di benzina dell'impianto AGIP soprastante l'acquedotto, che determinò la fuoriuscita degli idrocarburi e la contaminazione del canale ipogeo, aveva indotto l'abbandono della stazione di pompaggio installata agli inizi degli anni '70 per prelevare l'acqua dal condotto romano e per distribuirla agli edifici di nuova costruzione (Ramunno, 2001). In pratica, dopo oltre duemila anni in cui risulta essere stato sempre in attività, a seguito di tale incidente il condotto cessò di svolgere la sua funzione primaria, cioè la distribuzione di acqua potabile.

L'indagine speleologica mise in risalto le caratteristiche salienti dell'opera nel tratto esterno al centro storico, lungo poco più di 1440 m, compreso tra Ponte San Leonardo e Piazza Tullio Tedeschi - Località Il Pozzo, mostrate in Figura 4, evidenziando che, in linea generale, le tecniche costruttive impiegate furono scelte in base alla natura del terreno intercettato in fase di scavo (Castellano, 1991), essendo il travertino quaternario che denota questo settore della collina di Isernia costituito da una serie non omogenea di strati orizzontali o sub-orizzontali di spessore variabile, con ordine di grandezza intorno al metro (Ramunno, 2001). Il cunicolo nel tratto com-

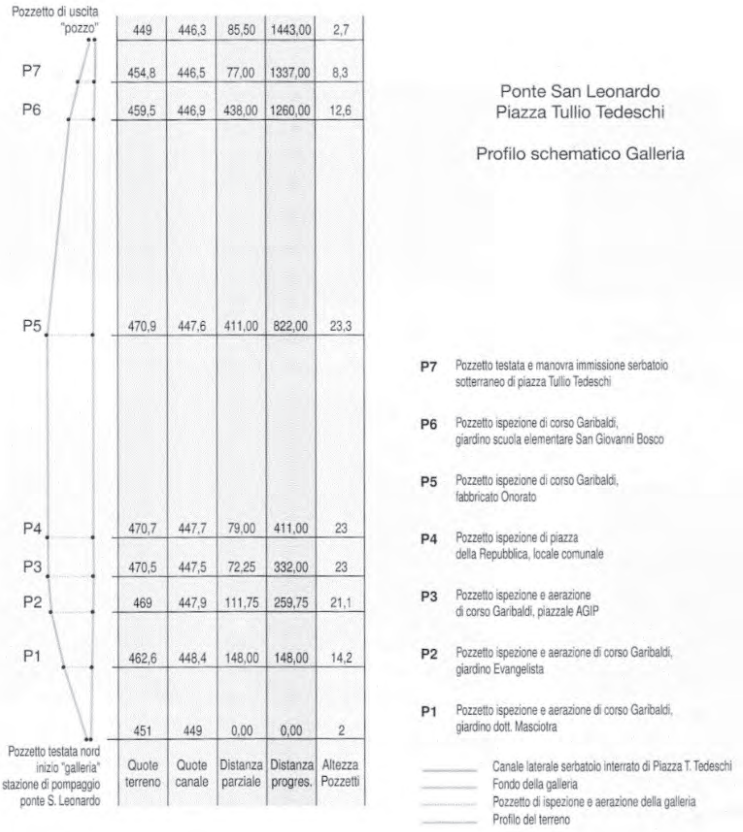


Fig. 4 - Profilo del tratto ipogeo da Ponte San Leonardo a Piazza Tullio Tedeschi (Ramunno, 2001).

plessivamente indagato manifesta una sezione trasversale sostanzialmente uniforme e pari all'incirca a 60 cm di larghezza e 140 cm di altezza, con fondo generalmente costituito con la giustapposizione di grossi tavelloni di terracotta, cui si contrappone una notevole diversificazione nelle pareti e nella copertura. Lo scavo del condotto nella roccia viva denota il tratto caratterizzato da banchi di travertino compatto dall'ingresso al pozzo P2 per una lunghezza di circa 260 m. La sezione trasversale con pareti verticali e volta a botte predomina, in Figura 5, tranne che in una porzione nei pressi del pozzo P2 dove si manifesta una sezione trapezoidale. In tale segmento il cunicolo risulta nella parte iniziale intonacato sino a un metro di altezza con *opus signinum*, e conserva ancora le tracce dei segni lasciati dagli attrezzi di scavo nonché delle piccole nicchie, presumibilmente utilizzate per alloggiare delle lucerne, ancora in Figura 5 (Castellano, 1991).

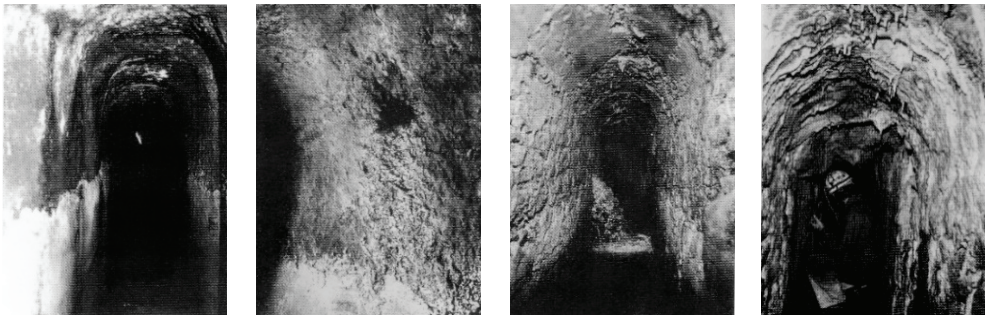


Fig. 5 - Da sinistra: sezione rivestita con opus signinum; nicchie nelle pareti; sezione con rivestimento in pietrame; tratto con concrezioni di calcite.

Anche l’ispezione speleologica del 1977 evidenziò in tale tratto i disallineamenti nell’asse del condotto, confermando quanto riportato da Milano, cioè l’esecuzione dello scavo sotterraneo eseguito in versi opposti a partire dal fondo di due pozzi consecutivi sino all’incontro in un punto, all’incirca equidistante dai due fori di partenza, ampliato per compensare gli errori planimetrici nella intersezione dei due tracciati sotterranei e con dei “gradini di volta” a marcare la sutura altimetrica. Peraltro, nel tratto tra i pozzi P2 e P3 si materializza un rilevante errore anche nel tracciamento delle quote, evidenziato dal drastico abbassamento del fondo dello speco nella zona di raccordo, in cui il cunicolo proveniente dal pozzo P2 avrebbe altrimenti sovrappassato quello proveniente da P3 (Castellano, 1991). Nel tratto dal pozzo P2 al pozzo P4, sempre in Figura 4, per una lunghezza di circa 150 m, in cui si manifestano fessure e cavità negli strati di travertino, il consolidamento dello speco avvenne con l’occlusione delle fratture tramite grossi ciottoli calcarei e malta. Infine, nel tratto caratterizzato dalla presenza di materiale incoerente e argilloso che, sempre in riferimento alla Figura 4, va dal pozzo P4 al pozzetto di uscita per una lunghezza di circa 1030 m, il cunicolo è caratterizzato da una struttura a volta eseguita con malta e grossi ciottoli calcarei, i cui particolari sono in Figura 5 nella quale si può notare anche che all’atto dell’esplorazione il tratto era interessato in modo esteso da concrezioni di calcite (Ramunno, 2001).

Combinando le evidenze di superficie, in cui è a tutt’oggi possibile identificare otto pozzi, con i riscontri ipogei, ove la presenza di una serie equidistanziate di grossi blocchi di concrezioni stalattitiche è ragionevolmente correlabile a fori occlusi, è possibile ipotizzare un totale di 17 pozzi, da cui discende una misura dell’intervallo medio tra due cavità consecutive grossomodo coerente con le prescrizioni formulate da Plinio per lo scavo di acquedotti: due *actus* (Castellano, 1991). Tutti i pozzi censiti hanno un andamento pressoché verticale e una sezione media di 1,3 m · 1,0 m (Ramunno, 2001) e le loro altezze variano da un minimo di 2,0 m per il pozzetto P0

sino a rasentare i 24 m per il pozzetto P5. Il dislivello complessivo del tratto indagato è di circa 2 m, cui corrisponde una pendenza media di quasi l'1,4 ‰.

Il tratto lato monte

Meno definito è il quadro delle conoscenze per il tratto di circa 1900 m, lato monte, che dalla sorgente di San Martino, nel territorio del comune di Miranda, conduce a Ponte San Leonardo, nel quale le falde acquifere venivano captate mediante canali di drenaggio o sbarramenti (Terzani, 2011). Ciò è dovuto sia alla natura delle opere, estremamente superficiali e allocate in terreni alluvionali, che ai continui interventi di manutenzione e ammodernamento che hanno profondamento alterato la configurazione originaria nonché, da ultimo, alla costruzione, sul finire degli anni '90 del secolo scorso, di un nuovo impianto sportivo che ha intercettato per circa 300 m il tracciato dell'acquedotto. Il percorso di questo tratto è attualmente segnato dal dislivello morfologico indotto dal fatto che l'estradosso della copertura a botte corre al di sopra del piano campagna e, pertanto, per tutta la sua lunghezza il terreno è soprelevato di circa 50 cm (Ramunno, 2001); inoltre, sono visibili i 12 pozzetti di ispezione collocati a distanze non regolari (Terzani, 2011), a sezione quadrangolare, realizzati in muratura di pietrame calcareo e coperti con lastroni di pietra, il cui innesto con lo *specus* era protetto da archi di sostegno in laterizio (Giancola, 2019).

Il tratto lato valle

Il tratto di circa 1100 m, lato valle, che inizia da piazza Tullio Tedeschi, segna invece l'ingresso dell'acquedotto in città, a partire dal *castellum aquae*, struttura con funzione di partitore idraulico e di vasca di sedimentazione delle impurità, come testimoniato dal pavimento inclinato nella zona mediana per raccogliere i detriti solidi e dall'imbocco del canale di distribuzione posto nella parte superiore della parete; la superficie complessiva del serbatoio è di circa 100 m^2, con una base quasi rettangolare all'incirca pari a 24 m · 4,5 m (Terzani, 2001), e una capacità di accumulo stimata in circa mezzo milione di litri (Valente, 1982). Da esso diparte il condotto verso il nucleo urbano, leggermente più ampio di quello a monte, con tratti alti circa 2 m e larghi poco più di 1 m. Sulla base delle conoscenze archeologiche attuali, il serbatoio sembrerebbe ubicato all'esterno della cinta muraria. Lo sviluppo della rete idrica all'interno del centro urbano non è noto ma è ragionevole ipotizzare che l'adduzione primaria fosse stata realizzata coerentemente all'andamento dell'asse viario principale sul quale fu impostato lo schema urbanistico della colonia, l'attuale Corso Marcelli, assecondando l'orografia e i salti di quota. È plausibile, dunque, che dal canale principale dipartisse una rete di condotti secondari per alimentare le cisterne che ancora oggi si rinvengono numerose nei sotterranei degli edifici del centro storico, come nel caso del palazzo Milano-Veneziale, dove è possibile osservare due ambienti paralleli, lunghi all'incirca 30 m, in cui si conserva il rivestimento

impermeabilizzante e le tracce del livelli raggiunti dall’acqua, collegati mediante scansioni regolari di piccoli archi voltati, ora in parte tamponati; la copertura dei due ambienti è a botte, con una luce di 2,30 m, mentre il raccordo tra i vani ha copertura a crociera (Terzani, 1998). Recentemente, per tali ambienti è stata altresì prospettata una funzione di sostruzione cava, ovvero di criptoportico (Inno, 2021).

All’interno della cripta della Chiesa della Concezione, in piazza Celestino V, sono visibili, in prossimità del lato nord del muro in opera poligonale di III maniera, un pozzo circolare, con paramento in conci scanalati profondo 1 m e diametro interno di 0,40 m, e un bacino di decantazione rettangolare, ascrivibile al periodo post-antico, con sezione di 3 m · 1,10 m e profondità di 1,50 m.

Tracce riguardanti la possibile presenza di cisterne sul lato occidentale della città sono state individuate nelle cantine al di sotto del Palazzo De Lellis-Petrecca, ai bordi di via Occidentale durante i lavori di sistemazione di una porzione di muro crollato (Colombo, 2023) e nella cripta della Cattedrale; esse sembrano riprendere lo schema planimetrico delle strutture costituite da camere parallele coperte con volta a botte e tra loro comunicanti mediante aperture sormontate da archi a tutto sesto.

La presenza di tali resti ipogei ha fatto supporre ad alcuni autori (Cefalogli, 2014) che l’acquedotto della città fosse in realtà diviso in due rami che, sviluppandosi ai due lati dell’asse viario principale e parallelamente a esso, andavano ad alimentare bacini di distribuzione secondari dai quali era possibile l’erogazione della risorsa idrica nei vari settori della città. È da evidenziare, infine, come all’esterno del perimetro murario, nel 1984, in via Sant’Ippolito, durante i lavori per la costruzione del complesso ospedaliero, vennero alla luce i resti di un impianto termale con una vasca di 20 m · 2,80 m, collegata a una vasca minore sopraelevata (Terzani, 2001). È dunque plausibile che l’acquedotto, dopo essere uscito dal perimetro fortificato, alimentasse anche questa struttura a elevato consumo di acqua.

Conclusioni

L’acquedotto romano di *Aesernia*, presumibilmente realizzato in un periodo successivo alla deduzione della colonia latina nel 263 a. C., attraverso un percorso di circa 3,4 chilometri permetteva l’adduzione della risorsa idrica dall’acquifero di località San Martino sino al *castellum aquae*, localizzato al margine settentrionale dell’abitato, da cui dipartiva la rete per la distribuzione interna al perimetro urbano. L’acquedotto, che per quasi due millenni ha fornito con continuità l’acqua alla città di Isernia, ha nei secoli attirato l’attenzione di studiosi e viaggiatori per le evidenti difficoltà realizzative dell’opera, in particolare per il tratto, lungo poco più di 1,4 km, interamente scavato nella roccia. Le esplorazioni dei tratti meno noti del condotto potranno chiarire l’articolazione del sistema sotterraneo di adduzione e di circolazione delle acque nel centro storico della città e i rapporti con le svariate cisterne a oggi rinvenute.

Bibliografia

Blewitt O. 1853. *Handbook for travelers in Southern Italy. Londra:* John Murray.

Capini S. 1984. Castelromano. Conoscenze, 195-196.

CASMEZ. 1983. *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale*. Roma: Cassa per il Mezzogiorno.

Castellani V. 1991. La struttura sotterranea dell'antico acquedotto di Aesernia (Isernia). Rivista di topografia antica, 1, 113-128.

Cefalogli D. 2014. *La forma urbanistica di Aesernia.* In: *Atlante tematico di topografia antica: Roma, città romane, assetto del territorio* (a cura di S. Quilici Gigli e L. Quilici). 151-178. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Cefalogli D., Manera M. 2018. *Domenicoantonio Milano. Storia della città antica d'Isernia.* Isernia: Iannone Editore.

Ciarlanti V. 1564. *Memorie historiche del Sannio chiamato hoggi Principato Vltra, contado di Molisi, e parte di Terra di Lauoro, Prouincie del Regno di Napoli. Diuise in cinque libri, ... Raccolte dal dottor Gio. Vincenzo Ciarlanti*. 35-36. Isernia: Per Camillo Cauallo.

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

Colombo D. 2023. Aesernia, la città antica e i nuovi ritrovamenti di via Occidentale. In: *Imago Augusti*, catalogo mostra. 59-66. Roma: Campisano editore.

Colt Hoare R. 1819. *A Classical Tour through Italy and Sicily, tending to illustrate some Districts which have not been described by Mr. Eustace in his Classical Tour*. London: J. Mawman.

Corcia N. 1843. *Storia delle Due Sicilie dall'antichità più remota al 1789.* Napoli: Virgilio.

Craven K. 1858. Excursions *in the Abruzzi and Northern Provinces of Naples*. London: Richard Bentley.

De Leonardis M., Venditti G. 2018. *La storia di Isernia del Garrucci. Illustrata da Cesare De Leonardis*. Isernia: Volturnia Edizioni.

De Benedittis G., Cozzolino M. 2021. Aesernia l'urbanistica della colonia latina. Considerazioni di storia ed archeologia. Quaderni, IX. 38-41

Fatica A., Mancini M. 2007. Gli acquedotti ipogei romani della IV regio Samnium (Molise). Opera Ipogea, 121-124.

Giancola F. 2019. *Ricostruzione di un tratto delle mura urbiche di via Occidentale*. Relazione Archeologica - Progetto esecutivo. Isernia: Settore Tecnico del Comune di Isernia.

Inno L. 2021. Isernia. criptoportico di epoca romana. Considerazioni di storia ed archeologia, 107-110.

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

La Regina A. 1971. Contributo dell'archeologia alla storia sociale. Territori sabellici e sannitici. Dialoghi di Archeologia, 443-459.

La Regina A. 1968. Il tempio della colonia latina di Aesernia. In: *La cattedrale di Isernia nella storia e nell'arte. In occasione della riapertura al culto dopo i restauri*, 27-32. Napoli: L'Arte Tipografica

Masciotta G. 1952. *Il Molise dalle origini ai nostri giorni: Il circondario d'Isernia*. Cava dei Tirreni: Arti grafiche ditta E. Di Mauro

Matteini Chiari M. 1999. L'acquedotto, Aesernia, Il territorio e la città. Molise Repertorio delle iscrizioni latine, V1, 64-88.

Milano D. 2018. *Storia della città antica di Isernia*. Isernia: Cosmo Iannone Editore.

Ramunno G. 2001. L’acquedotto di San Martino. In: *Isernia* (a cura di D. Catalano, N. Paone, C. Terzani), 265-289. Isernia: Cosmo Iannone Editore.

Sanchez G. 1833. *La Campania Sotterranea e brevi notizie degli edifici scavati entro roccia nelle Due Sicilie ed in altre regioni*. Napoli: Tipografia Trani.

Santillo D. 2018. Il ponte ferroviario S. Spirito lungo la linea Vairano–Isernia: il contesto storico-geografico e le tecniche costruttive. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on History of Engineering - Atti del 7° Convegno Nazionale* (a cura di S. D’Agostino e F.R. d’Ambrosio Alfano), II, 939-950. Napoli: Cuzzolin Editore.

Strafforello G. 1890. *La Patria Geografia Dell’italia.* Torino: UTET.

Terzani C. 1998. Relazione storico artistica. In: *Decreto Ministeriale del 12 febbraio1998. Ministero dei Beni Culturali e Ambientali. Roma.*

Terzani C. 2001. La città nel tempo. In: *Isernia* (a cura di D. Catalano, N. Paone, C. Terzani). Isernia: Cosmo Iannone Editore.

Valente F. 1982. *Isernia. Origine e crescita di una città*. Campobasso: Editore Enne.

Zullo E. 2010. L’area archeologica di Piazza Mercato ad Isernia. Archeo Molise, 2(5), 16-22.

Note

[1] La Sorgente San Martino, con una portata media annua che si attesta, ai giorni d’oggi, a circa 200 l/s, è ubicata alla base delle alture carbonatiche di Miranda-Pesche, afferenti all’unità idrogeologica di Monte Totila (CASMEZ, 1983).

Andrea Di Meo, Federico Capriuoli, Antonella Minelli

Ingegneria al servizio dell'archeologia: il progetto CAST applicato alle grotte di Pertosa-Auletta

Engineering at the service of archaeology: the CAST project applied to the Pertosa-Auletta caves

Sommario
Il Progetto CAST (Le Grotte attraverso l'Archeologia, la Scienza e la Tecnologia) nasce con l'obiettivo di promuovere un modello di ricerca e divulgazione scientifica che si avvalga di tecnologie innovative, consentendo l'ottimizzazione dei sistemi di raccolta e gestione delle informazioni in campo archeologico, soprattutto in contesti, come le grotte, spesso di difficile accesso e con limitata fruizione di elementi storico-archeologici rilevanti.

Abstract
The CAST Project (Caves through Archeology, Science and Technology) was created with the aim of promoting a research model and scientific dissemination that makes use of innovative technologies, allowing for optimization of information collection and management systems in the archaeological field, especially in contexts, such as caves, often difficult to access, with limited use of relevant historical-archaeological elements.

Introduzione
Tra i contesti ipogei con deposito protostorico indagati in Italia meridionale, le Grotte dell'Angelo di Pertosa-Auletta sono sicuramente tra i più noti, particolari e studiati (Mieli e Trucco, 1999, p. 224). Situate verso il limite nord-est del massiccio dei Monti Alburni, le Grotte costituiscono uno dei tanti fenomeni sotterranei che ne contraddistinguono il territorio, come mostrato in Figura 1. Inserite nel sistema del Geoparco Cilento, Vallo di Diano e Alburni, in provincia di Salerno, presentano due unicità: sono le uniche grotte in Italia dove è possibile navigare un fiume sotterraneo, il Negro, e le sole in Europa a conservare i resti di un villaggio palafitticolo risalente al II millennio a.C.

Il sistema sotterraneo, di dimensioni e complessità notevoli è attraversato dal fiume Negro che sorge nella parte più profonda della grotta e fuoriesce dall'ingresso principale. La Figura 2 riporta la pianta generale delle Grotte.

Fig. 1 - Grotte di Pertosa-Auletta: inquadramento territoriale (elaborazione di A. Di Meo).

Fig. 2 - Grotte di Pertosa-Auletta: pianta generale. In celeste le zone del torrente sotterraneo; in beige il percorso turistico; nel riquadro rosso l'area delle indagini archeologiche. Topografia a cura del Centro Regionale di Speleologia "Enzo dei Medici" (elaborazione dei dati a cura di F. Larocca, elaborazione grafica a cura di F. Breglia).

Dagli scavi condotti da Giovanni Patroni (Patroni, 1899) e da Paolo Carucci (Carucci, 1907) nel 1897, in periodi quasi sovrapposti, riemerse una complessa stratigrafia in cui erano inglobati i resti di almeno due palafitte sovrapposte che avevano la funzione di rendere accessibile e utilizzabile l'ambiente principale, in gran parte occupato dalle acque del fiume Negro; in Figura 3 è riportata una foto d'epoca. Le tecniche costruttive degli impalcati, hanno fatto ipotizzare l'esistenza di almeno due fasi costruttive, mentre la documentazione di scavo dell'epoca, contiene solo pochi accenni alla presenza di focolari, semi e farina carbonizzati.

La Grotta è stata anche un luogo di culto: il ritrovamento di due depositi, uno interno e uno esterno, che come vedremo compongono il nucleo centrale del lavoro di digitalizzazione, sembra indicare la funzione sacrale della grotta. Al primo, una stipe votiva rinvenuta negli anfratti lungo la parete rocciosa dell'antro, dietro l'attuale edicola dedicata a San Michele Arcangelo, e composta da oltre 300 vasetti miniaturistici, è stato associato un significato cultuale, in funzione di un culto legato all'acqua che doveva prevedere l'atto di attingere e versare (Trucco, 1991-92). Il secondo, la cosiddetta "stipe esterna", è stato rinvenuto su un piccolo sperone roccioso in prossimità dell'ingresso principale ed è composto da oggetti in bronzo, quali armi, utensili e ornamenti, e da ceramiche, maggiormente tazze e attingitoi; il materiale, che viene associato alle offerte votive destinate al corso d'acqua, è databile alla tarda età del Bronzo e alla fase ellenistico-romana (Laino, 2017), dimostrando che la Grotta fu ampiamente utilizzata nel tempo e con continuità, fino ad arrivare all'età medievale (Papaleo, 2017).

Lo studio dei materiali provenienti dagli scavi realizzati all'interno della grotta testimonia una frequentazione più intensa nel corso del Bronzo Medio 2, mentre al Bronzo Antico può essere riferito un piccolo nucleo di materiali, quali boccali, anfore e olle (Mieli e Trucco, 1999, p. 225). In generale, da un punto di vista cronologico, il deposito interno è datato al Bronzo Medio 3 e al Bronzo recente, mentre leggermente differente è la datazione proposta per la cosiddetta "stipe esterna" il materiale, che viene associato alle offerte votive destinate al corso d'acqua, è databile alla tarda età del Bronzo.

In ogni caso, la frequentazione antropica è documentata solo nell'atrio, la sala principale d'ingresso, che è lunga circa 100 m, larga tra 15 m e 20 m, con la volta alta 16 m.

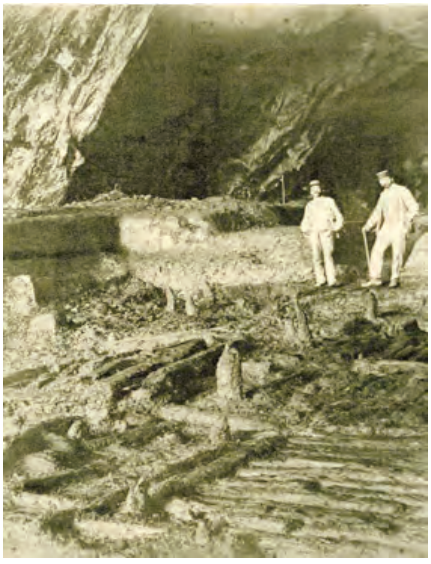


Fig. 3 - Grotte di Pertosa-Auletta: il livello palafitticolo individuato durante gli scavi di Patroni (Patroni, 1899).

Il giacimento archeologico

Come detto nell'Introduzione, gli scavi di fine '800 hanno permesso di scoprire che i gruppi umani che hanno frequentato le Grotte di Pertosa-Auletta vivevano su strutture palafitticole, risalenti al II millennio a.C. (Breglia e Fiorentino, 2017).

Giovanni Patroni iniziò a scavare nel 1898 nel settore iniziale della grotta, immediatamente a ridosso dell'ampio imbocco d'ingresso: la presenza del corso del fiume sul lato sinistro della banchina lo obbligò ad avviare lo scavo sulla sponda terrosa addossata alla parete destra. Venne alla luce una struttura lignea, simile a una palafitta dalla quale, una volta messa in evidenza, documentata fotograficamente e graficamente, furono prelevate alcune parti, trasportate successivamente al Museo Nazionale di Napoli. In Figura 4 sono mostrate le due trincee di scavo aperte nell'antegrotta nel 1898 e lo schema ricostruttivo della palafitta "superiore".

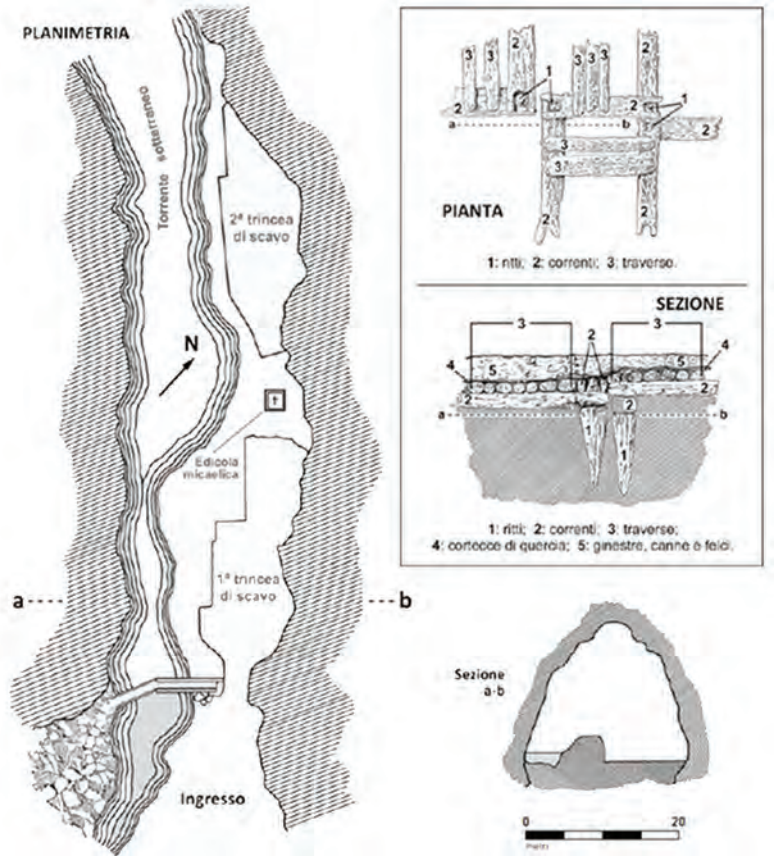


Fig. 4 - Grotte di Pertosa-Auletta: le due trincee di scavo aperte da G. Patroni nell'antegrotta, a sinistra, e schema ricostruttivo della palafitta "superiore" (Larocca, 2017, p. 20), *a destra*.

Fig. 5 - Grotte di Pertosa-Auletta: pali lignei della palafitta inferiore affioranti dal fondale del fiume a seguito dell'abbassamento del livello idrico per lavori di manutenzione della diga nel 2009 (foto di F. Larocca).

Le ricerche di Paolo Carucci (Larocca, 2017, p. 12) si concentrarono sul lato destro della sponda raggiungendo una profondità di 2,80 metri tranne in un punto, in cui si arrivò a 3 metri, dove fu ritrovata una seconda palafitta, definita "inferiore" per distinguerla dall'altra. Il ritrovamento della palafitta è un evento di eccezionale peculiarità proprio per la difficile conservazione che caratterizza spesso gli elementi lignei in acqua[1]; in questo caso la sua preservazione è dovuta a delle determinate condizioni climatico-ambientali, favorite dalla Grotta stessa (Breglia e Fiorentino, 2017, pp. 40-55). La stessa struttura della palafitta, divisa in inferiore e superiore sulla base delle fasi costruttive, documenta una ingegnosa capacità progettuale degli uomini dell'epoca.

Della struttura superiore non resta praticamente più nulla mentre, della palafitta inferiore, restano ancora delle parti visibili nell'alveo del torrente, si veda la Figura 5. La situazione generale dell'area attuale è ovviamente molto differente se rapportata alle prime ricerche di fine '800. Negli anni venti del '900, infatti, la realizzazione di una diga per lo sfruttamento idroelettrico del fiume Negro, in prossimità dell'ingresso della cavità, portò all'allagamento del giacimento; durante gli anni trenta venne realizzata una banchina d'imbarco per i turisti che andò a obliterare il deposito oggetto degli scavi ottocenteschi (Larocca, 2016).

Ancora oggi i resti archeologici, quindi, si trovano sommersi sott'acqua a una profondità che varia tra 2 e 4 metri. Le indagini più recenti, effettuate da ricercatori del Centro Regionale di Speleologia Enzo dei Medici guidati dal dott. Felice Larocca

(Larocca, 2017, pp. 14-27), sono datate al 2004, al 2009 e ancora al 2013, ovvero nei momenti in cui vennero aperte le paratie della diga per lavori di manutenzione.

Nel febbraio del 2004, gli speleo-archeologi, approfittando del livello basso delle acque dovuto ai lavori, perlustrarono il fondale nei primi 100 metri di cavità, verificando la presenza di pali ancora infissi nell'alveo del fiume che, messi a confronto con la documentazione storica degli scavi di fine Ottocento, vennero identificati con le palificazioni individuate da Patroni e Carucci. Lo stesso gruppo di ricerca speleo-archeologica, nel 2009, si adoperò in un intervento di documentazione grafica e fotografica per la realizzazione di una planimetria precisa del fondale, in Figura 6, in modo da posizionare e censire tutti i pali che affioravano dalle acque e dai depositi fangosi.

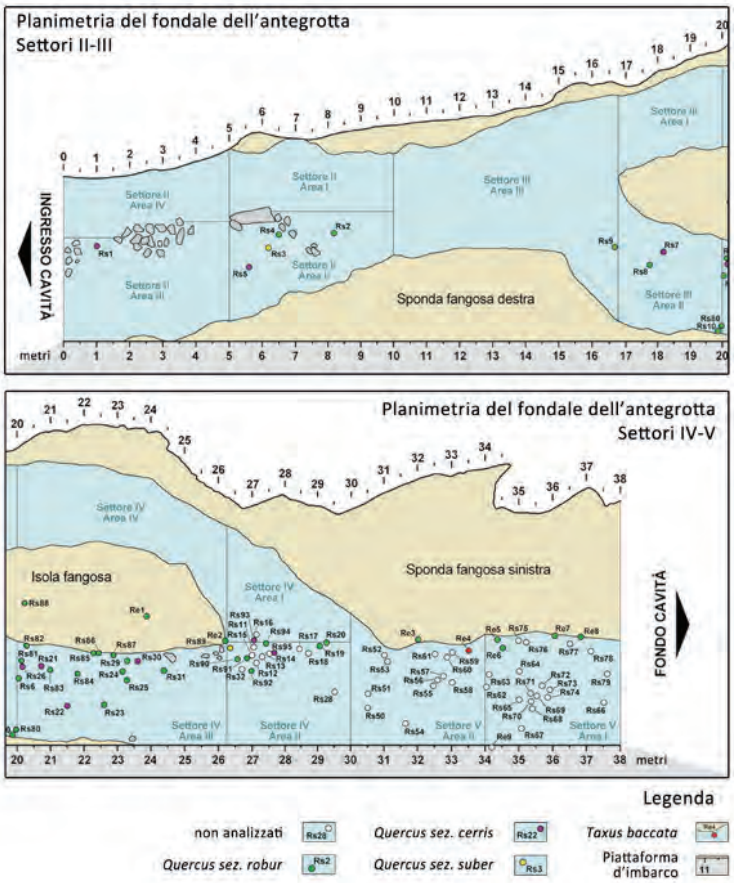


Fig. 6 - Grotte di Pertosa-Auletta: planimetria del fondale dell'antegrotta con collocazione dei pali analizzati e relative essenze vegetali; rilievo topografico di F. Larocca, integrazioni di F. Breglia (Breglia e Fiorentino, 2017, p. 55).

Il progetto CAST (Caves through Archaeology, Science and Technology)

Nel 2019 grazie a un accordo di partenariato tra Università degli Studi del Molise e Fondazione MIdA, l'ente gestore delle Grotte di Pertosa [1], è stato dato il via al progetto CAST. L'intento principale di CAST è stato quello di promuovere un modello di ricerca e di divulgazione scientifica delle Grotte dell'Angelo di Pertosa-Auletta che si avvalesse di tecnologie innovative finalizzate a ottimizzare i sistemi di raccolta e gestione delle informazioni in ambito archeologico. In un ambito più strettamente archeologico, gli obiettivi generali erano il censimento, la schedatura, il rilievo 3D e la realizzazione di software di gestione dei reperti archeologici rinvenuti durante le campagne di scavo ottocentesche, con l'intento di riunirli in un'unica sede virtuale.

Successivamente, è stato realizzato il rilievo 3D integrato tra laser scanner e fotogrammetria dell'intero percorso turistico lungo circa 3 km che, oltre a documentare topograficamente le Grotte, è servito come base per la realizzazione di una piattaforma multimediale, pensata per la visita virtuale da remoto.

Le operazioni di digitalizzazione

Lo scopo del processo di digitalizzazione è stata la creazione di un gemello digitale delle Grotte, in modo da poter sviluppare piattaforme multimediali e esperienze di realtà virtuale immersiva. Nello specifico, grazie al rilievo dell'atrio, si è voluto ricostruire virtualmente l'ambiente palafitticolo: sulla base dei rilievi effettuati durante gli svuotamenti programmatici dell'invaso, utili a documentare la persistenza dei pali ancora presenti nel fondale e la loro posizione, è stata realizzata la ricostruzione virtuale della palafitta così come dove apparire all'epoca della frequentazione antropica. L'articolato contesto nel quale si sviluppano le grotte però, ha reso complicate le operazioni di digitalizzazione a causa degli ampi spazi scarsamente illuminati e della difficoltà di messa in stazione della strumentazione statica, soprattutto nella parte terminale della grotta, dove c'è il fiume.

Per ricreare l'ambiente palafitticolo e inserirlo nel contesto attuale anche con la possibilità successiva di ipotizzare stati di illuminazione degli ambienti[2] è stato necessario un rilievo 3D integrato: laser scanner e tecnica fotogrammetria per la parte interna, GPS e aerofotogrammetria da UAV per la parte esterna; il tutto supportato da operazioni topografiche d'appoggio con materializzazione di target mobili e fissi. In Figura 7 è mostrata una fase dell'acquisizione integrata.

Il rilievo laser scanner

Le operazioni di rilievo tramite laser scanner terrestre sono state effettuate lungo tutta la superficie interna della grotta. Per supportare l'acquisizione del dato RGB, il rilievo, in Figura 8, è stato realizzato a valle dell'allestimento di un set illuminotecnico non invasivo, con led a luce fredda disposti lungo il percorso e nascosti allo strumento.

Fig. 7 - Grotte di Pertosa-Auletta: fase dell'acquisizione integrata fotogrammetria-laser scanner.

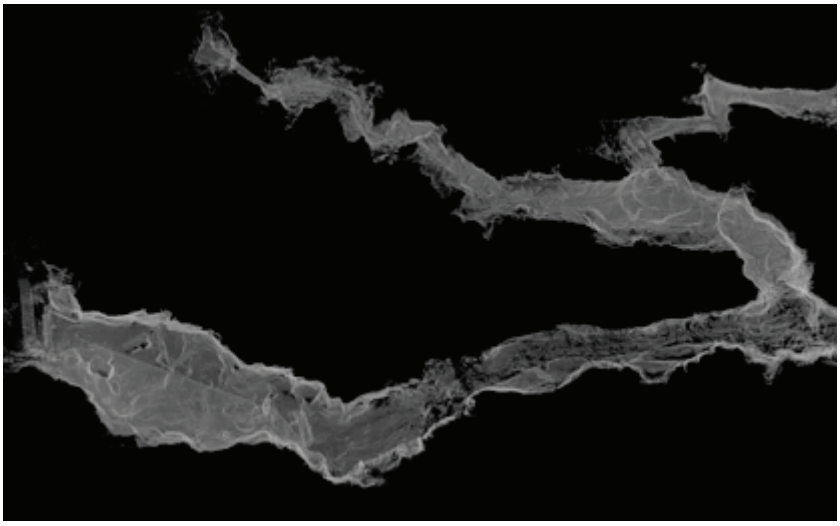


Fig. 8 - Grotte di Pertosa-Auletta: dettaglio del rilievo laser scanner terrestre, atrio e parte del ramo turistico.

Per le zone attraversate dal fiume la scansione è stata fatta direttamente dalla barca, ancorata al banco roccioso, o utilizzando le parti di roccia affioranti per mettere in stazione lo strumento e garantire massima visibilità.

Il rilievo fotogrammetrico

Dal rilievo laser scanner terrestre si è in grado di estrarre informazioni sul colore attraverso una camera integrata all'interno dello strumento. Per aumentare notevolmente il livello qualitativo dell'acquisizione e successivamente dei vari prodotti di output, il rilievo laser scanner è stato integrato con un rilievo fotogrammetrico ad altissima risoluzione, in Figura 9, scegliendo le porzioni di grotta interessate dalle ricostruzioni 3D.

Per poter ottenere un modello valido ai fini dello sviluppo in *engine* grafici, si sono svolte varie operazioni di alleggerimento, dette di *retopology* (Tioukov, 2023). A valle di questi processi si è quindi ottenuto un modello leggero, gestibile, con proprietà metriche e ad altissima qualità grafica.

La ricostruzione dell'ambiente palafitticolo

Per ricostruire l'ambiente palafitticolo si è fatto uso del rilievo topografico puntuale dei ritti lignei di cui si è detto. Tale rilievo, messo in chiave con l'acquisizione 3D su descritta, ha permesso di ubicare le tracce archeologiche nel modello 3D. Da questo, realizzando una modellazione rigorosa dal punto di vista metrico, si è proceduto a ricreare la palafitta con le dimensioni rilevate, come riportato in Figura 10. Il

Fig. 9 - Grotte di Pertosa-Auletta: modello 3D derivante dal rilievo laser scanner con texturizzazione dal rilievo fotogrammetrico ad alta risoluzione.

Fig. 10 - Grotte di Pertosa-Auletta: ricostruzione dell'ambiente palafitticolo.

Fig. 11 - Grotte di Pertosa-Auletta: dettaglio degli incastri degli elementi lignei.

risultato mostra una situazione verosimile dell'ingombro del sistema palafitticolo antico e inoltre ricostruisce gli incastri, in Figura 11, tra elementi orizzontali e verticali secondo le indicazioni archeologiche. Ottenuto il modello è ora possibile esplorare l'ambiente delle grotte come apparivano in antico, dando la possibilità agli utenti di capire il contesto di utilizzo degli ambienti.

Conclusioni

Il metodo di rilievo integrato ha permesso di creare un modello 3D leggero delle Grotte di Pertosa-Auletta, fruibile in realtà virtuale e on line, che però conserva tutte le proprietà metriche e materiche necessarie affinché sia preservata la precisione del metodo di acquisizione ma anche la rappresentazione visiva degli ambienti.

Lavorare con un modello 3D accurato ha inoltre permesso di dimensionare in maniera verosimile la struttura a palafitte, di cui sono note alcune tracce affioranti, rilevate negli anni passati.

Tutta l'operazione si è conclusa con la creazione di un applicativo di visita virtuale immersiva che consente agli utenti, sul posto, di capire come si presentava l'ambiente in antico.

Il rilievo integrato utilizzato per il rilievo delle Grotte di Pertosa-Auletta ha permesso di crearne un modello 3D leggero, fruibile in VR e on line, che conserva tutte le proprietà metriche e materiche necessarie affinché sia preservata la precisione del metodo di acquisizione ma anche la rappresentazione visiva degli ambienti.

Lavorare con un modello 3D accurato ha inoltre permesso di dimensionare in maniera verosimile la struttura a palafitte, di cui sono note alcune tracce affioranti, rilevate negli anni passati.

Tutta l'operazione si è conclusa con la creazione di un applicativo di visita virtuale immersiva che consente agli utenti, sul posto, di capire come si presentava l'ambiente in antico. L'applicativo è messo a disposizione degli utenti tramite dei visori Oculus quest e dei monitor touch screen, posti nell'antro della grotta e nel museo Speleoarcheologico di Pertosa.

Bibliografia

Breglia F., Fiorentino G. 2017. La palafitta protostorica. Indagini Archeobotaniche. In: *Atti del Convegno Tra pietra e acqua, archeologia delle grotte di Pertosa- Auletta: studi e ricerche 2004-2016* (a cura di F. Larocca), Pertosa, 21-22 ottobre 2016, 41-55. Pertosa: Fondazione MIdA.

Carucci P. 1907. *La grotta preistorica di Pertosa (Salerno). Contribuzione alla Paletnologia, Speleologia ed Idrografia*. Napoli: Stabilimento tipo-stereotipo F. Di Gennaro & A. Morano.

Laino A. 2017. Testimonianze di età ellenistico-romana dalle vecchie e nuove collezioni. In: *Atti del Convegno Tra pietra e acqua, archeologia delle grotte di Pertosa- Auletta: studi e ricerche 2004-2016* (a cura di F. Larocca), Pertosa, 21-22 ottobre 2016, 136-153. Pertosa: Fondazione MIdA.

Larocca F. 2016. La Grotta di Pertosa in Campania e gli scavi ottocenteschi di G. Patroni e P. Carucci. Revisione di vecchi dati archeologici alla luce di moderne ricerche. In: *Digging Up Excavations. Processi di ricontestualizzazione di "vecchi" scavi archeologici: esperienze, problemi, prospettive* (a cura di P. Rondini, L. Zamboni). 35-39. Roma: Quasar.

Larocca F. 2017. Le esplorazioni archeologiche dall'ottocento ai giorni nostri. In: *Atti del Convegno Tra pietra e acqua, archeologia delle grotte di Pertosa- Auletta: studi e ri-*

cerche 2004-2016 (a cura di F. Larocca), Pertosa, 21-22 ottobre 2016. 10-27 Pertosa: Fondazione MIdA.

Mieli G., Trucco L. 1999. La problematica dei depositi in grotta dell'età del Bronzo dell'Italia meridionale. In: *Atti del Convegno Acque, Grotte e Dei. Culti in grotta e delle acque dall'eneolitico all'età ellenistica*, Imola 11-12 gennaio 1997, 7, 223-234.

Papaleo F. 2017. La frequentazione della cavita in età medievale. In: *Atti del Convegno Tra pietra e acqua, archeologia delle grotte di Pertosa- Auletta: studi e ricerche 2004-2016* (a cura di F. Larocca), Pertosa, 21-22 ottobre 2016, 154-167. Pertosa: Fondazione MIdA.

Patroni G. 1899. Caverna con avanzi preistorici in provincia di Salerno. Monumenti Antichi della Reale Accademia dei Lincei, IX, 545-616.

Tioukov V., Morishima K., Leggieri C., Capriuoli, F., *et al*. 2023. Hidden chamber discovery in the underground Hellenistic necropolis of Neapolis by muography. Scientific Reports, 13, 5438.

Trucco F. 1991-92. Revisione dei materiali di grotta Pertosa. Rassegna di Archeologia, 10, 19911-92 Congresso L'età del Bronzo in Italia nei secoli dal XVI al XIV a.C., 471-479.

Sitografia

[1] https://fondazionemida.com/

Note

[1] La conservazione del tessuto legnoso è avvenuta per imbibizione in condizioni di carenza dell'ossigeno disciolto nelle acque di fondo, con valori di concentrazione compresi tra 0 e 1,0 mg/l. Tali condizioni sono determinate dall'azione congiunta delle acque del torrente e dei sedimenti da esso trasportati e depositati.

[2] Effettuando ad esempio simulazioni sul movimento solare ed analizzare il conseguente stato di illuminazione dell'atrio e dell'ambiente palafitticolo. È poi possibile effettuare test sull'illuminazione tramite torce o focolari, ma sarebbe un'ipotesi poco rigorosa dal punto di vista scientifico, non avendo trovato tracce in questo senso.

Andrea Migliosi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Chiara Mommi

La fabbrica della Perugina a Fontivegge: ricostruzione di un luogo identitario della storia

The Perugina factory in Fontivegge: reconstruction of a historical identity place

Sommario

Questo contributo fa riferimento a uno studio filologico dell'area di Fontivegge a Perugia[1], la cui storia è profondamente legata allo sviluppo dello stabilimento di una delle imprese che ha reso l'Italia famosa nel mondo, la "Perugina". L'obiettivo è quello di recuperare la memoria di un luogo ormai perduto e renderlo nuovamente fruibile. Dopo essere stato demolito e sostituito dal nuovo Centro direzionale su progetto dell'architetto Aldo Rossi, quel luogo che per la città era diventato un polo nevralgico è gradualmente scomparso dalla memoria collettiva, lasciando come tracce soltanto una ciminiera e alcune fonti documentali racchiuse in archivi privati che risultano difficilmente consultabili. Interpolando i dati ottenuti dall'accurata analisi di tavole, disegni, fotografie storiche e testi, è stato possibile comprendere a pieno lo sviluppo dello stabilimento nel corso dei decenni, ricostruendone l'evoluzione anche in relazione alla storia nazionale e alle vicende delle famiglie Buitoni e Spagnoli. Le tavole tecniche e gli eventi storici diventano infatti la base per comprendere la trasformazione dell'intera città, che inizia progressivamente a gravitare attorno a un nuovo polo attrattivo capace di influire fortemente sulle successive espansioni urbane. Grazie a questo recupero della memoria dello stabilimento è possibile riscoprire il percorso di sviluppo e l'identità storica del luogo, andata persa negli anni, e apprezzarne l'elevata qualità architettonica e le sue peculiarità.

Abstract

This paper presents a philological study of the Fontivegge area in Perugia, whose history is profoundly linked to the development of the factory of one of the companies that made Italy famous throughout the world, "Perugina", with the aim of recovering the memory of a place that has now been lost and making it accessible again. After being demolished and replaced by architect Aldo Rossi's project, the place, that had become a nerve centre for the city, gradually disappeared from the collective memory, leaving as traces only a chimney and some documentary sources enclosed in private archives that are difficult to consult. By interpolating the data obtained from the care-

ful analysis of plates, drawings, historical photographs and texts, it has been possible to fully understand the development of the factory over the decades, reconstructing its evolution also in relation to national history and the vicissitudes of the Buitoni and Spagnoli families. In fact, the technical drawings and historical events become the basis for understanding the transformation of the entire city, which gradually began to gravitate around a new attractive pole capable of strongly influencing subsequent urban expansions. By recovering the memory of the factory, it is possible to rediscover its development path and historical identity, which was lost in the following years, and thus appreciate its high architectural quality and peculiarities.

Introduzione

Nell'ottica delle trasformazioni urbane ci sono diversi elementi chiave che segnano lo spazio e il territorio e tra questi un ruolo primario è ricoperto dagli spazi produttivi (Fusero, 2004). Questo fenomeno è ravvisabile anche nella città di Perugia, inizialmente sviluppatasi intorno al centro storico. Nel 1866 in località Fontivegge venne realizzata la nuova stazione, originariamente pensata come un nodo ferroviario di fondamentale importanza per tutto il territorio nazionale (Buttato e Covino, 1989). Si innescò così un fenomeno di espansione urbana indirizzata verso una zona periferica che tuttavia non si concretizzò realmente fino all'arrivo, nella stessa area, di forti realtà produttive. Fino a quel momento, infatti, l'area conservò un forte carattere agricolo che iniziò a mutare solo a partire dal 1914, quando l'insediamento della Società per la Fabbricazione dei confetti lungo il viale alberato di via Mario Angeloni permise un consistente salto quantitativo, contribuendo inoltre a rendere famosa la città in tutto il mondo (Ceserani e Covino, 1997; Masia, 2007). Grazie alla mentalità innovativa e avanguardista delle famiglie Buitoni e Spagnoli (Buitoni, 1972; Fioroni e Siciliano, 1979), l'azienda arrivò ad attestarsi sul territorio come una realtà ineguagliata, la cui importanza portò altre grandi aziende e imprese a stabilirsi nei terreni circostanti, alimentando sempre più quella trasformazione urbana che andò a costituire l'assetto attuale della città. Luisa Spagnoli e Giovanni Buitoni, nello specifico, dimostrarono di possedere una grande capacità manageriale che permetterà allo stabilimento di integrarsi perfettamente nel territorio e nella dimensione socioculturale della città. La scelta di porre l'attenzione anche sul benessere del lavoratore, in contrasto con la visione ottocentesca delle industrie come luoghi massacranti e disumani, portò a una ricercata caratterizzazione funzionale e distributiva del complesso, comprendente anche servizi come asilo e refettorio (Corvisieri, 2001). L'idea di base richiama la visione di città-fabbrica, modelli che negli stessi decenni trovarono piena concretizzazione in esempi come il caso lombardo del villaggio operaio di Crespi d'Adda (Gallo, 1989) e quello piemontese della città di Ivrea (Bodei, 2017), entrambi siti riconosciuti patrimonio dell'UNESCO, in cui la fabbrica assolveva la funzione di fulcro economico e sociale del territorio circostante. A differenza di questi esemplari casi di archeologia industriale, il grande ruolo identitario

ricoperto dallo stabilimento Perugina (Ricci, 2007) non bastò a garantirne la sopravvivenza e quando negli anni Sessanta si presentò l'estrema esigenza di spazi più grandi per riuscire a soddisfare l'ingente richiesta di prodotti, l'azienda si trasferì in una nuova struttura ben più lontana dal centro storico della città, lasciando un grande vuoto a Fontivegge. Il primo Piano Regolatore Generale della città di Perugia, approvato nel 1958 e redatto tra gli altri da Bruno Zevi, Giuseppe Grossi e Mario Coppa, pose San Sisto come luogo di attrazione per gli spazi produttivi (Comune di Perugia, 2011). Furono gli indirizzi del Piano che favorirono e indussero il trasferimento della fabbrica della Perugina proprio presso quest'area, condizione che si concretizzò nel 1961, determinando la reale nascita del quartiere di San Sisto (Cavallucci, 1990; Grohmann, 1981), fino ad allora composto da poche case addossate sulla Pievaiola, piccolo aggregato urbano che esplode a seguito della realizzazione del nuovo stabilimento industriale (Cavallucci, 1990). Per anni vennero vagliate diverse opzioni in merito all'area di Fontivegge, finalizzate a dare una risposta a quel senso di ignoto che investì lo stabilimento e che portarono dapprima all'indizione del "Concorso Internazionale Centro Direzionale Fontivegge – Bellocchio" nel 1970 (Perugia, Archivio Industrie Buitoni Perugina, Concorso Internazionale di Fontivegge, A11), vinto dal gruppo di progettazione giapponese guidato dall'architetto Tsuto Kimura, e poi alla realizzazione dell'attuale Palazzo Broletto su progetto dell'architetto Aldo Rossi (Rossi e Huet, 1984; Zuccherini, 2008). Sulla scia della ripresa economica degli anni Ottanta del secolo scorso, il vecchio stabilimento fu quindi demolito e rimpiazzato (Chiuini et al., 2001), generando una progressiva perdita di memoria di quel luogo che fece la storia della città. Lo scopo di questa ricerca è recuperarne il ricordo, rendendolo nuovamente accessibile e preservandone l'importanza in un'ottica di archeologia industriale (Gregotti, 2000).

Ricostruzione dell'evoluzione architettonica

Il complesso produttivo della Perugina a Fontivegge costituisce un caso studio articolato in molte trasformazioni. Tuttavia, il forte carattere del sito, prettamente votato alla produzione, spinse la direzione a non tenere traccia dei continui cambiamenti, incorrendo in una mancata preservazione della memoria storica. Le indagini svolte, grazie all'interpolazione dei dati raccolti da fonti bibliografiche, archivistiche, fotografiche e tecniche, e di cui qui si riportano i risultati, hanno permesso di ricostruire il percorso evolutivo dell'area, restituendo nuova vita all'itinerario identitario dell'azienda.

Lo stabilimento al 1915

Grazie alle fotografie contenute in (Ceserani e Covino, 1997) e nella Sezione fotografica dell'Archivio Industrie Buitoni Perugina, è stata ricreata la configurazione originale dello stabilimento. Il complesso era articolato in due volumi: una palazzina di tre piani, ospitante gli uffici, e un volume a un solo piano ma più esteso ospitante i locali produttivi, affiancato dalla ciminiera e dai vani tecnici necessari per

Fig. 1 - Lo stabilimento della Perugina: nel 1915 (Ceserani e Covino, 1997).

il corretto funzionamento dell'impianto, come mostrato in Figura 1. Il perimetro del complesso era delimitato da un muro di cinta, che individuava gli spazi di proprietà dell'azienda e permetteva l'accesso dall'antistante viale alberato di via Mario Angeloni. L'ingresso era sancito da un cancello che separava il suolo pubblico dall'ampio cortile che separava i due edifici, parzialmente coperto da una pensilina sorretta da mensole metalliche finemente disegnate e realizzate, primo riscontro dell'alto livello di attenzione progettuale che caratterizzava anche i due edifici. Le facciate della palazzina degli uffici, accomunate da un basamento in pietra in stile bugnato, erano scandite a ogni piano da una diversa cornice delle finestre e da marcapiani, con forti richiami all'architettura rinascimentale dei palazzi. Il locale produttivo, arretrato rispetto al fronte strada, era esternamente caratterizzato dalla scritta "Società Perugina per la fabbricazione di confetti, cioccolato, caramelle e affini" posta sul cornicione del prospetto parallelo a via Mario Angeloni, e da una copertura a *shed* tipica degli edifici industriali e necessaria per un maggior apporto di luce naturale negli ambienti interni. La distribuzione interna era già proiettata verso un principio di adattabilità, grazie alla pianta libera realizzata con una struttura di travature e pilastri in acciaio.

Lo stabilimento tra il 1915 e il 1921

Confrontando e interpolando le informazioni contenute nelle sezioni "Dir.e Gen.e Amm.e Del.o Perugina" e "Dir.e Prod. Tecnica, b.1, f.1-4", dell'Archivio Industrie Buitoni Perugina, è stato possibile recuperare il percorso storico dell'azienda anche durante il coinvolgimento nazionale nella Prima Guerra Mondiale. In quegli anni, la Perugina non solo riuscì a non chiudere i battenti, ma i profitti

Fig. 2 - Lo stabilimento della Perugina: la nuova palazzina del periodo tra il 1915 e il 1921, a sinistra, e il nuovo ingresso del 1921, a destra (Rossi, 1993).

aumentarono ulteriormente (Ceserani e Covino, 1997) grazie all'idea di spostare il focus produttivo sulla produzione di dolciumi a base di cacao, meno costosi rispetto ad altre tipologie. Di riflesso, lo stabilimento della società, che assunse il nome di "La Perugina – Cioccolato e Confetture" (Chiapparino e Covino, 2018), venne ampliato per adeguarsi alla crescita della domanda e venne così costruita una nuova palazzina articolata su due piani, in Figura 2, dedicata a cucina, spogliatoi, refettori e uffici. Esteticamente può essere riscontrata la stessa attenzione progettuale posta per i volumi originali, grazie al finto bugnato del basamento e a cornici modanate per le finestre che scandiscono i prospetti. La forte identità aziendale viene impressa sulla facciata principale della palazzina, ove era riportata la scritta "La Perugina". Al complesso vennero inoltre aggiunti nuovi capannoni, adibiti prevalentemente a magazzino per lo stoccaggio di materiale scanditi da capriate miste in legno e acciaio che scaricavano il peso su pilastri laterali. Grazie all'introduzione di lucernai, era garantita una buona illuminazione naturale degli spazi interni.

Lo stabilimento nel 1921

Il grande aumento a livello nazionale del consumo di cioccolato, favorito dal ribassamento del costo del cacao, portò a un importante utile che venne investito per un piano di ammodernamento dei fabbricati e degli impianti (Ceserani e Covino, 1997), che portò anche a sostanziali modifiche di alcune strutture, riscontrate in documenti contenuti nelle sezioni "Dir.e Gen.e Amm.e Del.o Perugina", "Dir.e Prod. Tecnica, b.1, f.2" e nella "Sezione fotografica" dell'Archivio Industrie Buitoni Perugina, oltre che nel "Fondo Archivistico Giampaolo Gallo, b.64, f.353" dell'Istituto per l'Umbria

Contemporanea. Il locale produttivo venne esteso fino a raggiungere il fronte strada con un volume a due piani dedicato al reparto Bomboniere di lusso, con copertura a falde, i cui prospetti erano scanditi da grandi finestrature. Seguendo il sempre maggior successo dell'azienda, si optò per rendere l'accesso al complesso più monumentale, andando a creare un portale impostato su colonne, con architrave modanato riportante il nome dell'azienda, in Figura 2. Su questo varco di ingresso si reggeva una passerella sospesa, di collegamento tra le due palazzine a uso uffici, caratterizzata da grandi aperture per l'affaccio sia su via Mario Angeloni che sul cortile interno.

Lo stabilimento nel 1923

Forte dei ricavi ottenuti nel 1922 anche grazie alla commercializzazione di uno dei prodotti di punta, il famoso "Bacio", dal punto di vista amministrativo l'azienda divenne ufficialmente una società indipendente, e acquisì il più famoso nome di "Perugina" (Gallo, 1990). Dal confronto delle fasi precedenti con alcune tavole rinvenute nella sezione "Dir.e Prod. Tecnica, b.1, f.3" dell'Archivio Industrie Buitoni Perugina si può appurare come, nonostante all'apparenza non vi fossero grandi cambiamenti alle strutture dell'impianto, nel 1923 lo stabilimento subì degli interventi mirati a ottenere maggiori spazi e locali tecnici, oltre a ricavare ambienti dedicati ai lavoratori: in questi anni presero infatti corpo iniziative di carattere sociale e assistenziale, che portarono la direzione aziendale a concentrarsi sulla qualità della vita nella fabbrica. Vennero infatti ricavati un asilo nido, l'infermeria per l'assistenza medica e un locale mensa più grande, grazie all'introduzione di nuovi setti e di una revisione generale della distribuzione degli ambienti.

Lo stabilimento nel 1926

Tra il 1923 e il 1926, nonostante il ridimensionamento della produzione di cioccolato a causa di un calo della domanda sul territorio nazionale anche dovuto alla concorrenza fatta dall'UNICA, o "Unione Nazionale Industria Cioccolato Affini", il fatturato annuo aumentò ulteriormente grazie alle massicce esportazioni all'estero e le entrate furono in gran parte investite per rimodernare lo stabilimento (Masia, 2007). Al termine del piano di trasformazione degli impianti e del metodo di lavoro portato avanti da Mario Spagnoli (Spagnoli, 1929), descritto in un libro contenuto nel "Fondo Archivistico Giampaolo Gallo, b.64, f.353" dell'Istituto per l'Umbria Contemporanea, il volume contenente i locali produttivi si presentava come ulteriormente ampliato, in una continuità sia funzionale che estetica: internamente scandito in due campate separate da pilastri analoghi a quelli del corpo originario, con i prospetti articolati in modo similare a quelli dei locali realizzati nel 1915, sormontati dalla stessa copertura a *shed*. La grande innovazione degli impianti (ASPISUC, 1997) fu tale che, nel 1927, la fabbrica della Perugina venne descritta come uno degli stabilimenti più meccanizzati d'Europa (Corvisieri, 2001).

Fig. 3 - Lo stabilimento della Perugina: i nuovi locali a uso magazzino generale, a sinistra, e i danni bellici del 1944, a destra (Perugia, Archivio Industrie Buitoni Perugina, Sez. Fotografica).

Lo stabilimento nel 1929

La documentazione ritrovata nelle sezioni "Dir.e Prod. Tecnica, b.35" e "Sezione fotografica" dell'Archivio Industrie Buitoni Perugina conferma che, sulla scia dell'ulteriore incremento di fatturato dovuto a un aumento delle esportazioni, l'occasione per poter espandere notevolmente la superficie dello stabilimento si presentò quando, nello stesso anno, la SIAMIC-Società Italiana Autoservizi Mediterranei in Concessione chiuse la propria attività a Perugia, lasciando liberi dei locali immediatamente adiacenti all'area occupata dalla Perugina: magazzini, depositi, garage. Di estrema rilevanza erano quei locali in cui la SIAMIC ospitava mezzi a motore, anche di grandi dimensioni, caratterizzati pertanto da uno spazio interno molto ampio e da soluzioni strutturali finalizzate a mantenere una pianta libera da ostacoli. L'impiego di un particolare tipo di capriata in legno e acciaio dotata di tre monaci e irrigidimenti trasversali tra una campata e l'altra, come mostrato in Figura 3, permetteva di sostenere la struttura per una larghezza di circa 20 m, senza l'ausilio di alcun pilastro se non dei due agli estremi, su cui veniva scaricato il peso della copertura. Grazie a queste caratteristiche, i locali furono utilizzati per molti anni dalla Perugina come magazzino generale (Istituto per l'Umbria Contemporanea, Fondo Archivistico Giampaolo Gallo, b.64, f.353).

Lo stabilimento nel 1945

Negli anni Trenta lo stabilimento non subì grandi modifiche a livello strutturale, anche a causa della Grande Depressione che portò l'azienda a non investire su processi di rinnovo e modernizzazione, e a convertire alcuni locali dedicandoli all'allevamento di conigli d'angora su cui si basò l'emergente casa di moda Luisa Spagnoli (Curli, 2005). Tuttavia, la situazione cambiò drasticamente quando, il 17 Giugno 1944, una squadra di guastatori tedeschi in fuga da Perugia sequestrò e danneggiò gravemente i locali della Perugina (Masia, 2007), come mostrato in Figura 3. L'amministrazione valutò

Fig. 4 - Lo stabilimento della Perugina: il nuovo ampliamento del 1945 (Perugia, Archivio Buitoni Perugina, Sezione Fotografica).

diverse ipotesi, tra cui quella di un completo trasferimento con abbandono dei locali danneggiati (Ceserani e Covino, 1997). Stimando però un costo troppo alto dei lavori di costruzione, si decise di restaurare lo stabilimento di Fontivegge, ripristinando le strutture esistenti così da tornare presto a una totale operatività. Nel 1945 la Perugina tornò a produrre a pieno regime, tanto da richiedere la realizzazione di una nuova struttura, situata lungo via Mario Angeloni. Il nuovo edificio, mostrato in Figura 4 e articolato su due piani, era dedicato ai nuovi reparti di incarto e confezionamento al piano terra, e al settore vendite al primo piano, e dal punto di vista estetico presentava una forte differenza dalle strutture originarie, con prospetti più in linea con ideali razionalisti (Parisi, 2011), scanditi regolarmente da aperture squadrate e prive di modanature, e sormontati da una copertura piana con fascione riportante il nome aziendale. In piena coerenza con l'estetica, anche la parte strutturale privilegiava la sistematicità, con un sistema travi-pilastri in calcestruzzo di cemento armato a campate regolari.

Lo stabilimento nel 1956

A metà degli anni Cinquanta, lo stabilimento si presentava nella sua configurazione finale, mostrata in Figura 5, ben rappresentata in tavole conservate dal "Servizio Valorizzazione risorse culturali, Musei, Archivi e Biblioteche" della Regione Umbria e presso la sezione Dir.e Gen.e Amm.e Del.o Perugina dell'Archivio Industrie Buitoni Perugina. L'intervento più significativo fu un ulteriore ampliamento con un volume di grandi dimensioni realizzato nel 1953, che andò a riempire lo spazio vuoto rimasto a Nord dei locali produttivi, completando così i reparti adibiti a fabbrica. Come confermato dalle schede tecniche contenute presso gli Uffici della Regione, questo edificio ex novo venne realizzato con struttura portante in calcestruzzo di cemento armato, e

Fig. 5 - Lo stabilimento nel 1956 (Perugia, Archivio Buitoni Perugina, Sezione Fotografica).

ospitava ampi spazi al piano terra dedicati alla produzione di dolciumi, e spazi per uffici e per un nuovo archivio ai piani superiori. Per garantire un corretto apporto di illuminazione naturale al piano terra, oltre all'introduzione di lucernai in copertura, al primo piano vennero inserite delle corti interne non accessibili. La struttura emergeva rispetto agli edifici vicini, in quanto presentava dei prospetti molto diversi da quelli del resto dello stabilimento: la scansione verticale era preponderante, sottolineata dai tagli verticali nella muratura al cui interno trovavano posto finestre di forma rettangolare e allungata, e la particolare copertura a volte che caratterizzava il prospetto su via Cortonese contribuiva ad accrescere la riconoscibilità. Nel 1956, infine, per cercare di sopperire alla mancanza di spazi, vennero acquistati i locali antistanti la stazione e di proprietà della famiglia Pezzolet, che furono utilizzati in parte come uffici e in parte come magazzini, andando così a completare l'assetto finale dello storico stabilimento.

Conclusioni

Nonostante i tentativi della direzione volti all'espansione e all'adeguamento della fabbrica di Fontivegge, la costante crescita della fama e della produzione costrinsero la società a perseguire altre opzioni. La soluzione individuata fu quella di un trasferimento dell'intera azienda, con conseguente abbandono dell'area di Fontivegge, che avvenne a partire dal 1964. Nel 1983 lo stabilimento fu demolito, in favore della realizzazione del progetto dell'architetto Aldo Rossi, che conservava della Perugina soltanto la ciminiera, elevata a unico elemento simbolico rimasto a ricordo di quello spazio scomparso. Nonostante questa intenzione progettuale, tuttavia, la percezione di quel luogo e dell'alta qualità architettonica che lo contraddistingueva è progressivamente scomparsa.

Fig. 6 - Ricostruzione virtuale dello stabilimento.

Tra le cause della progressiva perdita della memoria dello stabilimento, insieme a quelle progettuali e alle decisioni aziendali, è da annoverare la scarsa accessibilità alla documentazione esistente, dovuta alla quasi totale assenza di copie o scansioni digitali di disegni, tavole ed elaborati tecnici, a oggi conservati in maniera non sistematica, atemporale e frammentaria in diversi archivi della città. Questa condizione ha posto la necessità di interpolare i dati ricavati dall'indagine archivistica con fonti storiche e bibliografiche che hanno permesso una ricostruzione temporale dell'area e delle sue diverse configurazioni, comprendendone allo stesso tempo le ragioni economiche e socioculturali che ne stavano alla base. Lo studio ha infatti permesso di osservare le qualità di quel luogo, aiutando a comprendere che, a oggi, la scomparsa dello stabilimento si attesta come un'occasione persa, che avrebbe potuto portare alla progettazione di un ambiente urbano fortemente identitario, vissuto dai cittadini e caratterizzato da un alto valore estetico e storico. Si pensi ai numerosi interventi di riqualificazione di siti abbandonati, come i progetti del Lingotto a Torino (Papa, 2013) o dell'Hangar Bicocca a Milano (Winkler, 2012), in cui edifici dismessi sono stati trasformati in nuove centralità, attestandosi come punti identitari per l'intera città. Questa mancata occasione è da attribuire anche all'assenza di valore nella storiografia, evidenziata dalla frammentazione delle informazioni in poche e differenti fonti bibliografiche e archivistiche, oltre che da scelte amministrative e direzionali in contrasto con le stesse ideologie dell'epoca. A partire dagli anni Sessanta del XX secolo, infatti, si sviluppò il filone dell'archeologia industriale (Zagari, 1980), che si diffuse quasi in contemporanea alla demolizione della Perugina. La ricerca descritta si afferma pertanto come un'indagine multidisciplinare atta al recupero e alla conservazione della memoria e dell'identità di un luogo ormai scomparso, e la rappresentazione digitale si consolida come strumento per rendere queste ultime

nuovamente accessibili (Bianconi *et al*., 2022). La scelta è ricaduta sull'elaborazione di un modello virtuale dell'intero stabile, con l'obiettivo di andare oltre la semplice rappresentazione della forma architettonica, permettendo anche l'organizzazione dei dati disponibili all'interno di un territorio esplorabile. Questa scelta consente di attribuire al modello tridimensionale l'ulteriore funzione di interfaccia cognitiva, che, grazie a un'esperienza interattiva, permette di esplorare e osservare l'evoluzione di un luogo ormai scomparso e dimenticato e di far conoscere nuovamente quella mentalità avanguardista e utopica che portò le famiglie a essere considerate come precorritrici, in campo industriale, di quel metodo scientifico-gestionale che oggi prende il nome di "qualità totale" (Galgano, 2017).

Risorse archivistiche

Archivio Industrie Buitoni Perugina, *Dir.e Gen.e Amm.e Del.o Perugina, Dir.e Prod. Tecnica, b.1, f.1-4.*
Archivio Industrie Buitoni Perugina, *Dir.e Gen.e Amm.e Del.o Perugina, Dir.e Prod. Tecnica, b.1, f.2.*
Archivio Industrie Buitoni Perugina, *Dir.e Prod. Tecnica, b.1, f.3.*
Archivio Industrie Buitoni Perugina, *Dir.e Prod. Tecnica, b.35.*
Archivio Industrie Buitoni Perugina, *Sezione fotografica*.
Istituto per l'Umbria Contemporanea, *Fondo Archivistico Giampaolo Gallo, b.64, f.353.*

Bibliografia

ASPISUC. 1997. Sulle orme del cambiamento: tra storia e memoria. Un itinerario nell'industrializzazione a Perugia e nel suo territorio. Archivio di Stato di Perugia e Istituto per la storia dell'Umbria contemporanea. Assisi: Minerva.
Bianconi F., Filippucci M., Mommi C. 2022. The Seduction of the Simulation. 3D Modelling and Storytelling of Unrealized Perugia Rail Station. In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 43 (B2-2022).
Bodei S. 2017. Ivrea un grande patrimonio industriale tra tutela e valorizzazione. Domus, 26, 18-23.
Buitoni G. 1972. *Buitoni. Storia di un imprenditore*. Milano: Longanesi & C.
Buttaro P.M., Covino R. 1989. Le ferrovie in Umbria: realizzazioni e progetti. In: *La città di Foligno e gli insediamenti ferroviari*. 14-36. Città di Castello: Electa/Editori Umbri Associati.
Cavallucci F. 1990. *San Sisto. Da territorio a quartiere*. Perugia: Protagon.
Ceserani G. P., Covino R. 1997. Perugina: una storia d'azienda, ingegno e passione. Milano: Silvana.
Chiapparino F., Covino R. 2018. *La fabbrica di Perugia. Perugina 1907-2007*. Città di Castello: Nuova Prhomos.
Chiuini G., Mancini F.F., Stopponi S. 2001. *Perugia* (a cura di M. Montella). Milano: Mondadori Electa.
Comune di Perugia. 2011. Piano Regolatore Generale. Relazione. Perugia.
Corvisieri V. 2001. *Una famiglia di imprenditori del novecento. Gli Spagnoli da Assisi a Perugia (1900-1970)*. Perugia: Ali&No.

Curli B. (a cura di). 2005. Dalla Perugina all'angora: Luisa Spagnoli. In: *Donne Imprenditrici nella storia dell'Umbria. Ipotesi e percorsi di ricerca*. 198207. Milano: Franco Angeli.
Fioroni G., Siciliano E. (a cura di). 1979. *Luisa Spagnoli. Scritti e testimonianze*. Edizione a cira dell'autore.
Fusero P. 2004. Escape. *Valorizzazione del patrimonio ambientale e paesaggistico*. Pescara: Sala Editori.
Galgano A. 2017. *Qualità totale. Il metodo scientifico nella gestione aziendale*. Milano: goWare & Guerini Next.
Gallo G. 1989. Tipologia dell'industria ed esperienze d'impresa in una regione agricola. In: *Storia d'Italia. Le regioni dall'Unità a oggi: L'Umbria* (a cura di G. Gallo, R. Covino). Torino: Einaudi.
Gallo G. 1990. *Sulla bocca di tutti: Buitoni e Perugina. Una storia in Breve*. Perugia: Electa - Editori Umbri Associati.
Gregotti V. 2000. *Diciassette lettere sull'architettura*. Bari: Laterza.
Grohmann A. 1981. *Città e territorio tra Medioevo ed età moderna*. II. Perugia: Volumnia.
Masia L. 2007. *Buitoni: la famiglia, gli uomini, le imprese*. Milano: Silvana Editoriale.
Mommi C., Bianconi F., Filippucci M., Migliosi A. 2024. Il progetto ottocentesco della Stazione di Perugia.-Fontivegge e sua ricostruzione virtuale In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.
Papa S. 2013. *La storia e le trasformazioni di un edificio. Il Lingotto a Torino*. Macerata: Edizioni SIMPLE.
Parisi R. 2011. *Fabbriche d'Italia. L'architettura industriale dall'Unità alla fine del secolo breve*. Milano: Franco Angeli.
Ricci F. (a cura di). 2007. *La Perugina è storia nostra: i lavoratori raccontano i cento anni di storia della fabbrica*. Roma: Ediesse.
Rossi A., Huet B. 1984. *Tre città: Perugia, Milano, Mantova*. Milano: Electa.
Rossi R. 1993. *Storia illustrata delle città dell'Umbria*. Milano: Elio Sellino.
Spagnoli M. 1929. *L'organizzazione scientifica del lavoro nella grande industria alimentare*. s.l.: Enios.
Winkler G. 2012. *Come nasce un'istituzione. Il caso Hangar Bicocca*. Torino: Allemandi.
Zagari F. (a cura di). 1980. *Archeologia Industriale - quattro temi*. s.l.: Casa del libro.
Zuccherini R. 2008. *Fabbriche in città. Percorsi di archeologia industriale a Perugia*. Perugia: Era nuova.

Note

[1] L'analisi presentata nel contributo è frutto di un lavoro di ricerca condotto in parallelo al Piano Periferie e alla riqualificazione del quartiere di Fontivegge a Perugia che analizza l'evoluzione storica dell'ampia area interessata da vari progetti di risanamento. Dopo la realizzazione della stazione ferroviaria nel XIX secolo, quest'area perse progressivamente il suo carattere agricolo e acquisì una grande importanza, soprattutto a partire dal secolo successivo, con l'insediamento nelle vicinanze della Perugina e di altre grandi realtà industriali. Alla stessa ricerca fa riferimento (Mommi *et al.*, 2024).

Alessandra Bellicoso

La Casa della Giovane Italiana a L'Aquila

The Italian Youth House in L'Aquila

Sommario
È nel periodo di attività aquilana di Pintonello, riconducibile a quel complesso di proposte e interventi urbanistici ed edilizi promossi dalla volontà politica dell'amministrazione locale di conferire alla città una immagine rappresentativa delle capacità di governo e realizzative del regime, che si colloca il progetto per la Casa della Giovane Italiana. La Casa, unitamente alla contigua e coeva Chiesa di Cristo Re e al Piazzale Belvedere fra esse interposto, doveva risolvere il nodo urbano della terminazione del Viale di Collemaggio. La volontà progettuale di "perfetta funzionalità" e "modernissimo carattere di architettura" è dichiarata dallo stesso progettista: «La Casa avrà un'impronta spiccatamente razionale e sarà completata di tutti quei locali e conforti che abbisognano e caratterizzano tali edifici». Il presente contributo ha l'obiettivo di ricostruire un importante capitolo del Razionalismo aquilano, dal momento che solo nei primissimi anni '30 a L'Aquila vengono introdotti caratteri inediti che segnano un profondo rinnovamento della costruzione e dell'architettura in ambito locale.

Abstract
The project for the Casa della Giovane Italiana developed in the period in which the engineer. Achille Pintonello worked in L'Aquila. That period was characterized.by a complex of urban planning and building proposals and interventions promoted by the political will of the local administration to give the city an image representative of the governance and implementation capabilities of the fascist regime. The House, together with the contiguous and contemporary Church of Cristo Re and the Piazzale Belvedere interposed between them, had to resolve the urban node of the end of Viale di Collemaggio street. The design desire for "perfect functionality" and "very modern architectural character" is declared by the designer himself: «The House will have a distinctly rational imprint and will be completed with all those rooms and comforts that need and characterize such buildings». This contribution aims to

reconstruct an important chapter of L'Aquila Rationalism, since it was only in the early 1930s that new features were introduced in L'Aquila which marked a profound renewal of construction and architecture in the local area.

Introduzione

Nel giorno della solenne inaugurazione della Casa del Balilla «S.E. Ricci, il prefetto, il Podestà e le altre autorità interessate, in una riunione appositamente tenuta hanno progettato la costruzione della Casa della Giovane Italiana che dovrà sorgere su di un'area prospiciente la Casa del Balilla» (s.a., 1932a).

La Casa della Giovane Italiana di Aquila, destinata alla "educazione della giovinezza femminile della patria" avrebbe dovuto essere, almeno nelle intenzioni politiche, la prima costruzione del genere in Italia. Tale primato, che spetta invece alla casa di Padova di Mansutti e Miozzo del 1932 (Capomolla e Vittorini, 1999), fu vanificato probabilmente da lungaggini burocratiche legate al reperimento dei fondi necessari per la costruzione e all'acquisizione del suolo edificatorio.

Sebbene nelle sfere amministrative locali la decisione relativa all'ubicazione dell'opera fosse stata già presa, come conferma la stampa propagandistica locale, il progetto della Casa fu redatto dall'ingegnere romano Achille Pintonello soltanto nel 1934. Le prime notizie relative alla presenza di Pintonello a L'Aquila risalgono al gennaio del 1930 quando Renato Ricci, in risposta alla richiesta di Adelchi Serena di far intervenire l'Arch. Del Debbio sul cantiere della Casa del Balilla, comunicava: «ti assicuro che provvederò a che il capo dell'Ufficio Tecnico dell'O.N.B., Ing. Achille Pintonello, si rechi quanto prima in Aquila per dirimere le controversie sorte sul lavoro della Casa Balilla»[1].

Nel 1932 l'ingegnere aveva ricevuto dal Podestà l'incarico di progettazione di un edificio scolastico nel quartiere di S. Silvestro, ma il suo vero "esordio" in città avvenne nel febbraio del 1933 con un progetto in due versioni per il concorso per la costruzione della Casa del Combattente, di cui era risultato vincitore.

Il quotidiano La Tribuna aveva dato la notizia dell'esito del concorso riportando in testa all'articolo l'occhiello: «Edilizia moderna a L'Aquila», a sottolineare il carattere innovativo che l'edificio di Pintonello, risultato il migliore «per la monumentale concezione a carattere moderno» (s.a., 1933a), assumeva nel panorama architettonico cittadino. La costruzione sarebbe sorta sul lato ovest del prolungamento del Corso Vittorio Emanuele dove andava a formare uno dei due propilei che avrebbero costituito le soluzioni di testata del Corso stesso, rappresentando formalmente la prosecuzione della città al di là delle antiche mura (Spagnesi e Properzi, 1972, p. 246).

Inoltre, nello stesso anno 1934 Pintonello aveva partecipato ai due concorsi banditi dal Comune di Aquila per la progettazione dei nuovi edifici per il Regio Liceo Ginnasio e il Regio Istituto Magistrale. Per il primo progetto, caratterizzato da un rigoroso impianto simmetrico a U, ricevette il secondo premio, mentre per il secondo

fu forse troppo duramente criticato da Muratori per essersi perso «in forme incerte e illogiche senza più riferimento (agli spunti) planimetrici del tema». La critica, legata alla particolare difficoltà dettata dall'irregolarità planimetrica e altimetrica del terreno, era tuttavia rivolta anche agli altri concorrenti, poiché nessuno di essi aveva «cercato una soluzione a elementi semplici, rigorosamente unitaria e geometrica nel disegno, l'unica capace di imporsi all'irregolarità dell'area e dell'altimetria» (Muratori, 1937).

Il progetto

È in questo periodo di attività aquilana di Pintonello, riconducibile a quel complesso di proposte e interventi urbanistici ed edilizi promossi dalla volontà politica dell'amministrazione locale di «conferire alla città una immagine rappresentativa delle capacità di governo e realizzative del regime», che si colloca il progetto per la Casa della Giovane Italiana di Aquila, in Figura 1. La Casa, unitamente alla contigua e coeva Chiesa di Cristo Re e al Piazzale Belvedere fra esse interposto, doveva risolvere il nodo urbano della terminazione del Viale di Collemaggio: «In attuazione di quanto è previsto nel Piano Regolatore e di ampliamento della città, saranno fra breve iniziati i lavori per la demolizione del fabbricato Cipolloni, nei pressi dei Giardini Pubblici, presentemente adibito a convento. Si procederà quindi al prolungamento della parte occidentale del Viale di Collemaggio, che rappresenta una delle più belle passeggiate cittadine. Tra la Via Filippo Corridoni e il Viale Francesco Crispi, nella zona ove ora trovasi il fabbricato Cipolloni, sarà costruito un bel piazzale ai lati del quale sorgeranno l'edificio per la Casa della Piccola Italiana ed una Chiesa» (s.a., 1932b). L'ubicazione della Casa all'angolo tra il Viale Francesco Crispi e il prolungamento del Viale Collemaggio risultava inoltre strategica perché così essa veniva a trovarsi in posizione esattamente prospiciente la Casa del Balilla, dalla quale era separata dai giardini della Villa comunale.

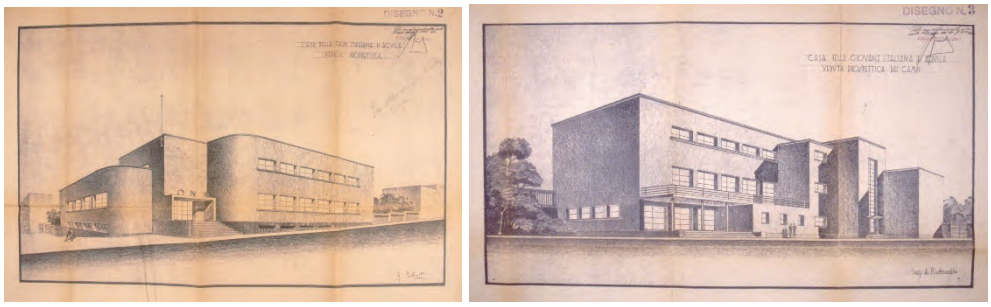


Fig. 1 - Prospettive dei fronti anteriore, a sinistra, e posteriore, a destra. Ing. Pintonello, 1934 (Archivio di Stato dell'Aquila - ASAq, Archivio Storico Comunale cat. X b.226).

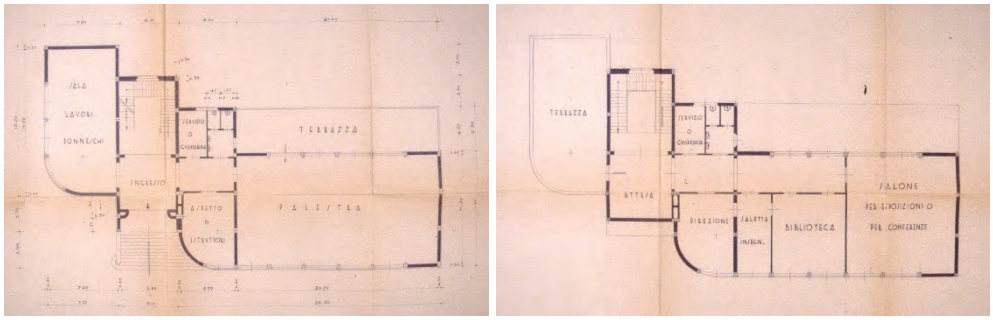


Fig. 2 - Piante del piano terra, a sinistra, e del primo piano, a destra. Ing. Pintonello, 1934 (Archivio di Stato dell'Aquila - ASAq, Archivio Storico Comunale cat. X b.226).

Sebbene non si abbiano notizie relative alle modalità di conferimento dell'incarico di progettazione, è certo che, in un periodo in cui la Presidenza centrale dell'ONB esercitava uno stretto controllo sulle costruzioni e sulla scelta dei progettisti, nessuno dei professionisti che operavano in città poteva offrire maggiori garanzie di Pintonello relativamente alla rispondenza dell'edificio alle finalità e ai dettami dell'Opera, avendone egli diretto l'ufficio di revisione dei progetti tra il 1932 e il 1933, nell'intervallo tra le direzioni di Del Debbio e di Moretti (Capomolla e Vittorini, 1999).

La volontà progettuale di «perfetta funzionalità» e «modernissimo carattere di architettura» (Capomolla e Vittorini, 1999) è dichiarata dallo stesso progettista: «La Casa avrà un'impronta spiccatamente razionale e sarà completata di tutti quei locali e conforti che abbisognano e caratterizzano tali edifici. Essa avrà poi annesso un campo per i giochi vari, mentre per i giochi collettivi le giovanette fruiranno del campo sportivo della vicina Casa del Balilla»[2].

La distribuzione degli ambienti segue uno schema basato su una gerarchia di tipo funzionale; al piano seminterrato sono collocati i servizi comprendenti lo spogliatoio, il refettorio, la cucina-dispensa, l'abitazione del custode, il magazzino e il locale caldaia; al piano terra rialzato l'ingresso, aperto sulla luminosa scala di rappresentanza, distribuisce gli ambienti destinati alle attività pratiche, ovvero la palestra, la "sala per lavori donneschi" e la saletta per istruttori, mentre al primo piano trovano posto la direzione, la sala insegnanti, la biblioteca e un salone per esposizioni o conferenze e quindi attività organizzative e culturali. In Figura 2 sono riportate le piante del piano terra e del primo piano. L'articolazione funzionale si rilegge inoltre a livello volumetrico e di alzati.

L'impostazione distributiva, calibrata su una casa di piccole dimensioni, rispondeva a quelle che erano state definite le funzioni specifiche di una sede dell'O.N.B., raggruppate nelle quattro categorie Attività sportiva, Attività culturale, Organizzazione e Assistenza (Leonarduzzi, 1934), ma disattendeva il requisito che voleva,

preferenzialmente, i locali per lo svolgimento dell'attività sportiva "il più possibile separati dagli altri ambienti della casa e con propri servizi indipendenti"; gli spogliatoi infatti, situati al piano seminterrato, non consentivano l'accesso diretto delle ginnaste alla palestra (Vietti Violi, 1934), che avveniva bensì attraverso il vano scala e l'atrio dell'edificio. La scelta progettuale era tuttavia giustificata dalle dimensioni del lotto assegnato, che limitavano le possibilità di espansione planimetrica, e dai vincoli posti dall'altimetria del lotto stesso. A tal proposito il progettista aveva sfruttato il *genius loci* assecondando le pendenze attraverso la composizione di volumi di altezza degradante, espediente che gli aveva consentito di contenere le altezze del fabbricato in relazione alle norme vigenti per le zone sismiche[3].

Il progetto era stato sottoposto all'esame della Commissione Edilizia e di Ornato nella seduta del 19 aprile 1934 e le osservazioni della commissione erano state comunicate al progettista con la raccomandazione di tenerle presenti durante l'esecuzione delle opere «nei limiti della possibilità e dell'estetica», limiti che si rivelarono alquanto ristretti poiché le modifiche suggerite restarono completamente inevase. In particolare la maggior parte delle annotazioni della commissione, e cioè quelle richiedenti: «che l'ingresso principale progettato sul Viale Francesco Crispi – arteria di grande traffico – venisse rivolto più razionalmente verso il lato sud prospiciente sul piazzale (tra la Casa e la Chiesa di Cristo Re); che la distribuzione interna del fabbricato, ed in special modo il corpo della palestra, avesse una più chiara e sincera corrispondenza con i prospetti esterni; che le finestre degli ambienti destinati a cucine non rispondessero possibilmente sul Viale F. Crispi, e che per ragioni di igiene esse venissero convenientemente elevate dal piano stradale»[4], avrebbero comportato, se applicate, un cambiamento radicale del progetto.

In base al medesimo progetto, inoltrato il 24 aprile 1934, il Corpo Reale del Genio Civile aveva autorizzato l'esecuzione delle opere sotto il profilo della loro rispondenza alle "Norme tecniche ed igieniche obbligatorie nei Comuni dichiarati zone sismiche". L'autorizzazione[5] fu rilasciata il 30 luglio del 1934, ma i lavori erano già stati consegnati il 28 maggio all'impresa Vittorini Giulio, cui erano stati affidati a trattativa privata senza alcun ribasso dopo che una prima licitazione espletata dall'Amministrazione comunale era andata deserta.

L'importo dei lavori era stato preventivato in 570.000 lire[6], che dovevano essere finanziate con un contributo di 285.000 lire da parte dell'Opera Nazionale Balilla, di 50.000 lire da parte della Provincia e delle Confederazioni dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, di 25.000 lire della Cassa di Risparmio dell'Aquila e di 160.000 lire del Comune, il quale aveva ceduto gratuitamente il suolo edificatorio e si era assunto l'onere e il rischio dell'esecuzione dell'opera. Tali oneri erano stati in parte condivisi con l'impresa assuntrice dei lavori, alla quale era stata di fatto richiesta l'anticipazione dell'intero capitale necessario alla costruzione. L'Amministrazione aveva infatti stabilito che «Ultimate le opere e le forniture degli impianti si farà

la contabilità finale e l'ammontare della spesa sarà ripartita in cinque annualità»[7], anche se si impegnava a versare all'appaltatore, prima dei termini fissati, le somme che avesse ricevuto come contributo dagli altri enti finanziatori. I lavori, iniziati al momento della consegna, furono ultimati il 7 aprile 1936, ma la contabilità fu chiusa soltanto nel giugno del 1938 e il collaudo completato nel luglio successivo. A quella data l'impresa, che dopo la stipula del contratto aveva iniziato a ricevere piccoli acconti sui pagamenti a partire dalla fine del 1935, vantava ancora un credito pari a oltre la metà dell'importo dello stato finale che ammontava a 619.174,40 lire.

L'ossatura a scheletro indipendente

Nella Casa della Giovane Italiana «il sistema costruttivo adottato è quello ad ossatura in cemento armato. Le fondazioni sono telai in c.a. incassati nella roccia. Tutto il sistema è stato calcolato osservando scrupolosamente le norme tecniche vigenti, tenendo conto delle sollecitazioni dovute ai moti sussultori e ondulatori. Tutte le aperture avranno le intelaiature in cemento armato, nessun elemento della costruzione è stato calcolato a mensola. I solai sono previsti in c.a. con laterizi forati»[8]. La relazione di Pintonello riassume sinteticamente i principali caratteri costruttivi dell'edificio. L'ossatura portante si configura come una struttura intelaiata finalmente "di per sé stante", scomponibile virtualmente in tante semplici gabbie strutturali, tra loro interrelate, quanti sono i volumi che compongono l'edificio.

L'elemento dominante è il blocco corrispondente funzionalmente allo svolgimento delle attività collettive, cioè refettorio, palestra e sala esposizioni, nel quale la struttura si manifesta in maniera compiuta e risulta costituita dalla successione di sette portali a tre ordini disposti secondo una sequenza, dettata dall'interasse di 3,50 m, che determina il ritmo delle bucature nei prospetti sul Viale Crispi e sul cortile retrostante. I portali di estremità sono a tre campate, ovvero su quattro ritti posti a interasse costante di 3,80 m, in tutti e tre gli ordini sovrapposti. I cinque portali centrali, invece, conservano le tre campate soltanto al primo ordine, mentre nel secondo e terzo tronco coprono con una trave di sezione 35 cm · 110 cm l'intera luce di 10,50 m, realizzando gli ampi spazi liberi della palestra al pianterreno e della biblioteca e sala espositiva al piano superiore. A tale blocco principale si aggregano a ovest le strutture a un solo livello dell'alloggio del custode e del terrazzino coperto, il cui passo è ancora scandito da quello dei portali della palestra, come si può vedere in Figura 3.

Ciò che è importante rilevare è che tuttavia, sin dalla fase progettuale, pur configurandosi lo scheletro in cemento armato come entità autonoma, un qualche ufficio statico è ancora demandato alla muratura. In primo luogo le singole gabbie strutturali risultano controventate sul loro perimetro dall'inserimento di pannelli di irrigidimento in muratura tra le maglie verticali dell'ossatura in c.a., in modo che ciascuna è ricondotta nuovamente a un elemento scatolare chiuso. In secondo luogo, al piano seminterrato, alla muratura è affidata in determinate condizioni una funzione portan-

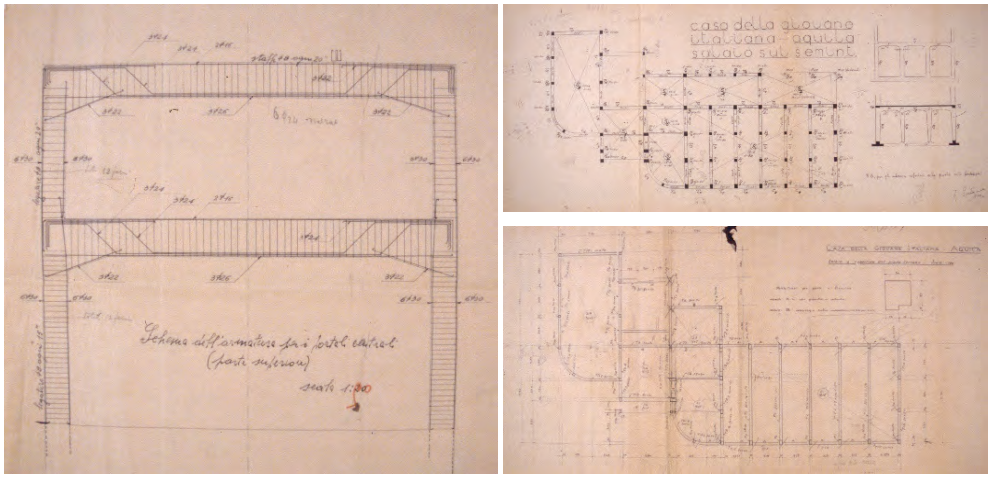


Fig. 3 - Progetto esecutivo delle strutture in cemento armato, Ing. Pintonello. Armature dei portali centrali del blocco palestra e carpenterie del seminterrato e del piano terra (Archivio di Stato dell'Aquila - ASAq, Archivio Storico Comunale cat. X b.226).

te dei carichi. Ciò si verifica in particolare dove i setti murari svolgono la funzione di contenimento della spinta del terreno o costituiscono pareti prive di bucature. In tali circostanze, sfruttando la rigidezza dei pannelli murari, le membrature di collegamento dei telai in c.a. non sono calcolate come travi, come le corrispondenti dei piani superiori, bensì come cordoli adagiati sulla muratura stessa, realizzando così una pur minima economia nelle sezioni di calcestruzzo e nella quantità di armatura. Gli elaborati esecutivi relativi alle opere in cemento armato del seminterrato riportano in bell'evidenza una nota del progettista che esplicita tale concezione: «N.B. I cordoli non hanno funzione portante ma sono stati considerati come organi di collegamento: la funzione portante è lasciata alla muratura sotto il cordolo. Sopra il piano terreno la muratura non si considererà più portante, riservando unicamente all'ossatura in cemento armato tale funzione statica» [9].

Le fondazioni, almeno nelle previsioni progettuali, sono concepite come travi rovesce in calcestruzzo armato con sezione a T, formanti dei telai orizzontali a maglia chiusa. Circa la natura del terreno il progettista aveva ipotizzato: «Il terreno di sedime, su cui poggerà il fabbricato è di natura rocciosa e tale da permettere tassi di lavoro elevati; in effetti [il] tasso è stato contenuto nel limite di Kg 2,00/cmq»[10]. Al momento dello scavo, tuttavia, in maniera del tutto imprevedibile per la zona in cui sorgeva il fabbricato, alla quota di fondazione il terreno si presentò in parte costituito da materiale sciolto. Ciò comportò una variante in corso d'opera relativamente al sistema di fondazione che risulta non ben documentata negli atti contabili e completamente taciuta in quello di collaudo. Del resto il collaudatore in merito alle

«Variazioni, modifiche e aggiunte» [11] rimandava a quanto esposto dal Direttore dei Lavori nella Relazione sul conto finale, nella quale probabilmente Pintonello aveva considerato la modifica delle fondazioni fra quelle «altre piccole variazioni ed aggiunte che non meritano menzione speciale» [12].

I sistemi di tamponamento

Nella Casa della Giovane Italiana i tipi di murature utilizzati sono identici a quelli della prospiciente e precedente Casa del Balilla, come identico è l'utilizzo di ciascun tipo all'interno della fabbrica: muratura in pietrame per fondazioni, muratura in pietrame listato al piano seminterrato e muratura in mattoni per i due piani superiori. Ciò che risulta essenzialmente cambiato, in funzione ovviamente del tipo di ossatura portante, è lo spessore murario, che si riduce a 50 cm per le murature listate e a 30 cm per quelle a mattoni, indifferentemente sia al piano terra che al primo piano, e il ruolo svolto da tali murature che risultano impiegate in elementi portati, che con uno spessore ancora considerevole debbono assolvere a un ufficio statico di irrigidimento e controventamento e al tempo stesso ai requisiti di coibenza termica e acustica; tali prerogative conservano di fatto a questi elementi "portati" una capacità "portante", la quale, in quanto disponibile, è sfruttata all'occorrenza, come si è visto per le murature in pietrame listato del piano seminterrato. L'adozione della muratura listata e della muratura a mattoni rispondeva a una precisa prescrizione della normativa antisismica, che assegnava alle tamponature, in particolare a quelle esterne una funzione di irrigidimento delle maglie dell'ossatura in cemento armato. La normativa richiedeva espressamente che le strutture murarie delle pareti perimetrali venissero sempre «eseguite omogeneamente con mattoni o blocchi di pietra artificiale o naturale a facce piane e superfici scabre, di forma parallelepipeda, rettangolare oppure a struttura listata fatta con pietra spezzata ed interrotta da corsi orizzontali di mattoni o da fasce continue di pietra lavica o calcarea di forma parallelepipeda rettangolare o di calcestruzzo di cemento, distanti non più di cm. 60 fra di loro. Tanto i corsi come le fasce debbono essere estese a tutta la larghezza del muro. I corsi dovranno essere a due filari e le fasce dello spessore non inferiore a cm. 12» (Priolo, 1930).

I dettagli costruttivi e i materiali di finitura

La «impronta spiccatamente razionale» [13] della Casa della Giovane Italiana si manifesta anche attraverso l'essenzialità e l'elegante semplicità dei dettagli costruttivi e delle opere di finitura, unite all'impiego di materiali "modernissimi".

La pietra artificiale è utilizzata esclusivamente nelle copertine dei parapetti delle terrazze, dove semplici lastre preformate dello spessore di 10 cm, giuntate in opera, costituiscono la sottile fascia di coronamento dell'edificio; la sporgenza dello zoccolo basamentale è realizzata per mezzo di un intonaco a rilievo di cemento e graniglia minuta, con un trattamento di finitura a effetto rustico, e i fascioni leggermente ag-

C. AN. ITALIANA INTONACI "TERRANOVA"

MILANO

FATTURA N. 3122

a I/2 Sigg. Dott. G. Toccagni & C.
Roma

MILANO (104) 30 Aprile 1935 XIII

S. Onorevole Comitato Provinciale Opera Nazionale Balilla
Aquila

FATTURA per l'importo di L. 3577.-/- del materiale fornito come appresso su V/ ordine e spedito a V/ rischio a mezzo ferrovia P.V. vagone I00I950 in porto assegnato (I) pagabile al n/ domicilio a 90 giorni d.f. netto di sconto (2)

Distinti saluti

S. A. L'INTONACO "TERRANOVA"

MATERIALE	Quantità	Prezzo	IMPORTO
(I) alla Spett. Impresa Giulio Vittorini.-			
INTONACO ORIGINALE TERRANOVA TIPO DA SPRUZZARE A MACCHINA			
Color ROSSO 2024 pari a qli	55 a	L. 65 -	L. 3575 -
Bollo quitanza			" 2 -
			L. 3577 -
			S.E.& O.
(2) Contro presentazione della reversale ferroviaria V/ sarà accreditata in conto le spese di trasporto a P.V.			

Quitanzato
18-11-1935
S. A. ITALIANA INTONACI "TERRANOVA"

Commiss. N. 2769 — V/ ordine Dr. Toccagni — Rif. 3017

Fig. 4 - L'intonaco Terranova. Fattura della Soc. An. Italiana Intonaci Terranova (ASAq, Archivio Storico Comunale cat. X b.226) *e tipi di grana* (Andò, 1940, p. 261).

gettanti che sottolineano i davanzali delle finestre sono in calcestruzzo di cemento e coperti da una sottile soglia in pietra. Eliminato quindi ogni elemento decorativo superfluo, i prospetti risultano caratterizzati da superfici intonacate continue e regolari che evidenziano il gioco dei volumi.

La caratterizzazione superficiale e cromatica degli intonaci esterni è affidata a un materiale di larga diffusione, l'intonaco Terranova, in Figura 4, appartenente alla categoria delle malte premiscelate a secco e colorate in pasta insieme a prodotti come Jurasit, '900 R.E.I, Silitinto e Terrasit. Tali prodotti, che presentavano un'estesa gamma di colori e sfumature, erano pronti per l'uso e il confezionamento dell'impasto dava luogo, attraverso un'accurata miscelazione con acqua, a una buona uniformità della grana superficiale e della tonalità del colore (De Berardinis, 2000, p. 64; s.a., 1933b; Griffini, 1934; Andò, 1940). Delle diverse formulazioni esistenti in commercio, nella Casa della Giovane Italiana fu utilizzato l'«intonaco originale Terranova» nel tipo «da spruzzare a macchina»[14]. Il prodotto fu applicato su un intonaco

cementizio frattazzato rustico in uno strato molto sottile, simile a un intonachino o quasi a una coloritura, realizzando il caratteristico cromatismo rosso pompeiano che rendeva «riconoscibili le case del balilla e molti edifici pubblici minori dell'epoca» (Cacciaguerra e Gatti,1999).

Per quanto riguarda le pavimentazioni interne, accanto all'immancabile linoleum jaspé, posto in opera nella palestra su uno strato di preparazione in calcestruzzo cementizio con strato fino in superficie, fu fatto largo uso del battuto alla veneziana, in una versione costruttiva che si potrebbe definire "moderna". Il progettista aveva utilizzato questo tipo di pavimentazione nella sua Accademia femminile di educazione fisica a Orvieto (Secchi, 1935), riproponendo nella Casa della Giovane italiana il medesimo semplice e geometrico disegno a campi rossi e grigi con fasce nere. Tale disegno segue la distribuzione interna della Casa e il passaggio da un ambiente all'altro è segnato dallo stacco contrastante delle soglie in marmo bianco di Carrara. Le fasce e i campi di graniglia marmorea sono delimitati da riquadri di tessere musive di marmo rosso o bianco, realizzando il cosiddetto pavimento "misto" a graniglia e mosaico.

Nei primi decenni del Novecento il pavimento alla veneziana era stato trasformato attraverso l'impiego del cemento come legante nei diversi strati funzionali, allo scopo di accelerare le operazioni di posa. Il procedimento indicato nel Capitolato generale d'appalto[15] differisce dalla tecnica tradizionale, oltre che per il tipo di legante, anche per le modalità di esecuzione dell'ultimo strato, in cui la graniglia non è seminata sulla stabilitura bensì impastata con una malta di cemento e polvere di marmo e quindi stesa sullo strato di fondo, secondo una variante della tecnica diffusa principalmente in area ligure (Menicali, 1997). Rispetto alle modalità esecutive descritte nel Capitolato, che hanno del resto un valore soltanto indicativo in quanto suscettibili di varianti legate al segreto dell'arte, in corso d'opera era stato richiesto l'inserimento di giunti di dilatazione in lamierino di metallo bianco che, dividendo il pavimento in lastroni rettangolari di circa 1,15 m · 2 m, limitavano la possibilità di eventuali fessurazioni.

Razionalità e funzionalismo si rileggono anche nelle opere in ferro, sia nella linearità del disegno con cui vengono assemblati i profili tradizionali che nell'impiego di insolite e "moderne" sezioni.

I profilati in ferro nei serramenti vennero impiegati esclusivamente nelle grandi vetrate contrapposte dell'ingresso principale e della scala, dove la citazione moderna è irrinunciabile, nonostante il rigido clima invernale, e il problema della dispersione termica è affrontato attraverso l'utilizzo dei vetri Termolux di cui il Griffini scrive: «Vetro speciale composto da due cristalli che tra loro racchiudono un sottile strato di Vetroflex. Tale vetro, per le innumerevoli cellule d'aria create dal Vetroflex, ha un potere coibente certo superiore a quello del vetro comune o doppio. Dal punto di vista estetico è di bell'effetto, e sostituisce con vantaggio i soliti vetri cattedrali, opalizzati e simili» (Griffini, 1934).

Conclusioni

È soltanto nei primissimi anni '30 che a L'Aquila vengono introdotti caratteri inediti che segnano un profondo rinnovamento della costruzione e dell'architettura in ambito locale e ciò si deve a professionisti come Pintonello, provenienti da ambienti maggiormente legati al dibattito nazionale sull'architettura moderna, rispetto a quanto avveniva nella provincia.

La concezione strutturale dell'edificio infatti è tale che nelle grandi luci traduce in modo coerente la soluzione volumetrica esterna come la morfologia degli spazi interni, al contrario essa accetta delle condizioni di vincolo come quella del terrapieno per ibridarsi con una soluzione costruttiva muraria.

Il linguaggio di ispirazione razionalista della Casa della Giovane Italiana si pone poi in perfetta antitesi con l'eclettismo della prospiciente Casa del Balilla e riflette, con tutte le attenuazioni ascrivibili a un contesto minore, quelli che erano i caratteri contrastanti della cultura architettonica italiana di quegli anni, in cui sia le istanze del Novecento che quelle del movimento Razionalista miravano al superamento dei canoni dello storicismo eclettico senza tuttavia abbandonare il legame con la tradizione, nella ricerca di un rinnovamento del linguaggio dell'architettura.

Così l'edificio di Pintonello può identificarsi nelle «linee ordinate, chiare, violentemente spogliate di ciò che è inutile orpello e vana pomposità» (Pagano, 1931) che erano emerse nella seconda esposizione di Architettura Razionale.

Bibliografia

Andò E. 1940. *Manuale teorico-pratico di costruzioni civili*. I, 260. Messina: Edizioni La Sicilia.

Cacciaguerra C., Gatti M.P. 1999. Le case del balilla di Mansutti e Miozzo: la modernità di un tipo edilizio. In: *Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento* (a cura di R. Capomolla e R. Vittorini). 222. Roma: Edilstampa.

Capomolla R., Vittorini R. 1999. La costruzione edilizia negli anni trenta: note sulle case del Balilla. In: *Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento* (a cura di R. Capomolla e R. Vittorini). Roma: Edilstampa.

De Berardinis P. 2000. *Elementi costruttivi funzionali: l'intonaco*. L'Aquila: Editore GTE.

Griffini E. A. 1934. *Dizionario nuovi materiali per edilizia*. Milano: Hoepli.

Leonarduzzi M. 1934. Case del Balilla. Rassegna di Architettura, 8, agosto-settembre, 319.

Menicali U. 1997. Seminato e battuto alla veneziana. Materiali edili, 6.

Muratori S. 1937. Concorso per due edifici scolastici ad Aquila. Architettura, aprile, 217-221.

Pagano G. 1931. Mussolini e l'architettura. Rassegna mensile illustrata. Brescia.

Priolo D.A. 1930. Norme di edilizia antisismica emanate con R.D. 13 marzo 1927 n.431, art. 10. In: *Le costruzioni antisismiche*, 45-46. Messina: s.e.

s.a. 1932a. La Casa della Giovane Italiana ad Aquila. Il Popolo d'Abruzzo, 270, 12 giugno 1932.

s.a. 1932b. Il prolungamento del Viale di Collemaggio. Il Popolo d'Abruzzo, 276, 24 luglio 1932.

s.a. 1933a. La “Casa del Combattente”. La Tribuna, 26 febbraio.
s.a. 1933b. I materiali alla Mostra Edilizia di Roma. L’ingegnere, 4.
Secchi L. 1935. Accademia Femminile di Educazione Fisica - Ing. Pintonello. Rassegna di Architettura, ottobre, 349-357.
Spagnesi G., Properzi P. 1972. *L’Aquila Problemi di forma e storia della città*. Bari: Dedalo libri.
Vietti Violi P. 1934. Alcune norme per le palestre, piscine e sale spettacolo. Rassegna di Architettura 8, agosto-settembre, 361.

Note

[1] Lettera di Renato Ricci all’On. Adelchi Serena del 13 gennaio 1930, (Archivio di Stato dell’Aquila - ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b. 225).
[2] Relazione al progetto esecutivo della Casa della Giovane Italiana di Aquila (ASAQ, serie Comune Aq, b. 226).
[3] *Ibidem*.
[4] Lettera del Commissario prefettizio all’Ing. Pintonello Cav. Uff. Achille prot. n° 6853 del 4 maggio 1934 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b. 222).
[5] Visto del Corpo Reale del Genio Civile n. 14314 del 30 luglio 1934 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b.222).
[6] Relazione all’On. Podestà relativa al progetto esecutivo della Casa della Giovane Italiana del 10/8/1934, prot. n. 12784 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b.222).
[7] Verbale di deliberazione del podestà del 30 agosto 1934 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b.226).
[8] Relazione al progetto esecutivo della Casa della Giovane Italiana di Aquila (ASAq, serie Comune Aq, b. 226).
[9] Strutture in cemento armato per il solaio sopra il seminterrato, progetto esecutivo, (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b. 226).
[10] Relazione al progetto esecutivo della Casa della Giovane Italiana di Aquila (ASAq, serie Comune Aq, b. 226).
[11] Lavori di Costruzione della Casa della Giovane Italiana – Relazione, processo, verbale di visita e certificato di collaudo, Aquila 27 luglio 1938 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b.226).
[12] Lavori di Costruzione della Casa della Giovane Italiana di Aquila – Relazione sul conto finale, Aquila 1 giugno 1938 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b.226)
[13] Relazione al progetto esecutivo della Casa della Giovane Italiana di Aquila (ASAq, serie Comune Aq, b. 226).
[14] Fattura della Soc. An. Italiana Intonaci “Terranova”, n° 3122 del 30 aprile 1935 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b. 226).
[15] Capitolato Generale dei lavori pubblici eseguiti in appalto per conto dell’Amministrazione comunale dell’Aquila, Aquila 1929, art.37 (ASAq, Archivio storico comunale, cat. X, b. 221).

Maria Rosaria Cocozza

Carlo Vanvitelli e il caso della scala di Palazzo d'Avalos a Procida

Carlo Vanvitelli and the Palazzo d'Avalos' staircase in Procida

Sommario
Acquisito il feudo dell'isola di Procida nel 1504, Innico d'Avalos dopo poco meno di un secolo, nel 1576, vi costruì un imponente palazzo, che restò di proprietà della famiglia fino all'avvento del Regno autonomo, quando, confiscato da re Carlo di Borbone, fu trasformato per diventare uno dei Reali Siti di Caccia. I primi lavori di adeguamento e ristrutturazione, compiuti in più fasi, pur conservando l'originario impianto rinascimentale, ne riassettarono i diversi spazi interni. Nel 1769, poi, a Ferdinando Fuga si chiese di effettuare ulteriori lavori di rilievo e restauro, e nel 1800, di seguito ad alcuni "guasti accaduti", fu chiamato Carlo Vanvitelli per consolidare e ricostruire la scala di accesso dal mare nel 1802. Sulla scorta di documentazione ancora poco indagata, il contributo intende analizzare tali opere progettate dal prestigioso architetto, approfondendone sistemi costruttivi e tecniche adottate.

Abstract
In 1504, Innico d'Avalos acquired the fief of the island of Procida and after just under a century, in 1576, he built an imposing palace there that remained in the family's possession until the advent of the autonomous kingdom. Confiscated by King Charles of Bourbon, it was transformed to become one of the Royal Hunting Sites. The first works of adaptation and renovation carried out in several phases, while retaining the original urban layout, rearranged the different interior spaces. In 1769 Ferdinando Fuga was asked to carry out further significant works and renovations and, in 1800, following some "failures occurred", Carlo Vanvitelli was called to consolidate and rebuild the sea access staircase in 1802. On the basis of documentation still little investigated, this paper intends to analyze these works designed by the prestigious architect, deepening construction systems and techniques adopted.

Introduzione
All'inizio del XVI secolo la vecchia cittadella dell'isola di Procida, da sempre scenario di intrecci di civiltà, flussi commerciali, conflitti e saccheggi, non era ancora

dotata di mura autonome. Durante il dominio di Carlo V d'Asburgo, nel 1529, l'isola fu confiscata all'ultimo membro della famiglia Cossa, signori di Procida, e concessa in feudo al primo esponente della dinastia spagnola dei d'Avalos, Alfonso I, marchese del Vasto e di Pescara, cui succedette il figlio secondogenito Innico, Cardinale d'Aragona, il quale, sul volgere del secolo, avviò un'importante serie di interventi con l'utopico obiettivo di declinare nell'isola il principale tema urbano della *forma urbis* rinascimentale (Di Liello e Rossi, 2017, pp. 6-7; Iodice, 2017, p. 20). Particolare attenzione fu riservata proprio alla costruzione di una residenza-fortezza e della relativa cinta muraria, frutto della collaborazione di Giovan Battista Cavagna e di Benvenuto Tortorelli (Alisio, 1976, p. 32; Di Liello e Rossi, 2017, p. 127), attorno all'antico nucleo abitato di Terra Casata, che da quel momento prese il nome di Terra Murata (Barba *et al.*, 1994, p. 110; Assante, 2015, p. 2).

Solo nel XVIII secolo, con l'avvento del Regno autonomo, guidato dalla dinastia dei Borbone, si ebbe un significativo punto di svolta nella storia dell'isola. Nel 1734, infatti, il re Carlo confiscò il feudo di Procida a Giovanbattista d'Avalos, il quale, oltre ad essere filoaustriaco, era oberato da ingenti debiti. Il sovrano trasformò il feudo confiscato in un sito reale riservato alla caccia, prevedendo anche un importante intervento sul Palazzo d'Avalos, nuova residenza Reale (Di Liello e Rossi 2017, p. 125; Iodice, 2017, p. 23; Associazione Palazzo D'Avalos, 2020, p. 15). Il progetto di sistemazione del Palazzo, firmato dall'ingegnere Agostino Caputo nel 1738, non modificò tuttavia l'impianto rinascimentale, limitandosi a interventi di riorganizzazione degli spazi interni (Assante, 2015, p. 2; Di Liello e Rossi, 2017, p. 146; Associazione Palazzo D'Avalos, 2020, p. 18). Venne invece realizzato un giardino trapezoidale all'italiana accostato al fianco occidentale della fabbrica, contenuto da mura bastionate. Il sito di Procida fu, nel 1744, il primo dei 22 siti allodiali della Corona (Barba *et al.*, 1994, pp. 122-123).

La nuova destinazione d'uso del Palazzo determinò notevoli cambiamenti nell'assetto urbanistico dell'isola e la costruzione di numerose "caccette", piccoli casini isolati nel verde utili alle grandi battute. I terremoti della fine del Settecento danneggiarono numerose residenze del Regno e anche Palazzo d'Avalos fu soggetto a lavori di consolidamento. Questi ultimi vennero affidati prima, nel 1769, a Ferdinando Fuga, e poi, nel 1800, a Carlo Vanvitelli (Alisio, 1976, pp. 33-34; Barba *et al.*, 1994, p. 126; Cirillo, 2009, p. 214; Assante, 2015, p. 9; Associazione Palazzo d'Avalos, 2020, p. 20). Quest'ultimo trovò di fatto l'edificio in ottimo stato e si dedicò precipuamente al rifacimento della scala di accesso alla parte bassa dell'isola; l'intervento, oggetto di questo contributo, si basò sul recupero delle rampe superstiti e sul collegamento di queste a quelle nuove da lui costruite.

A seguito delle travagliate vicende politiche sorte sulla fine del XVIII secolo, le sorti di Palazzo d'Avalos cambiarono radicalmente. Il palazzo venne trasformato prima in Scuola Militare e poi in Bagno Penale, con l'aggiunta graduale di edifici

che formarono un grande complesso carcerario (Barba *et al.*, 1994, pp. 126, 141; Assante, 2015, p. 16), soppresso soltanto nel 1988 e oggi al centro di proposte attese sul futuro dell'isola.

Il palazzo, l'accesso dal mare e il ruolo della scala

L'imponente struttura di Palazzo d'Avalos si innesta sul costone roccioso a picco sul mare, posto nel lato settentrionale di Procida. La sua pianta rettangolare, che si ripete nelle stesse dimensioni su quattro livelli, due dei quali interrati, presenta l'accesso sul versante meridionale dell'isola, attraverso la Piazza d'Armi.

Il prospetto interno, decorato alla maniera rinascimentale con disegni di matrice geometrica, è ritmicamente scandito dalla successione di cinque arconi a tutto sesto. Quest'ultimi, ornati da fasce, modanature e cornici piatte in piperno, si ripetono sui due livelli fuori terra con la differenza che il primo si affaccia direttamente sul cortile mentre il secondo si caratterizza per la presenza di una maestosa loggia. Sulle campate estreme del piano terra si innestano due corpi paralleli, sempre strutturati ad arcate e volte, chiusi da un terzo corpo parallelo alla facciata. Si configura così al centro una piccola corte quadrata (Alisio, 1976, p. 32; Barba *et al.*, 1994, p. 110; Di Liello e Rossi, 2017, p. 130; Iodice, 2017, p. 30).

Si oppone al versante interno la severità figurativa del lato opposto, a picco sul mare, innalzato e sostenuto su tre arconi e un barbacane sul limite dello strapiombo tufaceo, che è segnato soltanto dal ritmo regolare e composto delle sue aperture allineate. È lungo questo fianco che si innesta l'antico percorso, oggetto di studio, che dal vecchio porto giungeva sino al palazzo. Questo accesso, si aggiungeva agli altri tre ingressi posti rispettivamente sulla Porta di Ferro e sulla Porta del Carmine, entrambe a Ovest, prospicienti sulla Via Nuova, e sulla Porta Mezz'Omo, ai piedi del borgo medievale di Terra Murata.

L'antica strada, che saliva dal porto[1], collocato nel luogo definito Punta della Lingua[2], non era altro che un percorso in terra battuta, di notevole pendenza, utilizzato perlopiù per il transito del bestiame, che giungendo dalla spiaggia dell'Asino conduceva fin sopra la Terra, attraversando i terrazzamenti sopra posti. Alla mulattiera, negli ultimi decenni del 1500, in seguito all'abbattimento della porta settentrionale per opera di Cavagna e Tortorelli, venne aggiunta una scala. Sistemata ai piedi del Palazzo d'Avalos, attraverso diverse ripide rampe, smontava a poca distanza dal giardino trapezoidale (Barba *et al.*, 1994, p. 110; Associazione Palazzo d'Avalos, 2020, p. 13).

L'utilizzo del sentiero, come importante via di collegamento verso la banchina (Barba *et al.*, 1994, pp. 38-39), subì nel corso del tempo diversi cambiamenti. Prima, nel 1800, di seguito ai "guasti accaduti" (Napoli, Archivio di Stato, Maggiordomia Maggiore e Soprintendenza generale di Casa Reale. Terzo Inventario, Segreteria di Casa Reale, 1530, b. 46, f. 7) dovuti al maltempo, con il crollo parziale della scala e

l'intervento di Carlo Vanvitelli per la ricostruzione e il consolidamento, poi, nella seconda metà del 1800, con la sua chiusura per inagibilità dovuta a motivi di sicurezza, giacché il luogo era da sempre soggetto a frequenti frane. A ciò si aggiunse la scomodità della scala e l'alternativa del percorso più agevole costruito come collegamento tra il porto e la città fortificata, nel tratto superiore della Via Nuova.

La morfologia dell'antica scala, attribuita a Vanvitelli, è ricavabile attraverso una rappresentazione cartografica del 1812, in Figura 1, che consente inoltre di leggere la planimetria degli edifici e le loro funzioni prima dell'insediamento del Bagno Penale e della già insediata Scuola Militare.

La scalinata, partendo dalla banchina, si inerpicava nell'area nord-orientale del costone di roccia posto al di sotto di Palazzo d'Avalos per circa sei rampe rettilinee di diversa estensione con livelli di smonto intermedi. Costituita probabilmente in pietra di tufo, per la vicinanza con la cava "la Taglia", era retta e innalzata da un sistema di arconi di sostegno. L'arditezza della soluzione adottata costituisce una

Fig. 1 - Procida: pianta del castello e zone limitrofe, cartografia antica, Reale officio topografico, 1844, copiata da un originale del 1812 (Napoli, Biblioteca Nazionale, Fondo Palatina).

Fig. 2 - Andrea Vianelli: veduta del palazzo reale di Procida, 1828 (Napoli, Museo di San Martino).

prova delle conoscenze e delle capacità tecniche del progettista e delle maestranze coinvolte, il cui lavoro richiedeva una profonda comprensione delle teorie statiche e delle componenti strutturali, nonché una precisione e una cura meticolosa nell'esecuzione, al fine di ottenere un risultato che garantisse l'integrità e la durabilità della scala nel tempo.

Un'ulteriore rappresentazione, utile a definirne la struttura, è fornita da una veduta del Palazzo firmata da Achille Vianelli del 1828, in Figura 2, in cui è ripresa la costa dell'isola da Punta della Lingua. La scala figura tra le balze tufacee della collina, nella sua configurazione vanvitelliana. È evidente, oltre al Palazzo e ai suoli coltivi dell'area, la sistemazione del vecchio molo con il relativo ingresso alla scala.

La ruina della scala: il ruolo di Vanvitelli nel sito

L'apporto di Vanvitelli all'interno del Real Casino di Procida è attestato da una serie di corrispondenze, inedite, corredate da una serie di disegni risalenti al marzo del 1800, conservate presso l'Archivio di Stato di Napoli[3].

La prima, datata 20 marzo 1800, firmata da detto Ingegnere Giovanni Porta, rivela la prima traccia relativa alla rovina della scala. L'ingegnere descrive di come il crollo, avvenuto «verso le ore nove» della notte, fosse dovuto a causa di continue piogge, che stavano interessando l'area in quei mesi: «Si sono talmente smosse le di loro pedamenta» che la scala era crollata completamente nelle sue ultime tre rampe. Porta però non si limita unicamente alla descrizione dei fatti e conclude la lettera ponendo il proprio parere, dopo essersi confrontato con l'Ingegnere Costantino Portanova, autore della scala rovinosa, precedente a quella di Vanvitelli, riguardo alla risistemazione della scala ed esponendo i relativi prezzi per la messa in opera, pari a mille e duecento ducati.

Successiva a quella di Porta è la missiva di Vanvitelli, datata 28 Marzo 1800. Redatta sottoforma di relazione, informa riguardo la spedizione fatta dal Regio Architetto sull'isola di Procida nel 22 dello stesso mese, al fine di fare rapporto sullo stato del palazzo di seguito ai disastri del maltempo e al guasto della scala.

Per ciò che riguarda il palazzo, Vanvitelli scrisse che si era verificato il distacco di parti di paramenti murari oltre alla caduta di diverse tegole dai tetti e alla rottura di vetri delle finestre, ma che i danni non furono tali da determinarne un cattivo stato o mettere in discussione la vivibilità degli ambienti.

Le ingenti piogge però non risparmiarono la costa da diverse frane, crolli e lesioni, cui il luogo era già soggetto data la tipologia di terreno. Le conseguenze di tale disastri ricaddero sulla scala di accesso dal mare, di cui erano sopravvissute unicamente le prime tre rampe. A dimostrazione dello stato della scalinata è allegato «un picciol piano di elevazione e di profilo» accompagnato da descrizione, legenda e scala grafica a firma di Vanvitelli, riportato in Figura 3, in cui sono rappresentate, con grande qualità grafica oltre che documentaria, la consistenza del danno e la conformazione dei luoghi descritti. Vanvitelli, infatti, scrisse: «le due prime piccole tese lunghe ogna palmi 46, e la terza palmi 126, che unitamente compongono l'altezza di palmi 91 sono intatte, e quassicchè formano un corpo separato dal resto della sottoposta scala, di altezza altri palmi 139, fin al livello della banchetta […] di cui non si scorge alcun vestigio, […] non ostante si comprende che debbono essere state costruite altre tre tese, due delle quali lunghe circa palmi 126 e l'altra circa palmi 90».

La volontà di intervento nella fase di riparazione dei danni sembra piuttosto veloce e risolutiva, tanto che Vanvitelli fece immediatamente presente una possibile risoluzione del problema, attraverso la costruzione, con pochissima spesa, di una viottola provvisoria nel terreno di collegamento adiacente alla scalinata. Un'ulteriore valutazione prevedette come intervento risolutivo il riallacciamento delle tre rampe superstiti della scala alla porzione nuova da ricostruire, che doveva essere piantata in corrispondenza dello strato tufaceo del suolo per ottenere maggiore solidità. Oltre alle spese economiche e alla descrizione degli interventi, non viene purtroppo fatta menzione dei materiali o delle relative prestazioni di manodopera.

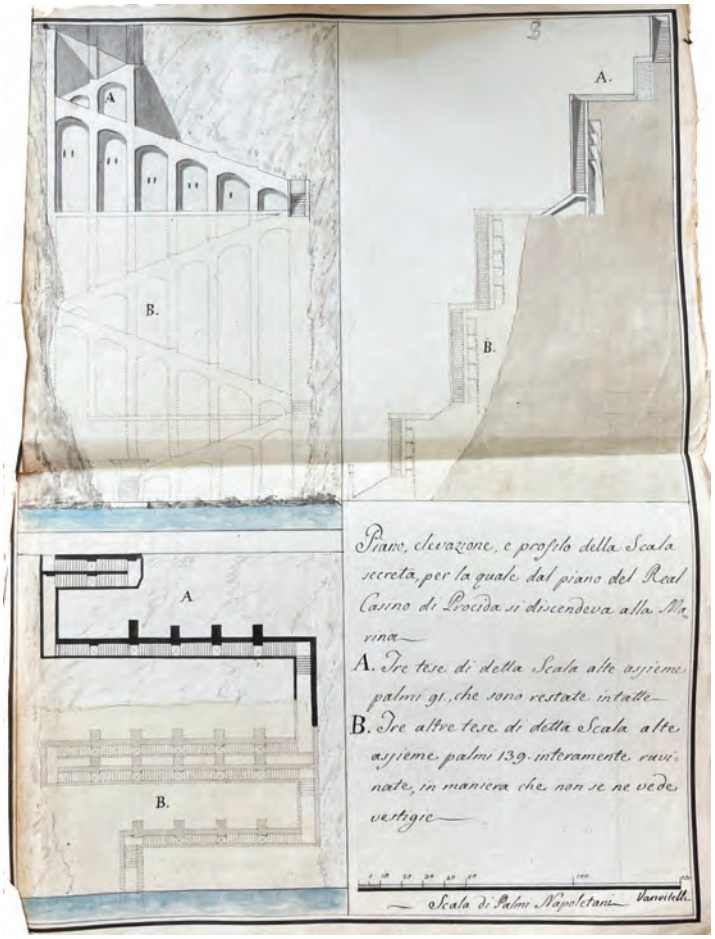


Fig. 3 - Carlo Vanvitelli: piano di elevazione e profilo della scala secreta, 1800 (Napoli, Archivio di Stato, Maggiordomia Maggiore e Soprintendenza generale di Casa Reale. Terzo Inventario, Segreteria di Casa Reale, 1530, b. 46, f. 8).

Al rilievo di Vanvitelli si aggiunge una serie di ulteriori schizzi di progetto, a opera dell'Ing. Porta. I disegni mostrano due proposte di progetto, mostrate in Figura 4, la prima, proprio nel luogo dove è seguita la rovina, costituita di soli due montanti, «che si puol salire a piede, e cor cavallo, e viene essa detta salita simile a questa di Pizzofalcone di Napoli», per la spesa di ducati 10.000; la seconda, nelle Figure 5 e 6, di sei rampe, per la spesa di 1200 ducati.

Nonostante le più che sufficienti rappresentazioni dei progetti, restano lacunose le informazioni relative ai lavori per la realizzazione del progetto da parte di Vanvitelli.

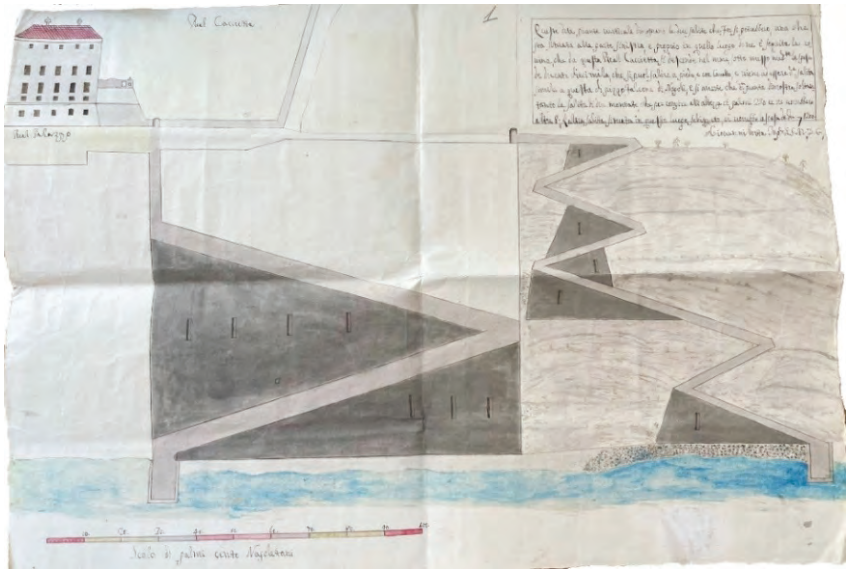


Fig. 4 - Giovanni Porta: piante verticali delle due salite che far si potrebbero nella Real Caccietta di Procida, 1800 (Napoli, Archivio di Stato, Maggiordomia Maggiore e Soprintendenza generale di Casa Reale. Terzo Inventario, Segreteria di Casa Reale, 1530, b. 46, f. 1).

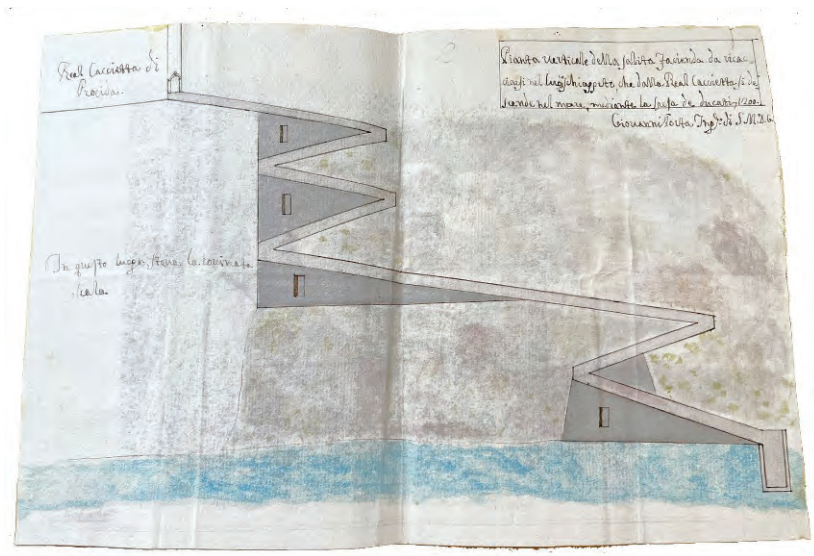


Fig. 5 - Giovanni Porta: pianta verticale della salita che dalla Real Caccietta si descende nel mare, 1800 (Napoli, Archivio di Stato, Maggiordomia Maggiore e Soprintendenza generale di Casa Reale. Terzo Inventario, Segreteria di Casa Reale, 1530, b. 46, f. 2).

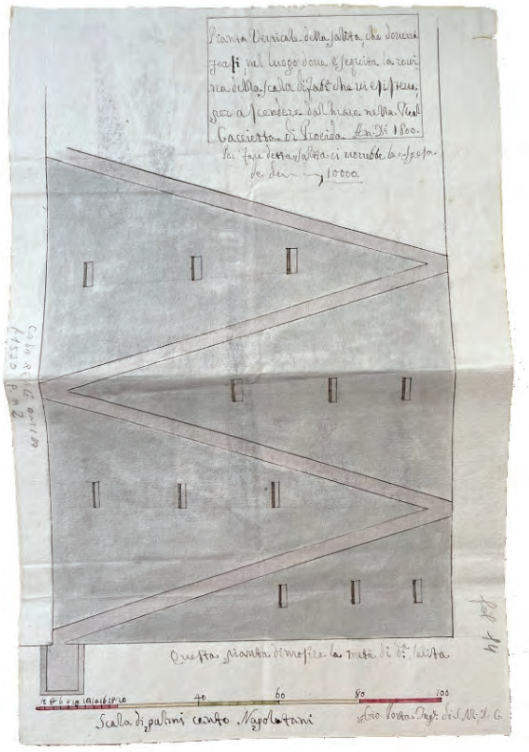


Fig. 6 - Giovanni Porta: piante verticale della salita doverrà farsi nella Real Caccietta di Procida, 1800 (Napoli, Archivio di Stato, Maggiordomia Maggiore e Soprintendenza generale di Casa Reale. Terzo Inventario, Segreteria di Casa Reale, 1530, b. 46, f. 14)

Conclusioni

La scala che dal Porto di Procida portava a Palazzo D'Avalos, con i suoi tornanti e gli arconi di sostegno, rappresentò l'accesso principale al castello direttamente dalla Marina anche negli anni successivi alla sua risistemazione per mano di Carlo Vanvitelli.

Sino alla metà dell'Ottocento il percorso continuò a essere utilizzato anche per il trasporto delle merci nella zona alta dell'isola. In seguito, probabilmente per la nuova destinazione dell'edificio adibito prima in Scuola Militare e poi in penitenziario, il collegamento perse progressivamente la sua funzione.

Oggi, nonostante il trascorrere incessante del tempo e le trasformazioni avvenute, il frammento della scala sopravvive, abbandonato, ma ancora visibile, seppur parzialmente coperto dall'esuberante vegetazione dell'isola, in attesa di esser riscoperto dallo sguardo di chi, dal mare, punta verso la Terra.

Bibliografia

Alisio G. 1976. *Siti Reali dei Borboni. Aspetti dell'architettura napoletana del Settecento*. Roma: Officina Edizioni.

Assante F. 2015. *La regina delle carceri. Storia e storie del Carcere di Procida*. Napoli: Giannini Editore.

Associazione Palazzo D'Avalos. 2020. *Da reggia a carcere, guida a Palazzo d'Avalos*. Roma: Nutrimenti.

Barba M., Di Liello S., Rossi P. 1994. *Storia di Procida. Territorio, spazi urbani, tipologia edilizia*. Napoli: Electa.

Cirillo O. 2009. *Carlo Vanvitelli. Architettura e città nella seconda metà del Settecento*. Firenze: Alinea.

Di Liello S., Rossi P. 2017. *Procida. Architettura e paesaggio. Documenti e immagini per la storia dell'isola*. Roma: Nutrimenti.

Iodice R. 2017. *Palazzo d'Avalos e l'ex carcere di Procida. Il complesso monumentale rinascimentale tra passato, presente e futuro*. Roma: Nutrimenti.

Note

[1] Il porto era caratterizzato già anticamente dalla presenza di una torre difensiva, costruita sull'estremo della spiaggia di Sancio Cattolico, che divenne prima deposito di mercanzie e ricovero degli isolani poi residenza della famiglia Scotto di Tabaia.

[2] Cosiddetta per la fascia di terra di natura vulcanica che si sviluppa verso Nord.

[3] Archivio di Stato di Napoli, Maggiordomia Maggiore e Soprintendenza generale di Casa Reale. Terzo Inventario, Segreteria di Casa Reale, 1530, b. 46.

Elisa Boeri, Michela Pilotti

“Gli ingegneri degli architetti”: dal gruppo Structures3 al sodalizio tra Ove Arup & Partners e Renzo Piano (1971-1981)

“The engineers of architects”: from Structures3 group to the partnership between Ove Arup & Partners and Renzo Piano (1971-1981)

Sommario

All’inizio del 1971 l’ingegnere Peter Rice (1935-1992), poco più che trentenne e reduce dall’esperienza costruttiva della Sidney Opera House, lavora all’interno del gruppo Structures3 sotto la direzione dell’ingegnere inglese Ted Happold (1930-1996), associato di Ove Arup & Partners di Londra, dedicandosi alla realizzazione di tensostrutture e coperture tessili, spesso progettate con Frei Otto (1925-2005). È proprio quest’ultimo che, tramite la conoscenza dell’architetto Richard Rogers (1933-2021), contribuisce alla nascita di un sodalizio forte e duraturo che porterà alla realizzazione di alcune delle opere più significative di Renzo Piano (1937-). Tra queste, il *Beaubourg* (1971-1977) rappresenta un esempio concreto della complessa quanto necessaria integrazione tra ingegneria e progettazione architettonica, testimoniando la riuscita di una piena comprensione dei diversi ruoli e requisiti nel corso dell’intero processo progettuale. Peter Rice e Ted Happold, nonostante il loro apparente ruolo secondario, come ricordato dalla definizione di “gli ingegneri degli architetti” (Arup & Partners, 1986), spesso utilizzata per identificarli, si sono distinti come figure professionali in grado di comprendere le esigenze dei progettisti nella loro totalità. Se, nell’esperienza del Beaubourg, in fase concorsuale la società Ove Arup non può ritenersi protagonista al pari dello studio Piano & Rogers, a partire dal progetto esecutivo la stessa rivendica la centralità della componente ingegneristica. Peter Rice scavalca le intenzioni del governo, che aveva pianificato di affidare l’esecuzione dei lavori a personalità francesi, e si batte per l’utilizzo della fusione in acciaio, pratica considerata dall’industria parigina come estranea alla modernità del 1971. Questo intervento vuole quindi indagare la collaborazione professionale instauratasi tra le due realtà, una ingegneristica e l’altra architettonica, avviata negli anni Settanta e attiva tutt’oggi, con un affondo sui dieci anni che seguono la proclamazione del concorso per il Centre Pompidou.

Abstract
At the beginning of 1971, engineer Peter Rice (1935-1992), in his early thirties and fresh from his experience building of the Sidney Opera House, works within the Structures3 group under the direction of the English engineer Ted Happold (1930-1996), an associate of Ove Arup & Partners in London, dedicating himself to the construction of tensile structures and textile roofs, often designed with Frei Otto (1925-2005). It was the latter who, through his acquaintance with architect Richard Rogers (1933-2021), contributed to the birth of a strong and lasting partnership that would lead to the realisation of some of Renzo Piano's most significant works. Among them, the *Beaubourg* (1971-1977) is a concrete example of the complex and necessary integration of engineering into the architectural design, testifying to a successful understanding of the different roles and requirements throughout the design process. Peter Rice and Ted Happold, in spite of their apparent secondary role, as recalled by the definition of "the architects' engineers" often used to identify them, they stood out as professional figures capable of understanding the requirements of the designers in their entirety and with full respect. If, in the experience of the Beaubourg, the Ove Arup company cannot be considered as a protagonist on a par with the Piano&Rogers studio during the competition phase, from the executive project onwards it claims the centrality of the engineering component. Peter Rice bypasses the intentions of the government, which had planned to entrust the execution of the work to French personalities, and argues for the use of steel casting, a practice considered by the Parisian industry to be alien to modernity in 1971. This paper aims to investigate the professional collaboration that has been established between these two entities, one of an engineering nature and the other of an architectural nature, initiated in the 1970s and continuing to the present day, with a particular focus on the ten years following the announcement of the competition for the Centre Pompidou.

Introduzione
Il percorso accademico di Ove Arup (1895-1988)[1], fondatore dello studio, avviatosi con gli studi in filosofia, costellato da un interesse per l'arte e per l'architettura e terminato con una laurea in ingegneria alla *Polytekniske Lereanstalt* di Copenaghen nel 1922, è emblematico del suo approccio alla disciplina ingegneristica. La pratica dell'ingegneria detiene un ruolo centrale all'interno del progresso umano, così come nella quotidianità degli individui, e l'intento di Arup è proprio quello di evidenziarne le caratteristiche umanistiche e sociali piuttosto che quelle meramente tecniche, appellandosi all'impatto positivo che questa ha sulla vita delle persone (Brensing e Kurrer, 2006, p. 1025; Arup, 2016, p. 6).

Negli anni Trenta Ove Arup getta le basi tecniche e ideali che lo portano, nel 1946, alla fondazione di Ove Arup & Partners, considerato uno dei più importanti

studi di ingegneria tra gli anni Sessanta e Settanta e tutt'oggi esistente, e alla coniazione del termine *Total design*. Sono questi gli anni in cui, in Gran Bretagna, gli architetti operano senza il supporto di un ingegnere civile, dal momento che, una volta terminata l'opera architettonica, le modifiche ingegneristiche vengono eseguite direttamente dall'appaltatore. In questo contesto, la filosofia del *Total design* risulta del tutto rivoluzionaria, così come le denunce mosse dallo stesso Arup per tale situazione e i tentativi volti ad appianare la disuguaglianza, alquanto ostacolante, esistente tra il ruolo dell'ingegnere e quello dell'architetto. Ove Arup auspica, infatti, una collaborazione vivace e creativa tra l'ambito architettonico e quello ingegneristico, oltre una integrazione di tutti gli elementi e di tutte le funzioni all'interno della progettazione (Arup and Partners, 1986).

La *leadership* di Arup nelle questioni gestionali dell'impresa e nella scelta dei collaboratori contribuisce a renderlo una delle figure professionali più influenti del XX secolo; Arup, spinto dall'innata fiducia riposta nelle capacità dei propri soci, delega in maniera naturale, favorendo il fiorire di carriere eccezionali che, col tempo, sono in grado di distaccarsi ed operare autonomamente. L'esempio più eclatante è rappresentato dal gruppo ingegneristico Structures3, creato nel 1968 da Povl Ahm (1926-2005), che, pur trattandosi di uno dei dipartimenti di progettazione strutturale creatosi all'interno di Ove Arup & Partners, trova ampio spazio per specializzarsi nella realizzazione di strutture inusuali: Ted Happold è *partner* esecutivo, Peter Rice socio responsabile del settore analisi e Frei Otto collaboratore (Rice, 2012, p. 13). A partire da questo momento, una serie di coincidenze, di rapporti e di collaborazioni, prima tra tutte la conoscenza di Frei Otto e di Ted Happold con Richard Rogers[2], portano il gruppo di Ove Arup & Partners a partecipare, quasi per diletto e senza alcuna aspettativa, a un concorso che segnerà in modo indelebile la storia dell'architettura. Il 13 luglio 1971, quando la giuria per il concorso del Plateau Beaubourg annuncia la vittoria di Piano&Rogers e del loro gruppo, il nuovo museo assume a tutti gli effetti i caratteri di un progetto complesso di cui è richiesta l'effettiva realizzazione.

Con il presente contributo si intende ricostruire la vicenda costruttiva e ingegneristica del progetto, andando a riconoscere una soluzione di continuità tra le figure degli architetti Piano e Rogers e quelle degli ingegneri di Structures3, a cominciare dal forte legame non solo collaborativo e professionale, ma anche comunicativo, che un progetto di tale portata è stato capace di generare.

Gli ingegneri di Ove Arup: il gruppo di Structures3

Al fine di comprendere i molteplici contributi degli ingegneri di Structures3 nella vicenda costruttiva del Beaubourg, il *background* di tali figure costituisce una componente imprescindibile per far luce sulla qualità tecnica del progetto parigino e sui rapporti professionali instauratisi tra ingegneri e architetti.

Nel 1957 viene indetto un concorso per la realizzazione della Sidney Opera House, con la partecipazione di quasi 700 concorrenti. L'obiettivo è la progettazione di un edificio simbolo per la nazione, caratteristiche che si ritrovano una decina di anni dopo nella competizione per la realizzazione di un centro culturale multifunzionale da realizzarsi sul Plateau Beaubourg, a Parigi. L'architetto danese Jørn Utzon (1918-2008) si aggiudica la vittoria al concorso, presentando un progetto che sin dal principio si dimostra tanto ambizioso quanto complesso. Al momento della formazione della squadra di lavoro, Utzon, sotto consiglio dell'architetto Eero Saarinen (1910-1961), il quale ricopre un ruolo determinante nella deliberazione del progetto vincitore, si rivolge allo studio di ingegneria Ove Arup & Partners. L'ingegnere Jack Zunz (1923-2018) è quindi a capo della squadra che si occupa di progettare la copertura della Sidney Opera House, affiancato, in un secondo momento, dal giovane e neolaureato Peter Rice (Barry, 2012, p.13). La partecipazione a questo progetto costituisce per il futuro della carriera di Peter Rice, ingegnere, un'esperienza esemplificativa e fondativa, sia per le analogie tra tale concorso e quello del Beaubourg, sia per l'affermazione di Ove Arup & Partners a livello mondiale. Quello di Sidney si rivela un cantiere lungo e complesso in cui Rice lavora per sette anni, dall'altra parte del mondo, e in cui i rapporti con l'architetto responsabile, Jørn Utzon, sono spesso tesi e connotati da una non condivisione dei principi progettuali, a tal punto da rendere impossibile la compresenza in cantiere della squadra ingegneri-architetto (Rice, 2012, p. 17; Dal Co, 2016, pp. 30-31; Candela, 1967). L'esperienza di Sidney rappresenta per Rice un campo di prova per testare non solo le sue consapevolezze nella progettazione di strutture complesse e leggere, ma anche per esercitare la sua capacità di comprendere le idee e le intenzioni degli architetti che collaborano con lui, al fine di rendere ogni loro ambizione progettuale realizzabile.

Nella primavera del 1968, dopo aver trascorso un anno e mezzo negli Stati Uniti, Peter Rice fa ritorno a Londra. Povl Ahm, che già aveva contribuito al progetto del teatro tramite la realizzazione del podio, lo accoglie all'interno del gruppo Structures3, insieme a Frei Otto e a Ted Happold. Frei Otto, che nel 1964 fonda l'Istituto per lo studio delle strutture leggere all'Università di Stoccarda, propone coperture leggerissime, risultanti dallo studio di comportamenti elastici, sollecitazioni e stati tensionali di membrane e reti che sembrano fluttuare nel vuoto come vele, sorrette appena da sottili cavi e sostegni: opere, queste, che influenzeranno in maniera tangibile i primi progetti sperimentali del giovane architetto Renzo Piano (Otto, 1966). Nel 1969, tra i soci di Ove Arup, è proprio Frei Otto a instaurare il primo contatto con uno degli architetti protagonisti della vicenda Beaubourg (Happold e Rice, 1973, p. 2). Quando, infatti, Ted Happold propone ai colleghi di Ove Arup & Partners di partecipare al concorso per il Plateau Beaubourg, indetto dal neopresidente francese Georges Pompidou (1911-1974) nel dicembre di quell'anno, si trova di fronte alla

clausola, imposta dal bando, che prevede l'ammissione come proponenti di soli architetti. L'ingegnere inglese non esita a contattare Rogers, il quale a sua volta ha da qualche anno iniziato a collaborare con Piano[3]. La Ove Arup & Partners propone quindi a Renzo Piano, a Richard Rogers e al genovese Gianfranco Franchini (1938-2009) di partecipare al progetto, assumendosi l'onere di coprire l'ammontare delle spese richieste per la presentazione della proposta, avviando così un nuovo sodalizio ingegneri-architetti (Rogers, 2017, pp. 123-124; Hamzeian, 2022, pp. 105-106).

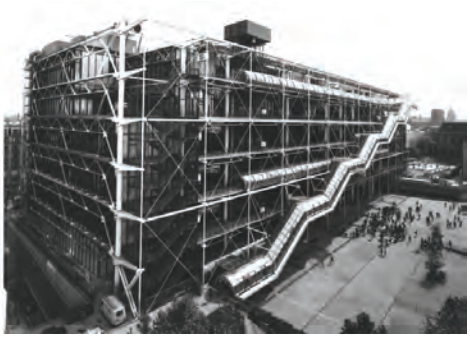


Fig. 1 - Il Centre Georges Pompidou [1].

"La trace de la main": ingegneri di Ove Arup & Partners nel progetto per il Plateau Beaubourg

La vicenda concorsuale del Beaubourg si pone come un evento isolato nel contesto architettonico e culturale a cavallo tra la fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta. Quando Pompidou indice il concorso per la costruzione di un nuovo centro culturale parigino, le competizioni di architettura sono sporadiche, i membri della giuria spesso non dimostrano sufficiente familiarità con l'oggetto del bando e le linee guida si rivelano sommarie e poco analitiche (Arup and Partners, 1986; Rogers, 2017, p. 125). Il bando per il plateau Beaubourg, in Figura 2, è indetto in un momento estremamente delicato per la storia della capitale e per il popolo parigino; la città è da poco stata teatro degli stravolgimenti sul piano politico e culturale che lo spirito delle rivolte della primavera sessantottina ha portato con sé. L'ambizione del presidente Pompidou è quella di innescare una vivace svolta culturale, assicurando a Parigi un ruolo guida nella produzione culturale, spesso a costo di scatenare il malcontento dell'opinione pubblica (Denti, 1998, p. 5). Come primo passo, il 2 dicembre 1969 il Presidente della Repubblica francese informa il Ministro degli Affari Culturali Edmond Michelet (1899-1970) di voler aprire un concorso per edificare una *Maison de la culture* (Hamzeian, 2022, p. 310)[4]. La competizione viene lanciata alla vigilia

Fig. 2 - Il Plateau Beaubourg, 1970 (Archivio Institut Georges Pompidou).

di un'altra consistente azione culturale operata da Pompidou, che non manca di scatenare nuove polemiche: la demolizione nell'estate del 1971 de Les Halles, in Figura 3, i mercati situati non molto distante dal Plateau Beaubourg, capolavoro in ghisa, ferro e vetro di Victor Baltard (1805-1874) e massima espressione della cultura industriale della prima età della macchina (L'architecture d'Aujourd'hui, 1977, pp. 44-45).

Fig. 3 - La demolizione dei padiglioni de Les Halles, 1971 (Archives de Paris).

L'annuncio del concorso per il Centre Beaubourg compare all'inizio del 1971 sulla "*RIBA Architectural Competitions Newsletter*" e la scadenza per la presentazione delle proposte è fissata per il 15 giugno 1971. I tempi a disposizione del nuovo gruppo di lavoro, composto da Piano, Rogers e Franchini e dagli ingegneri di Structures3, sono ristretti, se si considera che i rapporti e gli incarichi all'interno della nuova collaborazione sono totalmente da stabilire e impostare.

La giuria formula una serie di criteri che vanno dalla qualità architettonica della proposta all'adeguatezza alla nuova cultura contemporanea, senza tralasciare la flessibilità, l'adattamento degli spazi e l'estensione delle attività all'intorno urbano (Cornu, 1971, p. 5). Dopo un'accelerazione dei lavori svolti dalla commissione, che si riunisce il 5 luglio 1971 e ultima le sue decisioni solo una decina di giorni dopo, il 18 luglio 1971 il gruppo di Piano, Rogers e Structures3 viene decretato vincitore, distinguendosi tra le 681 proposte internazionali presentate. Prevedendo la creazione di una piazza, in Figura 4, e quindi di uno spazio pubblico aperto e fruibile dalla città, il gruppo vincitore si fa interprete di uno dei criteri di selezione della giuria, che mira appunto alla realizzazione di uno strumento per l'informazione e per lo spettacolo, così come alla nascita di un luogo urbano teatro di avvenimenti spontanei, capace di vitalizzare il quartiere (Piano e Rogers 1972, pp. 9-13).

Al momento della vittoria, come gli stessi ingegneri di Ove Arup & Partners riconoscono, i veri protagonisti e i promotori di un progetto che aspira a uno spazio così evolutivo sono proprio gli architetti Piano, Rogers e Franchini; la componente ingegneristica del gruppo si fa temporaneamente da parte, consapevole che, inevitabilmente, una proposta così ambiziosa necessiterà di una struttura altrettanto avanzata (Rice, 2012, p. 15). Seppur a un livello essenziale, come mostrato in Figura 5, gli ingegneri, già in fase concorsuale, propongono una struttura metallica flessibile in cui gli unici elementi fissi sono rappresentati dai pilastri e dai tiranti di irrigidimento; le solette dei piani e le relative travi sono mobili, sostenute da giunti, e i tubi della struttura sono riempiti di acqua per la protezione dal fuoco e dalla corrosione (Domus, 1971, p. 2).

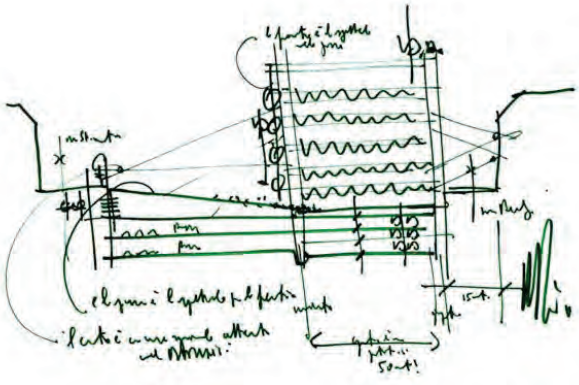


Fig. 4 - Schizzo di Renzo Piano presentato in fase di concorso: rapporto Centre Pompidou-piazza pedonale, 1971 (Genova, Archivi Storici Politecnico di Milano, Archivio Renzo Piano, BE1-RP_011).

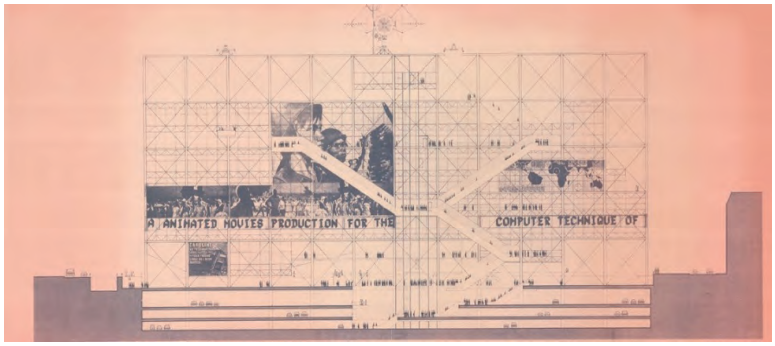


Fig. 5 - Prospetto sulla piazza del Centre Pompidou presentato in fase di concorso, 1971 (Genova, Archivi Storici Politecnico di Milano, Archivio Renzo Piano).

Data l'elevata pressione esercitata dal governo, il quale richiede il completamento del centro entro novembre 1975, la collaborazione tra architetti e ingegneri si concretizza quasi nell'immediato. Il gruppo di lavoro, infatti, stipula con il committente un contratto della durata di tre mesi, durante i quali si impegna a modificare e a revisionare il progetto presentato, modulandolo in base al *budget* stabilito. La nuova proposta progettuale viene illustrata nell'ottobre 1971 e, parallelamente, il gruppo Structures3 redige una relazione sulla pianificazione del progetto, includendo una descrizione degli studi di costruzione e delle prime attività da svolgere ed esplicitando la necessità di nominare l'impresa *Grand Travaux de Marseille* come *main contractor,* figura centrale nel governo del processo progettuale e nella risoluzione di eventuali controversie interpersonali (Bolingbroke, 1973, p. 4).

Fig. 6 - Collage del team di Beaubourg (Genova, Archivi Storici Politecnico di Milano, Archivio Renzo Piano).

Gli ingegneri, su volontà stessa degli architetti Piano, Rogers e Franchini, entrano ufficialmente nel progetto e occupano un ruolo ben definito all'interno di esso. Architetti e ingegneri si trasferiscono a Parigi, ma la necessità di ampliare il *team*, in Figura 6, si fa urgente dopo i primi incontri con Pompidou e con Robert Bordaz (1908-1996), Presidente dell'Istituzione Pubblica del Pompidou. A Peter Rice si aggiungono gli ingegneri Tom Barker e Lennart Grut, mentre Ted Happold rappresenta la Ove Arup & Partners, occupandosi di partecipare alle trattative lunghe e complesse con i clienti e le autorità. Il gruppo appena formato è compatto e resiste alle continue critiche mosse dal governo francese nei confronti della figura dell'ingegnere britannico. Il dinamismo della squadra è evidente sin dal principio: le singole personalità e gli apporti creativi individuali emergono, ma senza mai prevalere sulla complementarità dei ruoli e sul desiderio di ciascun componente di cooperare con gli altri (Rice, 2012, pp. 18-20).

La collaborazione tra i tre architetti e gli ingegneri di Arup risulta in questo progetto particolarmente riuscita e facilitata, poiché sin dal principio vi è una totale condivisione dei principi progettuali e della loro filosofia da parte degli uni e degli altri.

La lezione di Sidney, in questo senso, è esemplare non solo perché evidenzia come tale complicità in quel caso sia venuta totalmente a mancare, ma anche per indagare i diversi approcci adottati circa la questione della forma strutturale all'interno di un progetto (Dal Co, 2016, p. 37)[5]. Nella Sidney Opera House, Utzon ha come punto di partenza una precisa e complessa forma strutturale, a partire dalla quale successivamente sviluppa una serie di passaggi impostati al solo scopo di ottenere la forma desiderata. I rapporti tra Utzon e Rice si incrinano infatti proprio perché quest'ultimo non condivide tale approccio, ritenendo il suo pensiero molto più affine a quello di Otto, che dimostra di possedere una mentalità più aperta e flessibile per quel che concerne la tematica strutturale; auspicando la semplicità e la leggerezza della struttura, sperimenta ed esplora diverse tecniche mirate a produrre forme innovative, senza forzarle al fine di ottenere un particolare effetto architettonico (Dal Co, 2016, pp. 36-37). Piano e Rogers, così come Rice e Happold, ammirano la semplicità strutturale delle costruzioni di Otto; la sua continua ricerca e aspirazione alla leggerezza è visibile nei lavori di Piano e di Rice nel momento in cui i due sperimentano diversi metodi di costruzione atti a ridurre il peso dei componenti strutturali incrementando l'economia dei materiali (Bordaz, 1997, p. 20).

Durante la costruzione del Beaubourg, l'idea di Piano di un'«architettura come tensione tecnologica» (Donin, 1982, p. 10), da una parte, e le diverse combinazioni e configurazioni strutturali di Rice, dall'altra, contribuiscono ad annullare quel divario esistente tra la professione dell'ingegnere e quella dell'architetto, in un *do ut des* vicendevole e costruttivo, capace di rendere la comprensione delle strutture immediata e istintiva a chiunque (Barry, 2012, p. 24). L'unione intenzione-esecuzione è imprescindibile per Peter Rice, così come l'accuratezza nei particolari e nel funzionamento dell'insieme delle parti; la percezione del segno umano e la volontà di lasciare un'impronta personale sono condizioni non sacrificabili per l'ingegnere di Ove Arup & Partners. Tale atteggiamento è immediatamente percepibile in fase esecutiva, quando la questione primaria risulta essere quella relativa alla scelta di una struttura adeguata, un'occasione decisiva per ottenere un appropriato riconoscimento del valore e dell'operato degli ingegneri nella vicenda costruttiva del Beaubourg. Il contributo di Rice inizia, infatti, a distinguersi e a emergere nel momento in cui afferma di voler utilizzare la tecnica dell'acciaio fuso per realizzare la struttura dell'opera. Il suo indirizzamento verso tale soluzione è l'effetto di due precise circostanze: la visita all'Esposizione Internazionale di Osaka del 1970 e la vicinanza de Les Halles al Plateau Beaubourg (Crompton, 1977). In occasione della visita in Giappone, Rice può ammirare i giunti in acciaio realizzati in fusione che connotano la struttura spaziale reticolare di Kenzo Tange (1913-2005), particolare che si ritrova anche nelle decorazioni in ghisa dei mercati di Les Halles. La spinta che induce Rice ad adottare una tecnica costruttiva ritenuta ormai inusuale ed estranea alla modernità dell'industria parigina degli anni Settanta arriva dalla volontà di rendere il proprio contributo distinguibile e apprezzabile a discapito della standardizzazione, in un'epoca in cui l'espressione personale e creativa è indebolita da processi di tipizzazione seriale. È proprio nelle decorazioni in ghisa dei mercati, che un tempo sorgevano non molto distanti dal plateau Beaubourg, che Rice riconosce quell'elemento distintivo che tanto ricerca nella struttura del Beaubourg e che, a detta sua, rende ancora viva l'intenzione dei progettisti di allora. (Rice, 2012, p. 21).

La struttura del nuovo museo ha il principale compito di smorzare il carattere tipicamente aulico dei luoghi di cultura; a questo scopo, deve garantire la presenza di spazi ampi, liberi e flessibili, che non costringano e non opprimano il visitatore. Gli ingegneri di Structures3 assicurano massima priorità e premura nell'assecondare la richiesta degli architetti, nonostante le difficoltà incontrate nella definizione di un sistema di travi che non alteri la trasparenza e la flessibilità degli ambienti. La scelta di collocare gli impianti meccanici, le strutture verticali e i sistemi di movimentazione ai margini di ogni piano, sgomberando così i piani di 48 m di altezza totale per 150 m di superficie e rendendoli adattabili nel tempo, solleva un'importante questione per gli ingegneri di Structures3 (Architectural design, 1975, p. 309).

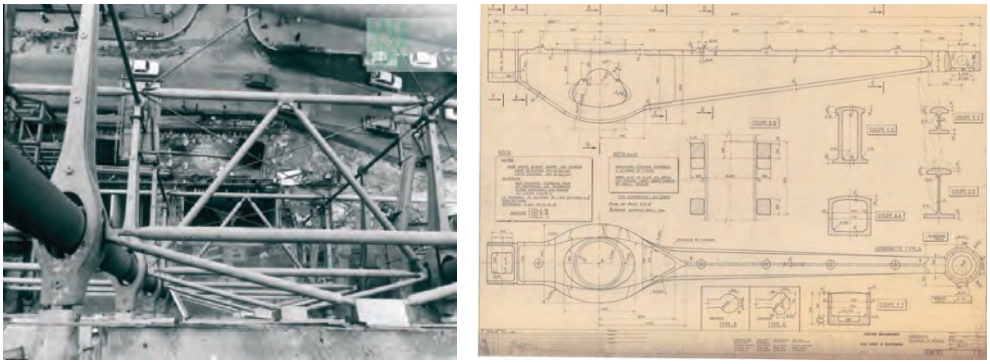


Fig. 7 - La trave gerberette che sostiene il pilastro e i tiranti, 1975 (Genova, Archivi Storici Politecnico di Milano, Archivio Renzo Piano, BE1_E_005).

Peter Rice e Lennart Grut, disponendo di superfici così ampie, devono capire in che modo le file di pilastri ai due lati lunghi dell'edificio possano sostenere questi spazi e trovare, quindi, una trave in grado di coprire una luce di quasi 50 metri. Dopo una serie di proposte che non incontrano l'approvazione degli architetti, gli ingegneri suggeriscono di sostenere la trave su una corta mensola a sbalzo, la cosiddetta *gerberette*, un elemento strutturale che da lì a poco diventerà il simbolo del Centre Pompidou. Ancora una volta, il gruppo di Structures3, per far fronte a complesse questioni strutturali, attinge dal passato ridefinendo la forma e le caratteristiche di una particolare trave inventata nel XIX secolo dall'ingegnere tedesco Heinrich Gerber (1832-1912). Date le sollecitazioni e i carichi che deve sopportare, la trave assume uno spessore più sottile verso il tirante e uno più massiccio attorno al pilastro, come mostrato in Figura 7. Anche in questa occasione, è evidente come il risultato della forma della gerberette non sia frutto solo del disegno dell'insieme delle forze che agiscono su di essa, ma anche di quella creatività individuale tanto ricercata da Rice (Rice 2012, p. 24; Rogers 2017, pp. 150-151). Nonostante la sua produzione industriale presso le fonderie della Krupp, la gerberette è un elemento personale e distinguibile nella totalità della struttura del Beaubourg; tale soluzione strutturale, all'interno della complicata vicenda costruttiva del Centre Pompidou, si distingue come un gesto simbolo della sfida portata avanti dal gruppo di ingegneri.

Conclusioni

Per Peter Rice l'esperienza del Centre Pompidou si è rivelata un'occasione per riflettere su alcune definizioni che spesso identificano la figura dell'ingegnere, "gli ingegneri degli architetti" e "architetto-ingegnere", e per dibattere su una tematica oggi molto attuale, che riguarda la svalutazione del ruolo degli ingegneri. Quello che Rice

intende evidenziare, nella sua collaborazione con gli architetti, è il fatto che queste due professioni, sebbene talvolta affini e pur operando su un medesimo progetto, si interfacciano con problematiche differenti, producendo *output* diversi.

Renzo Piano, a tal proposito, ritiene questo «ping pong multidisciplinare» (Barry, 2012, p. 24) un fattore essenziale per conseguire la completezza del progetto e la nuova collaborazione professionale avviatasi nel 1977 ne è la testimonianza. L'inaugurazione del Centre Pompidou, avvenuta il 31 gennaio 1977, segna l'inizio di una nuova fase per la carriera di Piano. L'architetto, appena quarantenne, abbandona Parigi e il ritorno nella sua città natale porta con sé alcuni cambiamenti nell'ambito delle associazioni professionali: Piano dichiara conclusa la collaborazione con Richard Rogers e prosegue, invece, con la fondazione di uno studio insieme a Rice (Ciccarelli, 2015, p. 8). Per il nuovo sodalizio instauratosi tra l'architetto Piano e l'ingegnere di Ove Arup & Partners, il *post-Beaubourg* apre una stagione di progetti che si discostano dalla progettazione *ex novo* e si concentrano maggiormente sulla componente umana e sociale; l'intento comune è quello di riaffermare le figure dell'architetto e dell'ingegnere anche su un piano differente da quello meramente costruttivo.

Gli esiti di questa nuova fase progettuale dello Studio Piano & Rice sono rilevabili tra il 1977 e il 1981: anni in cui i progetti, spesso rimasti esclusivamente su carta, riguardano componenti, strutture e costruzioni mobili di natura sperimentale. Eppure, nonostante la natura teorica di molti elaborati, questi anni sono cruciali per Piano, sia perché pongono le basi per la fondazione del Renzo Piano Building Workshop, avvenuta nel 1981, sia perché favoriscono la sua crescita professionale, consolidatasi con la commissione per la *Menil Collection* nello stesso anno.

Crediti

Elisa Boeri: Introduzione; Gli ingegneri di Ove Arup: il gruppo di Structures3.
Michela Pilotti: "La trace de la main": ingegneri di Ove Arup & Partners nel progetto per il Plateau Beaubourg; Conclusioni.

Bibliografia

Arup O. & Partners (a cura di). 1986. *Technology in architecture.* Milano: EdizioniTechno.
Arup. 2016. *Arup. Total design over time*. London: Wardour.
Banham R. 1976. Piano+Rogers' architectural method. A+U, 66, 64-122.
Barry K. (a cura di). 2012. *Traces of Peter Rice*. Dublin: Lilliput Press.
Bolingbroke P. 1973. Centre Beauburg: introduction. The Arup Journal, 8, 4.
Bordaz R. 1997. *Entretiens Robert Bordaz Renzo Piano*. Paris: Éditions Cercle d'art.
Brensing C., Kurrer K. 2006. 60 Jahre Ove Arup & Partners. Stahlbau, 5, 1025-1027.
Candela F. 1967. El escandalo de la Opera de Sydney. Arquitectura, 108, 29-34.
Ciccarelli L. 2015. *Renzo Piano prima di Renzo Piano. Gli anni della formazione 1958-1971*. Tesi di dottorato. Roma: Università degli Studi di Roma Tor Vergata.

Cornu M. 1971. Concours Beaubourg: est-ce un signe de notre temp? Architecture, Mouvement, Continuité, 23, 3-20.
Crompton D. 1977. Centre Pompidou. A live centre of information. Architectural design, 2.
Dal Co F. 2016. *Centre Pompidou: Renzo Piano, Richard Rogers and the making of a modern monument*. New Haven: Yale University Press.
Denti G. 1998. *R. Piano, R. Rogers, O. Arup: il Centre Georges Pompidou*. Firenze: Alinea.
Donin G. 1982. *Renzo Piano. Pezzo per pezzo*. Bari: Casa del libro.
Fumaroli M. 1998. *L'État culturel, essai sur une religion moderne*. Paris: Editions de Fallois.
Hamzeian B. 2022. *Live Centre of Information. De Pompidou à Beaubourg (1968-1971)*. Barcellona: Actar Publishers.
Happold T., Rice P. 1973. Centre Beauburg: introduction. The Arup Journal, 8, 2-3.
Jones P. 2006. *Ove Arup: Masterbuilder of the Twentieth Century*. New Haven: Yale University Press.
Otto F. 1966. Comportamento Statico Di Membrane e Reti. Casabella, 307, 36-39.
Piano R., Rogers R. 1972. A Parigi per i parigini. Evoluzione del progetto Piano+Rogers per il 'Centre Beaubourg'. Domus, 511, 9-13.
Pidgeon M. 1975. Piano&Rogers. Architectural design, 15, 275-311.
Rice P. 2012. *L'immaginazione costruttiva*. Milano: Christian Marinotti Edizioni.
Rogers R. 2017. *A place for all people: life, architecture and the fair society*. Edinburgh: Canongate Books.

Sitografia

[1] www.centrepompidou.fr

Note

[1] Per i principali cenni bibliografici su Ove Arup: (Jones, 2006).

[2] Nel 1969 Richard Rogers e la moglie Su Brumwell (1939-) propongono a Frei Otto di partecipare al concorso per la realizzazione di una nuova tribuna per lo stadio di Chelsea. Nonostante l'impossibilità dell'ingegnere tedesco a prendere parte al progetto, egli suggerisce ai due coniugi di rivolgersi al gruppo di Structures3; proprio in tale occasione Ted Happold incontra Richard Rogers.

[3] Per un confronto sull'approccio progettuale adottato da Renzo Piano e da Richard Rogers: (Banham, 1976; Pidgeon, 1975).

[4] La novità di questa nuova Casa della cultura, rispetto a quelle che andavano a costituire una sorta di «cintura di "città satelliti"» (Fumaroli, 1998, p. 284), è quella di essere inserita nel centro storico di Parigi.

[5] Dal Co utilizza l'espressione «*butterfly effect*» per fare riferimento alle conseguenze e agli effetti che la vicenda di Sidney ha avuto su Parigi.

Federica Ribera, Pasquale Cucco, Giulia Neri

Il Piano di Conservazione come strumento di tutela dell'architettura del XX secolo. Una sperimentazione per l'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano

The Conservation Plan as a tool for protecting 20th century architecture. An experiment for Pier Luigi Nervi's Hangar in Pontecagnano

Sommario
Nell'attuale dibattito scientifico circa la questione della conservazione del patrimonio moderno, il documento ICOMOS Conservation Plan costituisce un avanzamento nel definire un approccio metodologico in grado di sviluppare un sistema di identificazione di valori, che non si limiti soltanto alla consistenza materica, ma che sappia comprendere tutti gli aspetti, anche immateriali, che caratterizzano una determinata opera. Questo contributo riassume l'esperienza di ricerca relativa all'aviorimessa che Pier Luigi Nervi nel 1939 progetta e realizza a Pontecagnano Faiano (SA), in cui sperimenta per la prima volta le sue più brillanti intuizioni strutturali, compositive e formali. Il caso costituisce un esempio applicativo del Conservation Plan atto a garantire un utilizzo compatibile e la conservazione di un'opera emblematica della storia dell'ingegneria italiana del Novecento.

Abstract
In the current scientific debate on the issue of modern heritage conservation, the ICOMOS document Conservation Plan constitutes an advancement in defining a methodological approach capable of developing a system of value identification, which is not limited only to material consistency, but which is able to include all aspects, including intangible ones, that characterise a historical work. This paper summarises the research experience related to the hangar that Pier Luigi Nervi designed and realised in 1939 in Pontecagnano Faiano (SA), in which he experimented for the first time his most brilliant structural, compositional, and formal intuitions. The case is an applied example of the Conservation Plan to guarantee compatible use and conservation of an emblematic work in the history of 20th century Italian engineering.

Introduzione
Gran parte dell'architettura del Novecento d'autore, considerata fragile e vulnerabile, si presenta complessa e faticosa da decifrare, oltre che estesa numerica-

mente e dimensionalmente (Casciato e d'Orgeix, 2012). Le difficoltà nell'indagine storico-critica sono spesso legate al mancato riconoscimento di questa produzione come parte di un patrimonio culturale di interesse collettivo da studiare, conservare e tutelare, che ha spesso ostacolato l'adozione di un approccio scientifico e operativo per la sua tutela e trasmissione futura. In particolare, nell'ambito della comunità scientifica si avverte la necessità di delineare e condividere opportuni metodi e strumenti volti a una conoscenza approfondita dei manufatti su cui si intende intervenire e in quest'ottica un percorso della conoscenza adeguato consente di esprimere un giudizio consapevole volto a indirizzare le future scelte progettuali di recupero, riuso, conservazione e valorizzazione (Reichlin, 2011). Nel processo di conservazione e tutela della produzione moderna d'autore, la conoscenza diventa cruciale per comprendere la complessità che questa manifesta e per dichiararne gli attributi di valore, la cosiddetta significance. In questo contesto, l'obiettivo è quello di ricercare un ordine per la lettura dell'architettura e dello spazio, individuando le regole che strutturano l'insieme dal punto di vista formale, tecnologico, costruttivo e compositivo.

Nell'ambito del processo di conservazione e tutela della produzione moderna di valore, dapprima opportunamente vagliata attraverso criteri di selezione opportunamente definiti (Cucco e Santoro, 2021), sembra necessario ricorrere a strumenti integrativi per pianificare compatibili programmi d'intervento e di gestione propedeutici al progetto, tra cui i cosiddetti "Piani di Conservazione".

Il Piano di Conservazione, pertanto, va considerato uno strumento attivo e innovativo. In Italia occuperebbe un gradino intermedio tra la "dichiarazione di interesse culturale" e il progetto di recupero e conservazione: la prima si limita a indicare le motivazioni storiche e critiche per le quali il bene va tutelato; il secondo contiene indicazioni più meramente operative (Carughi, 2022).

Questo contributo riassume l'esperienza, attualmente nelle sue ultime fasi, relativa alla redazione del Piano di Conservazione dell'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano (SA), realizzata nel 1939, che per le sue caratteristiche strutturali, architettoniche e formali è da considerare come un importante tassello nella storia dell'ingegneria in Italia.

Il Piano di Conservazione dell'architettura moderna

Il Piano di Conservazione è il documento che stabilisce la sequenza delle attività che caratterizzano la conservazione preventiva e programmata di un'opera, sintetizzando il processo costituito da una coerente e coordinata attività di conoscenza, prevenzione, manutenzione e recupero. Esso si configura, quindi, come uno strumento di gestione operativa all'interno del processo di conservazione e tutela dell'architettura. In ambito internazionale è consolidata l'importanza del percorso conoscitivo quale metodologia di approccio per il progetto di conservazione e restauro che trova fon-

damento nel documento ICOMOS "A Guide to the preparation of conservation plans for places of European cultural significance" [1], in conformità con il documento australiano Carta di Burra.

La metodologia di pianificazione della conservazione, fondata su tali documenti e applicata alle opere del Novecento, si concentra sullo sviluppo di uno strumento capace di guidare e gestire il futuro del patrimonio architettonico moderno, individuando un adeguato equilibrio tra la conservazione dei suoi valori materiali e immateriali e la necessità di cambiamento, spesso dovuta all'evoluzione delle destinazioni d'uso o alle necessità di adeguamenti normativi. Di conseguenza, il contenuto di un Piano di Conservazione è organizzato in passaggi consequenziali che interessano il passato, il presente e il futuro.

Risulta evidente, quindi, come il Conservation Plan costituisca un avanzamento nel definire un approccio metodologico che possa condurre interdisciplinarmente non solo alle fasi di analisi e resa operativa di intervento, ma anche di gestione e monitoraggio futuri. Allo stesso tempo emerge la consapevolezza di come sia difficile proporre una versione univoca per uno strumento valido a livello internazionale dove il contesto culturale, sociale e geografico di riferimento rappresenta un'importante variabile (Bruschi, 2023). La promozione di una metodologia di conservazione è di fondamentale importanza per quelle opere fragili e complesse, che rischiano di essere perdute ancor prima che ne siano totalmente espressi e compresi tutti gli aspetti e che sia esplorato il valore della loro autenticità e integrità (Vanlaethem e Poisson, 2000). Quello che emerge è la necessità di un approccio multidisciplinare, ancora più sentito per il patrimonio del Novecento, che è spesso frutto di contaminazioni interdisciplinari che sono alla base della sua attestazione di valore [2]. L'approccio suggerito è quello di sviluppare un sistema di identificazione di valori, relativi anche allo specifico contesto culturale, che non si limiti alla consistenza materica, ma che possa comprendere tutti gli aspetti che caratterizzano il caso studio.

Il Concrete Conservation Process si compone delle seguenti fasi:

1. pianificare il progetto: individuare un gruppo adeguatamente qualificato, definire gli obiettivi del progetto, identificare gli stakeholders e comprendere i requisiti normativi;
2. conoscere il manufatto e comprendere le urgenze conservative: valutare la significance, ricostruzione storica, materica, conservativa attraverso analisi diretta e indiretta;
3. sviluppare le strategie di conservazione: rispetto dei principi del restauro, scelta di metodi e tecniche coerenti, pianificare prove e test, se necessari;
4. implementare le scelte di progetto: messa in opera delle procedure conservative, controlli qualità, documentazione di progetto;
5. pianificare la manutenzione e il monitoraggio: redazione del piano di manutenzione, analisi e trattamento dei possibili rischi e impatti.

Il Piano di Conservazione dell'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano

Il Piano di Conservazione dell'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano, qui presentato nei suoi contenuti essenziali, si propone di orientare la riqualificazione dell'opera, fornendo gli strumenti conoscitivi necessari a una gestione dei cambiamenti rispettosa dei caratteri originari.

Consapevole della complessità della tema, il Piano si basa su un approccio multidisciplinare volto ad affrontare tutti gli attributi e i valori di significato dell'Aviorimessa, messi in pericolo da diverse vulnerabilità: l'assenza prolungata di operazioni di conservazione e manutenzione nonostante il fisiologico invecchiamento dei materiali, eventi eccezionali che ne hanno compromesso il funzionamento e, non ultima, la scarsa conoscenza dell'opera da parte di collettività, amministrazioni ed enti di tutela.

Il processo sotteso al Piano è organizzato nei seguenti passaggi consequenziali e coordinati che rispondono alle fasi del Concrete Conservation process:

1. descrizione del bene;
2. riconoscimento del valore e redazione del "certificate of significance";
3. collocazione storica e cronologica;
4. inquadramento territoriale;
5. analisi dello stato di fatto;
6. analisi dello stato di conservazione;
7. analisi degli aspetti tecnologici-costruttivi;
8. analisi degli aspetti strutturali;
9. proposte di recupero e conservazione compatibili;
10. riconoscimenti e provvedimenti amministrativi;
11. bibliografia di riferimento.

Lo sviluppo organico di tali fasi ha richiesto sinergie multidisciplinari in grado di analizzare tutti gli aspetti che concorrono a definire le specificità dell'opera. Di seguito vengono discusse soltanto alcune delle fasi trattate ampiamente nella redazione del Piano.

Descrizione del bene e riconoscimento del valore dell'opera

Nata per la Regia Aeronautica Militare, l'Aviorimessa di Pontecagnano rappresenta un'architettura fortemente connotata dall'uso estensivo del calcestruzzo armato prefabbricato a piè d'opera, sperimentato da Nervi qui per la prima volta e utilizzato poi nelle successive sue applicazioni.

Il concepimento dell'hangar salernitano si inserisce in un arco temporale che va dal 1937 al 1939, anni in cui Nervi ha già maturato un'esperienza nella progettazione e costruzione di aviorimesse civili e militari, ma qui sperimenta soluzioni che poi saranno perfezionate nei suoi progetti successivi (Sassone e Piccoli, 2010). Il progetto, a firma dell'impresa Ingg. Nervi & Bartoli, è il risultato di una feconda sperimenta-

zione costruttiva e comprende diverse varianti progettuali propedeutiche alla scelta definitiva, tra cui soluzioni tecnologiche, costruttive e compositive atte a garantire la stabilità dell'opera, la rapidità e facilità di realizzazione, la determinazione della forma finale e la qualità dello spazio interno.

Collocazione storica e cronologica

Sulla base della documentazione di archivio sono stati indagati la storia del contesto urbano, le fasi di costruzione e gli aspetti architettonici, strutturali e impiantistici del progetto originario. Sono stati consultati i seguenti archivi: CSAC - Centro Studi e Archivio della Comunicazione, a Parma, MAXXI - Collezioni Architettura, a Roma, Archivio Storico di Salerno, Archivio di Stato di Salerno e sono state raccolte le immagini storiche che hanno permesso di "cronotipizzare" il manufatto. Sono state così identificate le trasformazioni succedutesi nel tempo ed è stata condotta una campagna di acquisizione di dati geospaziali per rilevare la consistenza attuale dell'opera. Lo studio dei documenti di archivio ha permesso di ricostruire la storia evolutiva dell'opera e il suo ruolo nella produzione nerviana e nella storia dell'ingegneria della prima metà del Novecento.

Le informazioni ottenute dall'analisi della documentazione storica relativa alle fasi di progettazione e di cantiere si sono incrociate con l'osservazione delle caratteristiche dell'edificio e con le operazioni di rilievo in sito. Questa complessa indagine ha richiesto uno strumento di conoscenza grafica per definire le caratteristiche geometriche e materiche dell'opera fino ai dettagli costruttivi, descrivendo le specificità architettoniche e costruttive. I disegni sono anche un utile strumento di sintesi per arricchire la conoscenza degli elementi che definiscono l'identità dell'opera, oltre che uno strumento operativo a supporto del progetto di restauro.

Analisi degli aspetti strutturali

La struttura è articolata in 14 archi trasversali, con interassi di 4,25 m, che si sviluppano su una lunghezza di 61 m, coprendo una superficie utile di circa 2.600 m² in grado di ospitare fino a 46 velivoli. Gli archi sono costituiti da travetti reticolari realizzati a piè d'opera in casseforme di legno, utilizzate per più elementi (Ribera et al, 2014). Il rilievo strutturale realizzato nell'ambito della ricerca ha permesso di interpretare il funzionamento originario dell'opera e studiare lo stretto rapporto tra struttura, architettura e spazialità interna.

Il risultato è uno spazio centrale con un'altezza utile di 8 m, pari a circa la metà dell'altezza in chiave, destinato al deposito dei velivoli, affiancato da due ali laterali che ospitano ambienti di servizio come spazi per motociclisti, armieri, uffici squadriglia e magazzini per paracadute.

L'Aviorimessa risponde perfettamente alla definizione di architettura strutturale così come data da Nervi, ossia un'architettura in cui le funzioni portanti e di

involucro sono svolte da elementi diversi e ben identificabili; in questo modo, il sistema strutturale è chiaramente visibile dall'interno e dall'esterno, caratterizzando l'aspetto complessivo dell'opera (Nervi, 1956). Se l'eccellenza progettuale si raggiunge quando struttura, involucro, finiture e spazialità esprimono un unicum ricco ed espressivo, l'Aviorimessa l'ha certamente raggiunta.

L'Aviorimessa è attualmente in uso come sede operativa del 7° Nucleo Elicotteri Carabinieri di Pontecagnano, impegnato nelle operazioni di manutenzione ordinaria.

Analisi dello stato di fatto e dello stato di conservazione

L'analisi del degrado dei materiali e delle cause che lo hanno prodotto ha completato la conoscenza materica dell'hangar. L'attuale diffuso deterioramento dei materiali si dimostra in parte dovuto al fisiologico invecchiamento dei materiali e degli impianti, in parte legato a interventi impropri che hanno alterato il sistema originario.

Partendo dai dati disponibili provenienti dalle indagini, è stata effettuata l'analisi degli elementi danneggiati. Oltre alla caratterizzazione del calcestruzzo, sono stati descritti i rivestimenti e le finiture esterne, nonché le forme macroscopiche di degrado con i relativi interventi.

Inquadramento territoriale

Il Piano di conservazione offre inoltre un contributo metodologicamente originale per quanto riguarda le relazioni tra il manufatto e il suo contesto urbano e ambientale poiché inserisce, attraverso un accurato studio, le vicende relative all'Aviorimessa all'interno dei complessi sviluppi del territorio, sia nei rapporti con il contesto naturalistico che con quello costruito e infrastrutturale.

Altri aspetti

Il documento si conclude con proposte di intervento di recupero e conservazione compatibili con i caratteri culturali, sociali, urbani, architettonici e strutturali dell'opera. Le linee guida e le raccomandazioni in esso riportate delineano una strategia coerente di conservazione nella quale è indicata la tolleranza al cambiamento delle singole parti di cui si compone l'opera. Le tavole prodotte rappresentano uno strumento sintetico utile per far conoscere più approfonditamente gli elementi che definiscono l'identità dell'Aviorimessa e uno strumento operativo a supporto del progetto.

Sviluppi futuri

Le informazioni contenute nel Piano confluiranno, in una futura fase della ricerca, in una piattaforma HBIM, per fornire un efficace strumento operativo digitale per la gestione del manufatto.

Conclusioni

Gli interventi di recupero e conservazione di opere architettoniche del Novecento hanno evidenziato la necessità di adottare procedure diverse dalle metodologie, dalle tecniche e dagli strumenti applicati nel restauro tradizionale. Nell'architettura del Novecento ogni opera è un caso a sé stante, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti tecnologici e costruttivi che spesso sono strettamente legati al significato architettonico dell'edificio. Per tali opere, oltre a un processo filologico-conservativo, è necessario svolgere un processo di "progettazione" meticoloso, che richiede indagini conoscitive molto accurate. In ogni caso, è necessario partire dall'analisi storica, che però non deve concentrarsi solo sulle fasi progettuali, ma deve considerare anche le vicende realizzative ed evolutive.

È necessario quindi andare oltre la semplice ricostruzione cronologica degli eventi per fornire un'analisi dell'opera in grado di coglierne le caratteristiche peculiari e in grado di mettere a fuoco il modo specifico in cui la costruzione ha preso forma e ha contribuito alla definizione di un tipo architettonico nella produzione nerviana. Strumenti teorico-operativi come il Piano di Conservazione possono incoraggiare la conservazione e la tutela delle opere dell'architettura del Novecento, spesso fortemente trascurata dalla legislazione italiana relativa alla loro tutela, in totale controtendenza rispetto agli orientamenti scientifici di settore, con il risultato che architetture di grande rilievo sotto il profilo tecnologico, formale ed espressivo, oltre che culturale e identitario, sono prive di tutela e di compatibili programmi di conservazione, manutenzione e valorizzazione.

Il Piano di conservazione non riguarda, quindi, il manufatto in quanto oggetto isolato, ma rappresenta un nodo di relazioni urbane complesse che interessano il paesaggio, la mobilità e la coerenza delle funzioni urbane.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano il 7° Nucleo degli Elicotteristi di Pontecagnano per la disponibilità manifestata durante le operazioni di indagine storica e di rilievo in sito.

Si ringraziano, altresì, gli Archivi CSAC - Centro Studi e Archivio della Comunicazione, Parma, e MAXXI Collezioni Architettura, Roma.

Bibliografia

Bruschi G. 2023. Il Conservation Plan come strumento di tutela per l'Architettura del XX secolo. Policromie nascoste nell'opera di Nervi. In: *Pier Luigi Nervi e la questione del moderno. Cultura della conservazione e centralità del progetto* (a cura di P. Cucco e F. Ribera), 63-74. Roma: Aracne.

Casciato M., d'Orgeix E. (a cura di). 2012. *L'emergence d'un Patrimoine*. Bruxelles: Mardaga.

Carughi U. 2022. Strumenti di salvaguardia dell'architettura contemporanea. Docomomo Italia Giornale, 34, 8-13.

Cucco P., Santoro A.M. 2021. *Holistic Approach in Recovery and Conservation of Modern Architecture as Sign of Historical Identity. Athens Journal of Architecture, 7, 441-462.*

Nervi P.L. 1956. Concrete and Structural Form. The Structural Engineer, 34(5), 155-172.

Reichlin B. 2011. Riflessioni sulla conservazione del patrimonio architettonico del XX secolo. Tra fare storia e fare progetto. In: *Riuso del patrimonio architettonico* (a cura di B. Reichlin e B. Pedretti), 11-29. Milano: Silvana Editoriale.

Ribera F., Miccio G., Apicella P. 2014. Pier Luigi Nervi a Salerno: l'Hangar ritrovato. In: *Proceedings of the International Conference on History of Engineering - Atti del V Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e G. Fabricatore), *II, 1363-1374. Napoli: Cuzzolin Editore.*

Sassone M., Piccoli E. 2010. Otto aviorimesse in cemento armato. In: *Pier Luigi Nervi: architettura come sfida* (a cura di C. Chiorino e C.M. Olmo). *Milano: Silvana Editoriale.*

Vanlaethem F., Poisson C. 2000. Questioning Material/Conceptual Authenticity. In The Challenge of Change. Dealing with the Legacy of the Modern Movement. Proceedings of the 10th International Docomomo Conference 2008 (D. van den Heuvel, M. Mesman, W. Quist e B. Lemmens Eds.), 127-130. Amsterdam: IOS Press.

Sitografia

[1] https://australia.icomos.org/wp-content/uploads/The-Conservation-Plan-7th-Edition.pdf

[2] https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2688/1/MNDD_ITALIAN.pdf

Andrea Battocchio, Roberto Lalli

Carlo Salvetti, un fisico teorico prestato all'ingegneria nucleare

Carlo Salvetti, a theoretical physicist lent to nuclear engineering

Sommario
Il fisico teorico Carlo Salvetti (1918-2005) è stato uno dei pionieri della ricerca italiana sull'energia nucleare. Subito dopo la seconda guerra mondiale, è stato co-fondatore del Centro Informazioni Studi Esperienze-CISE. Successivamente, divenne direttore del Centro Ricerche Nucleari di Ispra e, dal 1960, fu membro del Comitato direttivo, poi Vicepresidente, del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare-CNEN fino al 1981. Negli anni difficili che seguirono l'incriminazione e la condanna del Segretario Generale del CNEN, Felice Ippolito, Salvetti si assunse la responsabilità di guidare e rivitalizzare l'agenzia italiana per l'energia nucleare. Questo contributo analizza lo sviluppo della sua carriera, dai primi studi di fisica teorica statistica e nucleare alla guida degli sforzi italiani per la produzione di energia nucleare. Salvetti divenne un fisico teorico che prestò la sua maturità professionale all'ingegneria e alla risoluzione di problemi tecnologici e industriali. Più che un ricercatore vero e proprio, svolse un ruolo organizzativo e di coordinamento in grandi programmi di ricerca, ripercorrendo il percorso professionale di Salvetti, cerchiamo di sottolineare gli elementi principali che lo hanno caratterizzato.

Abstract
Theoretical physicist Carlo Salvetti (1918-2005) was one of the pioneers of Italian nuclear energy research. Soon after World War II, he co-founded the "Centro Informazioni Studi Esperienze"-CISE. Later, he became the director of the Nuclear Research Center in Ispra and, from 1960, served as a member of the Steering Committee, later Vice-President, of the "Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare"-CNEN until 1981. In the difficult years following the indictment and conviction of the Secretary General of CNEN, Felice Ippolito, Salvetti took on the responsibility of leading and revitalizing the Italian nuclear energy agency. This paper discusses the development of his career from the first study of theoretical statistical and nuclear physics to leading Italian efforts to produce nuclear energy. Salvetti became a theoretical physicist who lent his professional maturity to engineering and the reso-

lution of technological and industrial problems. Eventually, he came to play an organizational and coordinating role in large research programs rather than that of a researcher in his own right, by reviewing Salvetti's career-path we try to capture the main elements that characterized it.

Salvetti il fisico teorico

«Non sono un laureato di guerra!» (Bonolis, 2022, p. 108) teneva a sottolineare ironicamente Carlo Salvetti, perché si laureò in Fisica a Milano nel giugno 1940, poche ore prima della dichiarazione di guerra dell'Italia a fianco della Germania. La guerra lo coinvolse comunque direttamente perché fu arruolato dal luglio 1941 all'8 settembre 1943 [1] e proprio quella laurea in fisica, ottenuta con una tesi sperimentale, gli permise di prestare servizio presso il gruppo marconisti del genio militare, potendo attraversare il conflitto senza correre troppi rischi. Fu Giovanni Polvani, professore di Fisica Sperimentale e direttore dell'Istituto di Fisica di Milano dal 1929 al 1960, a insistere affinché Salvetti svolgesse una tesi sperimentale dal titolo "Il metodo dell'amplificatore proporzionale a lampada per lo studio delle particelle elementari" (Gariboldi, 2023). La sua vera passione era, però, la fisica teorica. Quando nel 1936 si iscrisse alla Facoltà di Fisica, Giovanni Gentile junior, figlio del più noto filosofo omonimo, tenne il suo primo corso di fisica teorica nell'ateneo milanese. Salvetti rimase affascinato dalla personalità di Gentile e dall'originalità dei suoi studi, specialmente dalla sua teoria delle statistiche intermedie che generalizzava le statistiche di Bose-Einstein e Fermi-Dirac sull'occupazione degli stati energetici[2].

Subito dopo la laurea Salvetti iniziò ad applicare le statistiche intermedie alla conducibilità termica e alla viscosità dell'He II (Salvetti, 1941; 1942). Piero Caldirola, giovane docente che si stava interessando alle nuove statistiche, gli propose «in termini entusiastici» di calcolare con quel metodo il modello del nucleo di particelle α[3]. L'arruolamento improvviso lo costrinse a interrompere le ricerche perché in caserma, nonostante riuscisse a leggere e studiare nelle ore libere, non poteva dedicarsi «ad un lavoro metodico lungo e paziente»[4]. Salvetti sperava di riprendere presto a lavorare a tempo pieno a fianco di Gentile, ma a impedirglielo fu la prematura morte del suo maestro avvenuta il 30 marzo 1942.

Congedato il giorno dell'armistizio del 1943, Salvetti tornò all'Istituto di Fisica di Milano come assistente incaricato[5]. Si occupò di meccanica quantistica, prima sulla distribuzione del valore di occupazione degli stati energetici, attraverso il metodo di Darwin-Fowler (Salvetti, 1944), poi sull'applicazione dei numeri di Clifford all'equazione dei mesoni, per dedurre la hamiltoniana e il teorema di Poynting del campo mesonico (Salvetti, 1946b).

Nel 1945 lo scoppio degli ordigni nucleari su Hiroshima e Nagasaki attrasse l'attenzione mondiale sul fenomeno dell'energia nucleare e delle sue potenzialità. Alcune delle principali nozioni teoriche, ossia gli isotopi dell'uranio, la fissione, il rallen-

tamento dei neutroni, erano già note ai fisici prima dell'inizio del conflitto mondiale, ma durante la guerra i successivi studi, e soprattutto le relative applicazioni, erano stati secretati per motivi militari (Amaldi, 1945).

Finita la guerra Salvetti fu uno dei primi a divulgare su riviste specializzate la teoria che sottostava alle esplosioni atomiche (Salvetti, 1945). Il tema gli era già ben noto perché l'argomento della sua tesi di laurea era derivato proprio dalla scoperta dei chimici Otto Hahn e Fritz Strassmann del 1939 (Hahn e Strassmann, 1939), subito interpretata dai fisici Lise Meitner e Otto Frisch come un processo di fissione. Giuseppe Cocconi, assistente all'Istituto di Fisica di Milano, rimase molto colpito dall'articolo dei due tedeschi e suggerì a Polvani di far ripetere a Salvetti l'esperimento per ottenere una conferma con metodi fisici anziché chimici. Salvetti allora costruì un amplificatore proporzionale che doveva rilevare i prodotti di fissione ma, per diversi motivi legati alle difficoltà del periodo prebellico, non riuscì a portare a termine l'esperienza riuscendo comunque a ottenere delle «ottime curve di ionizzazione delle particelle α» (Bonolis, 2022, p.108), che gli permisero di laurearsi con il massimo dei voti.

Dopo la Seconda Guerra Mondiale, i possibili usi industriali dell'energia nucleare erano stati intravisti in Italia da Mario Silvestri, ingegnere della Edison, e Giorgio Salvini, assistente di Giuseppe Bolla, professore di Fisica superiore a Milano, dopo aver letto il "Rapporto Smyth" [1] che divulgava alcuni dettagli degli sforzi americani per costruire le due bombe (Silvestri, 1968). Silvestri e Salvini coinvolsero, oltre a Bolla, anche Salvetti, che all'epoca aveva ben chiaro dal punto di vista teorico il processo di fissione (Salvetti, 1946a). Bolla e Silvestri convinsero la Edison e altre società produttrici di energia elettrica a finanziare un progetto di ricerca per costruire un reattore nucleare prototipo. Salvetti, grazie a conoscenze personali, riuscì a coinvolgere nell'iniziativa anche la Cogne e la Fiat (Silvestri, 1968). A novembre 1946 si costituì il Centro Informazioni Studi Esperienze-CISE, una società partecipata da Edison, Cogne e Fiat, con lo scopo di effettuare «studi, ricerche ed esperienze scientifiche in qualsiasi campo, acquisizione e sfruttamento di brevetti»[6]; la dichiarazione degli scopi era molto vaga per evitare di attirare l'attenzione sull'intenzione di eseguire ricerche in campo nucleare, all'epoca non ancora ben definite dal regime armistiziale per l'Italia (Zaninelli, 1996).

Salvetti, orfano di un riferimento come Gentile junior sulle statistiche intermedie e probabilmente spinto dall'esigenza di individuare un campo di ricerca con maggiori prospettive di sviluppo, iniziò a dedicarsi allo studio del nucleo atomico e alla fisica del reattore, in stretta collaborazione con il CISE, dove divideva il tempo a metà con l'Università. Per quanto riguarda la fisica del nucleo Salvetti si interessò ai cosiddetti "modelli collettivi" nei quali si cercava di fare confluire concetti provenienti dai «due modelli 'estremi': quello a goccia (di Niels Bohr) e quello a shell (di Maria Goeppert Mayer)»[1], in particolare utilizzò il modello ellissoidale di James Rainwater per calcolare alcune proprietà energetiche e magnetiche (Salvetti e Gallone, 1951;1952).

Nella fisica del reattore Salvetti si concentrò sulla soluzione teorica delle equazioni in regime transitorio e sulla definizione dei parametri di funzionamento dei reattori (Salvetti, 1949)[7]. Ciascun gruppo nazionale di ricerca nucleare doveva ricorrere ai propri fisici teorici per calcolare quei dati e ai propri fisici sperimentali per verificarli. Il CISE faceva affidamento su Salvetti per la parte teorica e su diversi giovani appena laureati, guidati da Silvestri, per la parte sperimentale.

Nel 1950 Salvetti ottenne la libera docenza e gli studi sulla fisica del reattore gli valsero l'invito come *visiting professor*, da parte del Governo indiano, per tenere nell'anno 1951/52 un corso al *Tata Instituite of Fundamental Research* di Bombay diretto da Homi Bhabha. Anche grazie al contributo di Salvetti (Lavrencic e Valli, 2005), Bhabha riuscì a varare nel 1954, prima della declassificazione statunitense avvenuta nel 1955, il piano di sviluppo in tre stadi del nucleare indiano, basato su reattori a uranio naturale moderati ad acqua pesante e sul ciclo del torio, programma che è tutt'ora in corso [2].

Tornato in Italia, Salvetti vinse nel 1953 il concorso per una cattedra di Fisica teorica a Bari, e dopo due anni si trasferì all'Università di Milano. I risultati teorici di quel periodo furono alla base del dimensionamento e della progettazione di un reattore prototipo a uranio naturale e moderato ad acqua pesante, da installare in Italia per finalità di ricerca, che Salvetti presentò alla prima Conferenza di Ginevra sugli usi pacifici dell'energia nucleare nel 1955 (Salvetti e Gallone, 1956).

La svolta di Ispra

In Italia nel 1952 era stato istituito il Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari-CNRN, ente governativo con lo scopo di coordinare e finanziare la ricerca fondamentale e applicata in campo nucleare, comprese le attività del CISE.

La ricerca di Salvetti sul reattore ad acqua pesante era stata commissionata proprio dal CNRN che intendeva dotarsi di un reattore per studiare «gli effetti delle radiazioni, la produzione di isotopi altamente radioattivi ed eseguire esperimenti di fisica dei neutroni» (Salvetti e Gallone, 1956, p. 279). Il CISE aveva intenzione di progettare e costruire quel reattore in Italia e, date le restrizioni all'epoca sulle forniture di uranio arricchito, aveva scelto di alimentarlo a uranio naturale (Paoloni, 1992). I tempi sarebbero però stati troppo lunghi e il CNRN aveva fretta di costruire un proprio centro di ricerche, così decise di acquistare un reattore progettato e costruito negli Stati Uniti, sempre moderato ad acqua pesante ma alimentato a uranio arricchito. Il reattore del CNRN fu installato nel nuovo Centro di ricerche di Ispra, una località sul Lago Maggiore. Il CISE, pur con tanti malumori, dovuti alla scelta di acquistare il reattore anziché progettarlo e costruirlo internamente, accettò di contribuire all'operazione mettendo a disposizione il proprio personale. Tuttavia, a causa di varie divergenze e contrasti, nel 1957 i rapporti tra CNRN e CISE si interruppero e Salvetti, che era stato appena nominato direttore del gruppo reattore,

scelse di passare al CNRN. Si assunse la responsabilità di dirigere l'intero Centro di ricerche di Ispra fino al 1959, quando il CNRN decise inaspettatamente di cedere Ispra a Euratom. Salvetti si oppose fermamente (Salvetti, 1959) a quella decisione e cercò con tutti i mezzi di ostacolarla. Per questo fu accusato da Felice Ippolito, Segretario Generale del CNRN, di aver condotto una campagna stampa scorretta contro l'accordo con Euratom e, indirettamente, contro il CNRN, per cui la sua posizione di direttore di Ispra «imponeva o di rassegnare le [sue] dimissioni per riprendere, quale docente universitario, la piena libertà di azione o di attener[si] alla linea di condotta che il Comitato aveva scelto» (Ippolito, 1959, pp. 3-4). Il giorno della firma dell'accordo con Euratom, Salvetti si dimise in maniera plateale come ultimo gesto di protesta.

Il periodo seguente non fu facile, dati i complicati rapporti con Ippolito, che gli propose di prendersi una «lunga vacanza» al ritorno dalla quale «avrebbe avuto un altro incarico dal CNRN» (Ippolito, 1959, pp. 3-4). I due avevano già avuto modo di conoscersi molti anni prima quando Salvetti era al CISE e Bolla chiamò Ippolito per tenere un insegnamento di geologia dell'uranio al Politecnico di Milano (Curli, 2000). Tra loro, come con altri membri del CISE, fin da subito non corse grande simpatia e dopo l'episodio di Ispra i rapporti peggiorarono ulteriormente quando, nel 1960, il CNRN fu trasformato in Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare-CNEN, di cui Salvetti fu nominato membro della Commissione Direttiva[8] dove ritrovò Ippolito come Segretario Generale. Con queste parole Salvetti criticò l'eccessivo protagonismo e autoritarismo di Ippolito[9]: «si consideri il modo personalissimo con cui il prof. Ippolito intende le mansioni, i doveri, gli obblighi inerenti al suo ufficio di Segretario Generale del [CNEN]: ufficio ch'egli ricopre dopo aver a lungo esercitato la sua non indiscussa dittatura, con analoga carica, nel soppresso [CNRN]. […] In teoria un comitato c'è […] in pratica non c'è che un 'faso tuto mi' […]. Questa la personalissima concezione del 'dirigismo' del prof. Ippolito, che chiaramente significa per lui la pretesa di dirigere tutto, anche e specialmente ciò che non gli spetta. La legge stabilisce bensì in modo inequivocabile che il Segretario Generale è l'organo esecutivo, che cura l'esecuzione delle deliberazioni della Commissione Direttiva, sovrintende all'attività degli uffici, ed esegue ogni altro compito che gli sia attribuito dalla Commissione Direttiva, alla quale partecipa solo con voto consultivo: in realtà il signor Segretario Generale, beffandosi, è il caso di dire, della legge, prosegue imperterrito nei suoi sistemi dittatoriali ante-legge»[10].

La critica di Salvetti, scritta nel 1961 e indirizzata al Presidente del Consiglio, non giunse mai a destinazione (Guidi, 1964) e non risulta abbia avuto alcuna influenza nelle vicende pre-processuali di Ippolito. Evidentemente però non era una critica isolata, perché nell'agosto 1963 Ippolito fu duramente attaccato sulla stampa nazionale per la sua gestione del CNRN e del CNEN e in breve tempo fu destituito dall'incarico di Segretario Generale e l'anno successivo arrestato[11].

Salvetti e il programma nucleare italiano

A settembre 1963 Salvetti fu convocato d'urgenza al Ministero dell'Industria, dove il Ministro democristiano Giuseppe Medici gli comunicò che avrebbe «dovuto prendere in mano il CNEN» (Paoloni, 1992, p. 164). Nel giro di pochi giorni si trasferì a Roma per iniziare una nuova vita professionale. Il precetto per i professori universitari nominati nella Commissione Direttiva di essere collocati fuori ruolo «allo scopo di consentire ai suoi membri di prestare tutta la loro attività al CNEN»[12] era una sua convinzione che sollevò fin dalla prima riunione (CNEN, 1961). Egli si attenne scrupolosamente a questa regola e smise di occuparsi di ricerca universitaria e didattica, dedicandosi completamente all'energia nucleare.

Gli anni che seguirono alla vicenda Ippolito furono di estrema difficoltà economica per il CNEN. Salvetti, nominato Vicepresidente nel febbraio 1964, dimostrò ottime capacità manageriali nel gestire i pochi fondi a disposizione. In quel periodo il Presidente del CNEN era il Ministro dell'Industria in carica e quindi il Vicepresidente aveva amplissime deleghe per convocare e presiedere le riunioni, firmare i contratti e rapportarsi con i sindacati e gli organismi esterni.

Ancora prima della nomina, Salvetti aveva proposto a Medici di incaricare una commissione per redigere un rapporto sull'energia nucleare in Italia. Lo scopo del rapporto doveva essere quello di «inserire i programmi nucleari italiani nel quadro dei problemi energetici ed economici del paese e di determinare il contributo che l'energia nucleare […] [avrebbe potuto] dare alla copertura del fabbisogno energetico futuro del paese»[13]. L'idea piacque a Medici che pensò di allargare lo studio a tutte le fonti di energia. In campo nucleare il risultato fu il "Rapporto Medici" (Medici, 1964), detto anche libro bianco dell'energia nucleare, che conteneva una breve storia del CNRN-CNEN, il consuntivo del primo piano quinquennale 1959-1963, le prospettive e il ruolo a medio e lungo termine del CNEN e una rassegna degli organismi nucleari esteri e internazionali. Salvetti non fu completamente soddisfatto del "Rapporto Medici" perché gli esperti esterni coinvolti dal Ministro avevano fornito delle indicazioni molto generali e la fase di rielaborazione in Commissione Direttiva era stata insufficiente; il piano redatto era quindi poco operativo e avrebbe richiesto in una fase successiva di «passare in rassegna azione per azione» ogni programma (CNEN, 1969, p. 54).

All'inizio del suo mandato Salvetti sovraintese alla revisione dei programmi di ricerca, che aveva portato il CNEN negli anni precedenti a investire in tanti progetti, non tutti compatibili con le caratteristiche dell'industria italiana, e alla ridefinizione del piano quinquennale 1965-69. In Italia erano già attive tre centrali nucleari di potenza con reattori di concezione straniera, due statunitensi e uno britannico. Sulle centrali future erano in campo due tendenze: da una parte c'era chi sosteneva di continuare ad acquistare licenze all'estero e di sviluppare una industria manifatturiera nazionale (CNEN, 1964) per produrre componenti sempre più perfezionati

anche per l'esportazione[14], dall'altra c'era chi sosteneva lo sviluppo di un reattore nazionale per conseguire una propria licenza e permettere all'industria italiana di esportare all'estero la propria tecnologia. Il primo piano quinquennale 1959-1963 cercava di mantenere insieme entrambe le tendenze con una dispersione di risorse molto grande; erano infatti in atto ricerche su possibili migliorie ai reattori cosiddetti "provati", cioè ad acqua leggera e a gas-grafite, ma anche su reattori di nuova concezione, senza aver chiarito in quale dei due ambiti di ricerca si sarebbe dovuta sviluppare l'eventuale licenza italiana. Il problema della dispersione non era tanto riferito all'ampiezza dello spettro delle ricerche in sé, quanto alle dimensioni dell'industria italiana, limitate rispetto a quelle di altri Paesi industrializzati e non in grado di fornire una vasta gamma di prodotti di qualità a prezzi competitivi[15]. Nei primi anni '60, inoltre, le ricerche del CNEN non si limitavano ai reattori ma comprendevano una serie di altre discipline quali la radiobiologia, l'agricoltura, la geologia mineraria e soprattutto la fisica delle alte energie attraverso l'INFN, che dipendeva economicamente dal CNEN.

I principi guida di Salvetti nella revisione dei programmi furono la concentrazione degli sforzi sulle attività di ingegneria legate alla produzione di energia e l'ottimizzazione delle risorse. Trovò un accordo con il CNR affinché si facesse carico delle ricerche in quelle discipline che avevano poca attinenza con l'energia nucleare e, pur continuando a finanziare la fisica delle alte energie, cercò di rendere sempre più autonomo l'INFN. Riavvicinò il CNEN al CISE che nel frattempo, a seguito della nazionalizzazione delle aziende produttrici di energia elettrica, era diventata una Società dell'ENEL, attivando con essa una collaborazione stabile. Grazie proprio al coinvolgimento di alcuni ingegneri del CISE e dell'ENEL[16] nella revisione dei programmi del CNEN, Salvetti indirizzò la Commissione Direttiva verso due principali filoni di ricerca tecnologica. Il primo, cui stava già lavorando il CISE da tempo, era un reattore alimentato a uranio naturale e moderato ad acqua pesante, simile a quello ideato da Salvetti dieci anni prima, ma con la particolarità che era raffreddato ad acqua leggera in cambiamento di fase, in regime disperso all'interno di tubi in pressione, detto flusso a nebbia, da cui il nome CIRENE-CIse REattore a NEbbia. Il secondo era un reattore veloce raffreddato a sodio liquido, chiamato reattore PEC-Prova Elementi di Combustibile, che doveva servire per provare gli elementi di combustibile di un grande reattore di potenza dello stesso tipo realizzato in collaborazione con altri Stati europei, il *Superphenix*. Un terzo reattore, di minore potenza, moderato e raffreddato a liquido organico, sarebbe stato impiegato, in collaborazione con un consorzio di imprese private, per dissalare l'acqua di mare e per generare vapore industriale.

Completata la revisione dei programmi prese avvio il secondo piano quinquennale. Per Salvetti era chiaro che «il compito dell'Ente non [potesse] esaurirsi nella realizzazione di un'attività di ricerca fondamentale e di base ma [dovesse] concretiz-

zarsi in un'azione di promozione dei grandi programmi del settore applicativo atti a costituire un fattore di impulso capace di impegnare l'industria nazionale a un'attiva e costante partecipazione alle iniziative nucleari» (CNEN, 1965, p. 2). L'industria italiana rispose positivamente e la decisione dell'ENEL di realizzare la quarta centrale nucleare segnò l'uscita dalla crisi cominciata con il caso Ippolito.

Negli anni di Vicepresidenza al CNEN Salvetti ricoprì anche importanti incarichi internazionali: nominato governatore per l'Italia all'IAEA nel 1963, fu eletto Presidente dei Governatori per l'anno 1963/64 e dal 1969 al 1973 e fu Presidente della European Nuclear Energy Agency-ENEA che raggruppava 17 Stati europei.

L'attenzione scientifica di Salvetti negli anni della piena maturità si orientò quindi sulla pianificazione energetica e sulle successive fasi dello sviluppo del nucleare, come il passaggio dai reattori provati ai reattori convertitori avanzati e ai rettori autofertilizzanti, i primi in grado di produrre quantità di materiale fissile riutilizzabile maggiore rispetto ai rettori provati e i secondi con la capacità di trasformare materiale fertile in fissile in modo da autosostenere la reazione a catena per tempi molto più lunghi (Salvetti, 1966). Il programma nucleare italiano ricalcava questo schema. Fino al 1969 l'Italia era il quarto Paese al mondo per energia prodotta da fonte nucleare, dopo Stati Uniti, Unione Sovietica e Regno Unito[17]; i reattori provati erano dunque già una realtà in Italia, anche se rispetto ai classici impianti termoelettrici erano ancora meno convenienti e soffrivano di poca affidabilità (Angelini, 1972). All'ENEL era demandata la gestione e la costruzione di nuove centrali, che sarebbe avvenuta sempre su licenza estera fino al superamento della fase dei reattori provati. Al CNEN era invece affidata la ricerca e lo sviluppo di nuove tipologie di reattori: il CIRENE nella categoria dei reattori convertitori avanzati, che il CNEN e l'ENEL puntavano a commercializzare con licenza propria, e il PEC nella categoria degli autofertilizzanti, che si inseriva in un quadro più ampio di collaborazione europea.

Nell'esecuzione del piano, Salvetti dovette scontrarsi con la programmazione politica che, attraverso il Comitato Interministeriale della Programmazione Economica-CIPE, chiedeva di procedere con la ricerca anche nel settore dei reattori provati per affrancarsi dalle licenze estere. Francia e Germania stavano effettivamente cercando di realizzare dei propri reattori ad acqua leggera, che fino ad allora erano commercializzati esclusivamente con licenze statunitensi, ma per l'Italia questa strada era ritenuta da Salvetti sconsigliabile (Salvetti, 1972) sia perché troppo costosa rispetto ai fondi a disposizione, sia perché le possibilità di apportare migliorie significative a un prodotto già conosciuto in altri Paesi erano ridottissime. Numerosi studi tecnico-economici avevano concluso che per l'Italia la tipologia di reattore più vantaggiosa era quella a uranio naturale e acqua pesante, sia perché avrebbe fatto risparmiare sugli elevatissimi costi di arricchimento e sia perché l'industria italiana sarebbe stata in grado di produrre gran parte di componenti minimizzando gli acquisti dall'estero.

L'idea del reattore ad acqua pesante e uranio arricchito, che Salvetti aveva studiato da un punto di vista teorico negli anni '50, era stata perfezionata dal CISE con l'aggiunta del sistema di raffreddamento a nebbia. Un sistema innovativo e nello stesso tempo molto semplice, che permetteva il ciclo diretto del vapore in turbina e minimizzava l'apporto di acqua pesante. Nel corso della sua quasi ventennale vicepresidenza al CNEN, che terminò nel 1981, Salvetti diede concretezza a quell'idea. Dopo vari problemi di carattere burocratico e finanziario la costruzione del prototipo iniziò nel 1978 presso il sito della centrale nucleare di Latina e nel 1986 era pressoché terminata, quando avvenne l'incidente di Chernobyl che cambiò completamente le sorti dell'energia nucleare in Italia (Cerrai *et al*., 2009).

Conclusioni

Salvetti crebbe in un'operosa Milano degli anni '30 e dalla testimonianza di Silvestri si può dedurre che era anche vicino a importanti ambienti industriali del nord Italia. Una grande impresa milanese, la Edison, finanziava l'Istituto di Fisica di Milano che in quegli anni aveva un'impronta prevalentemente sperimentale, marcata da docenti come Bolla, Cocconi e Amedeo Giacomini e dalla direzione di Polvani. Il giovane studente Salvetti rimase tuttavia affascinato dalla personalità di Gentile, docente di fisica teorica, e grazie a lui indirizzò le sue prime ricerche dopo la laurea sulla meccanica quantistica, in particolare sulle statistiche intermedie. Venuto a mancare Gentile, Salvetti seguì Bolla nel fondare il CISE, società che aveva lo scopo di estrarre e sfruttare per usi civili l'energia nucleare prodotta dalla fissione. Tornò quindi sull'argomento della sua tesi sperimentale, approfondendo la teoria del nucleo atomico e della fissione, tema che, dopo l'esplosione delle due bombe atomiche in Giappone, suscitava un enorme interesse. Negli anni della ricostruzione e del boom economico Salvetti si trovò a contatto con una delle realtà più dinamiche e nello stesso tempo concrete del Paese, con un ambizioso obiettivo: progettare e costruire un reattore nucleare nazionale ad acqua pesante. Il contributo teorico di Salvetti fu essenziale per definire i principi di funzionamento di quel reattore, ma la prosecuzione dell'opera richiedeva una forte componente ingegneristica e doti organizzative per rapportarsi con il sistema industriale. Quando fu chiamato a risollevare le sorti del CNEN, accettò la sfida. Da Vicepresidente guidò la revisione dei programmi di ricerca dell'ente nucleare italiano, supportato da ingegneri esperti del CISE e dell'ENEL. Concentrò le risorse sulla ricerca applicata e su due grandi progetti per lo sviluppo dell'energia nucleare del Paese, tra cui il reattore ad acqua pesante che aveva ideato anni prima, ricevendo il costante appoggio di quel mondo industriale che non gli era mai stato estraneo.

Bibliografia

Amaldi E. 1945. L'utilizzazione dell'energia nucleare. Ricerca scientifica e ricostruzione, 15(3).

Angelini A.M. 1972. Operating experience in italian nuclear power plants. In: *Peaceful uses of atomic energy. Proceeding of the Fourth UNICPUAE*. 2, 165-177.

Barres, O. 1981. *Un complotto nucleare: Il caso Ippolito.* Roma: Newton Compton.

Battocchio A. 2024. La fisica e l'ingegneria nucleare tra il CNRN e il CNEN. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Bonolis L. 2022. Giovanni Gentile Junior. Physics as an Intellectual and Spiritual Adventure. In: *The Milan Institute of Physics*. 87-116. Berlin: Springer.

Cerrai E. Lombardi A. M., Parozzi F. 2009. CIRENE: storia di un progetto atomico italiano. Le scienze, 490, 66-73.

CNEN. 1961. Verbale della seconda riunione della Commissione Direttiva del CNEN (25.02.1961). Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo CNEN - Serie 2.

CNEN. 1964. Verbale della diciannovesima riunione della Commissione Direttiva del CNEN (21.02.1964). Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo CNEN - Serie 2.

CNEN. 1965. Verbale della 76^ riunione della Commissione Direttiva del CNEN (12.11.1965). Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo CNEN - Serie 2.

CNEN. 1969. Verbale della 157^ riunione della Commissione Direttiva del 23.05.1969 del CNEN. Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - Subfondo CNEN - Serie 2.

Curli B. 2000. *Il progetto nucleare italiano (1952-1964)*. Soveria Mannelli: Rubbettino.

Gariboldi L. 2023. L'istituto di Fisica di Polvani a Milano prima della ricostruzione del secondo dopoguerra. Quaderni di storia della Fisica, 29, 75-120.

Gentile G. 1941. Le statistiche intermedie e le proprietà dell'elio liquido. Rendiconti del seminario Matematico e Fisico di Milano, 15, 96-114.

Guidi G. 1964. Il Cnen poteva spendere sette miliardi in meno. La Stampa, 2 luglio.

Hahn O., Strassmann F. 1939. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. Naturwissenschaften, 27, 11-15.

Ippolito F. 1959. Rapporto sulle dimissioni del prof. Carlo Salvetti da Direttore Generale del Centro di studi nucleari di Ispra. Archivio del Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma. Fondo Salvetti - sez. personale, s. 7, f. 8.

Lavrencic D., Valli G. 2005. In ricordo del prof. Carlo Salvetti. Energia, Ambiente e Innovazione, 51, 23-24.

Medici G. 1964. *Rapporto sull'energia nucleare in Italia*. Istituto Poligrafico dello Stato.

Paoloni G. (a cura di). 1992. A colloquio con Carlo Salvetti. In: *Energia, ambiente e innovazione: Dal CNRN all'ENEA*. 161-208. Roma-Bari: Laterza.

Rossi A. 2001. Un contributo al dibattito sui fondamenti della Meccanica Quantistica: Le statistiche intermedie di Giovanni Gentile Jr. In: *Atti del XXI congresso di Storia della Fisica e dell'Astronomia*.

Salvetti C. 1941. Ricerche sulla conducibilità termica e sulle viscosità nelle statistiche di Gentile e loro possibile applicazione all'He II. Ricerca Scientifica, 12, 894.

Salvetti C. 1942. Sopra i fenomeni di trasporto nelle statistiche gentiliane. Atti dell'Accademia d'Italia, 13, 651.

Salvetti C. 1944. Sull'applicazione del metodo di Darwin e Fowler allo studio di insiemi ad autofunzione simmetrica. Atti dell'Accademia Torinese delle Scienze, 79.
Salvetti C. 1945. Processi ed impianti per la produzione di energia e di esplosivi nucleari. La Chimica e l'Industria, XXVII, 200.
Salvetti C. 1946a. La scissione dell'uranio e dei transuranici. La Chimica e l'Industria, XXVIII, 78–89.
Salvetti C. 1946b. Numeri di Clifford ed equazioni del mesone. Nuovo Cimento, 3, 257.
Salvetti C. 1949. *Il regime transitorio dei reattori nucleari*. I e II. Bologna: Nicola Zanichelli.
Salvetti C. 1959. Replica al Rapporto del prof. Ippolito sulle mie dimissioni da Direttore Generali del Centro di Studi Nucleari di Ispra (Fondo Salvetti - sez. personale, s.7, f. 8). Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma.
Salvetti C. 1972. The develompment of nuclear energy and the role of CNEN. In *Peaceful uses of atomic energy. Proceeding of the Fourth UNICPUAE*, 1, 541-549.
Salvetti C. 1966. Realtà e prospettive dell'energia nucleare. Giornate dell'Energia nucleare 1966.
Salvetti C., Gallone, S. 1951. Energy Level Perturbation of a Particle in a Spheroidal Potential Well. Physical Review, 82, 551.
Salvetti C., Gallone, S. 1952. An Asymmetric Nuclear Model. Physical Review, 84, 1064.
Salvetti C., Gallone, S. 1956. Calculations for a heavy water and natural uranium 10 MW reactor. In: *Proceedings of the First UNICPUAE*, 5, 279.
Scuricini G. B., Lavrencic D., Vailant P., Venditti P. 1966. Possibili linee di evoluzione di un programma nucleare italiano. Archivio ENEA. Busta 1507 - Doc. DAISE (66) 2).
Sebastiani, L. 1995. *Il caso Ippolito*. Tesi di Laurea. Università di Roma Sapienza.
Silvestri M. 1968. *Il costo della menzogna: Italia nucleare 1945-1968*. Torino: Einaudi.
Silvestri M. 1969. Considerazioni sulla Conferenza di Washington relativa agli «usi costruttivi» dell'energia nucleare (10-14 novembre 1968). Energia nucleare, 1, 53.
Zaninelli S. (a cura di). 1996. *Ricerca, innovazione, impresa. Storia del CISE: 1946-1996*. Roma-Bari: Laterza.

Sitografia

[1] https://www.atomicarchive.com/resources/documents/smyth-report/index.html
[2] http://www.barc.gov.in/randd/artnp.html

Note

[1] Salvetti C. s.d. Note autobiografiche. Fondo Salvetti – sez. personale, s. 1, f. 2. Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma.

[2] Secondo la teoria ortodossa della meccanica quantistica in un insieme confinato di particelle il numero massimo di occupazione di uno stato energetico può essere 1 o ∞. Nel primo caso le particelle obbediscono alla statistica di Fermi-Dirac e sono dette fermioni, nel secondo caso obbediscono alla statistica di Bose-Einstein e sono dette bosoni. Per spiegare alcune caratteristiche dell'elio superfluido, He II, che a temperature vicine allo zero assoluto ha comportamenti anomali, Gentile ipotizzò una statistica quantistica alternativa alle due precedenti con un valore massimo di occupazione dato da un qualsiasi numero intero positivo, che per un insieme di N particelle, come nel caso dell'elio superfluido, era pari a N (Gentile, 1941).

[3] Salvetti C. 1941. Lettera di Salvetti a Gentile. 8 agosto 1941. Fondo Salvetti – sez. personale, s. 2, f. 2. Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma.

[4] *Ibidem.*

[5] s.a. 1946. Dichiarazione di prestazione di servizio presso l'Università degli Studi di Milano del dott. Carlo Salvetti. 3 apeile 1946. Fondo Salvetti – sez. Personale, s. 1, f. 2. Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma.

[6] Statuto della Società CISE s.r.l. (1946), Art.3 – Fine, scopo e oggetto della società.

[7] Un parametro essenziale per la buona conduzione di un reattore è il fattore di moltiplicazione *k* che deve essere maggiore di 1 per sostenere il mantenimento della reazione a catena, ma minore di un certo valore soglia oltre il quale la divergenza della reazione a catena diventa difficilmente controllabile. La determinazione di *k* e in generale di tutti i dati relativi alla fisica del reattore, come ad esempio le sezioni d'urto (Silvestri, 1968), erano ancora secretate.

[8] DPCM 1 ottobre 1960. Costituzione della Commissione Direttiva del Comitato Nazionale Energia Nucleare. Gazzetta Ufficiale del 10 novembre 1960. Per ulteriori dettagli si veda anche (Battocchio, 2024).

[9] Salvetti C. s.d. Dirigismo e legalità. Fondo Salvetti – sez. personale, s. 3, f. 4. Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma. Il manoscritto è senza data, ma si può far risalire ai primi mesi del 1961 poiché cita la recente nomina di Ippolito al Consiglio Nazionale dell'Economia e del Lavoro, nella II Consigliatura 1961-1963.

[10] Per ante-legge Salvetti si riferisce alla legge di trasformazione del CNRN in CNEN. L. 11 agosto 1960 n. 933. Istituzione del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare.

[11] Per approfondimenti sulla vicenda processuale si rimanda alla letteratura esistente (Barrese, 1861; Curli, 2000; Sebestiani, 1995).

[12] Salvetti C. s.d. Lettera di Salvetti a Colombo. Fondo Salvetti – sez. personale, s. 3, f. 4. Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma. Senza data ma si può far risalire al periodo tra dicembre 1960 e febbraio 1961.

[13] Salvetti C. 1964. Lettera di Salvetti a Medici. 14 gennaio 1964. Fondo Salvetti – sez. CNEN, s. 4. Archivio del Dipartimento di Fisca, Sapienza Università di Roma.

[14] Questa era ad esempio la posizione di Confidustria che mirava all'esportazione dei componenti di fabbricazione italiana, «Le ampie prospettive dell'industria nucleare italiana messe in luce dalla Tavola Rotonda del FIEN a Milano», *Atomo e Industria*, 15 gennaio 1965; Confederazione generale dell'industria italiana, «Appunto sui problemi concernenti la politica industriale della Comunità europea per l'energia atomica», 5 febbraio 1965, B. 1110 - Prot. 2/2270, Archivio ENEA.

[15] In questo senso si era espresso il servizio studi economici del CNEN (Scuricimi *et al.*, 1966; Silvestri, 1969).

[16] Mario Silvestri ed Enrico Cerrai del CISE e Franco Castelli e Teo Leardini dell'ENEL.

[17] «La produzione elettronucleare 1969», *Atomo e Industria*, 1 dicembre 1970.

Mariano Bonaccorsi, Giuseppe Ruta

William Thomson tra macchine termiche e spiritualismo

William Thomson between thermal machines and spiritualism

Sommario
L'importanza e l'eredità scientifica di William Thomson (1824-1907), meglio noto come Lord Kelvin di Largs, sono indubitabili e rinomate, specialmente per aver fornito basi solide alla termodinamica. Si sa che le sue speculazioni e indagini su quella che era una nuova branca della fisica teorica e applicata del XIX secolo sono state influenzate dalla sua permanenza nel 1845 nel laboratorio di H.-V. Regnault (1810-1878), dove venne in contatto con i lavori di S. Carnot (1796-1832) e P.-É.-B. Clapeyron (1799-1864). In questo contributo ci si concentrerà sulla sua prima formazione superiore in Filosofia naturale e morale all'università di Glasgow, che lo portarono ad ammettere il Creatore come causa prima che mantiene le energie del mondo. Così, il creatore è l'unico che può creare o distruggere la *vis viva*, che si deve perciò conservare: questo getta il seme per la nascita della termodinamica.

Abstract
The scientific importance and legacy of William Thomson (1824-1907), better known as Lord Kelvin of Largs, is undoubtable and renowned, especially for having provided solid grounds to thermodynamics. His speculations and investigations on what was a novel field in theoretical and applied physics in the first half of the 19th century are known to have been influenced by his stay at the laboratory of H.-V. Regnault (1810-1878) in 1845, where he came in contact with the works of S. Carnot (1796-1832) and P.-É.-B. Clapeyron (1799-1864). Here we will focus on his early education in Natural Philosophy and Moral Philosophy at the University of Glasgow, which led him to accept that the Creator is the only primary cause keeping the energies of our world. Thus, the Creator alone may create or destroy the *vis viva*, which then must be conserved: this sows the seed for the birth of thermodynamics.

Introduzione
La nascita della termodinamica teorica e applicata è legata indissolubilmente al nome di alcuni grandi scienziati del XIX secolo, tra i quali spicca senza dubbio quel-

lo di William Thomson, insignito nel corso della sua vita col titolo di Lord Kelvin of Largs. I suoi contributi a questa branca della fisica, allora nascente, dal punto di vista teorico e tecnico, sono ben noti e hanno costituito fin da dopo la scomparsa di Lord Kelvin oggetto di studio da parte di storici ed epistemologi; senza alcuna pretesa di essere esaustivi, possiamo citare Thompson (1910); Smith (1976, 1977); Smith e Norton Wise (1989); Truesdell (1980); Truesdell e Bharatha (1989).

In questo contributo non si vogliono perciò ribadire dettagli già noti ma ci si vuole concentrare su un aspetto della formazione familiare, sociale e universitaria di Lord Kelvin che sembra innegabilmente legato al suo modo di interpretare il trasporto del calore e i suoi effetti nelle macchine termiche. Infatti, come evidenziato in Holmes (2011) e in parte anche nei lavori di Smith (1976; 1977) e Smith e Norton Wise (1989), lo spiritualismo che ha circondato Lord Kelvin fin dal suo ambiente familiare, per proseguire poi con la sua formazione nell'università di Glasgow, è essenziale per cogliere il suo pensiero sulla fisica e sulla sua interpretazione. Nel seguito si presenteranno dunque alcuni cenni sull'influenza del padre, James Thomson Sr., 1786-1849), della società nord-irlandese e scozzese dell'epoca e di due insegnamenti universitari particolari sulla personalità di Lord Kelvin, sulla base di un lavoro più esteso in corso di pubblicazione (Bonaccorsi e Ruta, 2024).

La famiglia di James Thomson Sr. nella società nord-irlandese

James Thomson Sr.[1] apparteneva a una famiglia non abbiente della provincia irlandese di Ulster, divisa tra cattolici e protestanti. Questi ultimi a loro volta erano divisi tra presbiteriani, tradizionali nel nord Irlanda, evangelisti, in origine provenienti dalla Scozia e dalle colonie britanniche del nord America, e anglicani, fedeli alla corona inglese. A fine '600, i cattolici e i protestanti scontenti del dominio inglese erano discriminati, originando così sentimenti di rivalsa. Alla fine del '700, sulla scia del fermento delle rivoluzioni francese e americana, nacque un movimento repubblicano irlandese indipendentista, da una parte supportato dalla Francia rivoluzionaria, dall'altra osteggiato dalla corona inglese. Si arrivò a una serie di scontri violenti tra irlandesi e inglesi, culminati tra l'altro in un episodio particolarmente cruento nel 1798 nelle zone di origine di James Sr., County Down. Questo evento lo segnò indelebilmente, conducendolo a un credo di liberalità e tolleranza, pur basato su una fede cristiana incrollabile.

Non potendo frequentare il Trinity College di Dublino poiché protestante, James Sr. si iscrisse nel 1810 nell'università di Glasgow per diventare pastore presbiteriano. Tuttavia, le sue doti in matematica, l'impronta liberale-applicata dell'istruzione superiore scozzese, e il corso di Filosofia naturale, cioè di fenomenologia fisica e della sua interpretazione causale e traduzione in linguaggio matematico, di William Meikleham (1771-1846) lo portarono verso studi scientifici. Ottenne così incarichi didattici per discipline matematiche alla Belfast Academical Institution dal 1814,

dove impartì un insegnamento convintamente liberale, di stampo pratico e improntato al credo che lo studio delle scienze e della storia naturale fosse strumento di innalzamento sociale per i presbiteriani nord-irlandesi. Per lui la possibilità di approcciare e sistematizzare la conoscenza in modo scientifico si doveva considerare un dono divino all'umanità, uno dei talenti ricevuti nella creazione: «*The all-wise Author of our nature has given us minds as varied structure and powers as our bodies and has implanted in them principles of which it is doubtless his intention that we should exercise, just as he has endowed us with passions and propensities, the well-regulated operation of which intended that we should suspend*» (Holmes, 2011, p. 115).

Nonostante questo spiritualismo, peculiare nel suo insegnamento era la rinuncia a ogni principio di causalità di natura teologica: infatti, egli credeva che la ricerca matematica e scientifica conseguente alle indagini sul mondo che ci circonda dovessero limitarsi a comprendere e descrivere la natura e le sue leggi, senza ricercare le cause divine sul modo in cui Dio ha creato l'universo. Se, infatti, tutto questo fosse possibile, in qualche modo la persona umana sarebbe in grado di cogliere, e quindi limitare, la potenza creatrice divina, il che è inaccettabile per ogni persona di fede.

Tale approccio culturale ed epistemologico non deve stupire e non è isolato nella scienza della prima metà del XIX secolo: solo per citare due esempi noti, il francese Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) era cattolico fervente e rigoroso, membro della Società di San Vincenzo de' Paoli e in contatto con la Compagnia di Gesù; l'italiano Gabrio Piola (1794-1850) aveva spiritualismo profondo e, oltre a essere uno studioso di matematica e meccanica, insegnò religione cattolica per decenni in una parrocchia di Milano e pubblicò un opuscolo sulla sua visione di riconciliazione tra scienza e fede. Ancora nel 1875 il geofisico Balfour Stewart (1828-1887) e il matematico Peter Guthrie Tait (1831-1901), coautore nel 1867 con Lord Kelvin del "Treatise on Natural Philosophy" manifestavano la necessità di provare che non esiste incompatibilità tra scienza e religione: per loro, non è questione di subordinare l'evidenza materiale ai dogmi della fede, né di limitare il cristianesimo o l'immortalità dell'anima per mezzo dei risultati scientifici ottenuti e acclarati, quanto piuttosto di dimostrare che è proprio per mezzo del mondo visibile, dei suoi limiti e delle sue profondità che si è portati ad accettare l'esistenza del mondo ultraterreno.

Dopo la morte della moglie, James Thomson Sr. accettò nel 1832 l'offerta di una cattedra a Glasgow, dove portò uno spirito nuovo e promosse una profonda trasformazione dell'ateneo (Smith, 2004, p. XXX). A Glasgow egli si distinse per capacità didattiche, dedizione nell'applicazione della scienza e solide basi spiritualiste, trasmesse anche ai figli James Jr. e William che, iscrittisi all'università di Glasgow nel 1834, furono suoi studenti e, a loro volta, scienziati e ingegneri. In parte oscurato dalla fama del fratello minore, non bisogna infatti dimenticare che James Thomson Jr. fu un esperto ingegnere professionista nel campo dell'idraulica e delle sue applicazioni nel campo del trasporto dell'acqua, delle giranti, delle turbine e delle pompe,

insostituibile interlocutore di William nelle discussioni sulla natura del calore e sulle sue applicazioni, nonché ricercatore e scienziato, dal 1855 docente di ingegneria civile nella Queen University di Belfast, dal 1873 professore di ingegneria civile e meccanica nell'università di Glasgow, membro della Royal Society of Edinburgh dal 1875 e della Royal Society of London dal 1877.

L'insegnamento di Filosofia naturale di Meikleham ebbe influssi evidenti sui tre Thomson: il padre ne fu ispirato per passare dall'inclinazione alla carriera ecclesiale a testimoniare lo spiritualismo con la ricerca e la diffusione scientifica, i figli ne furono ispirati nello studio sugli scambi del calore e sulla trasmissione della *vis viva*.

Filosofia naturale e filosofia morale a Glasgow

Dell'insegnamento di Filosofia naturale di Meikleham, che ne tenne la cattedra all'università di Glasgow dal 1803 al 1846, si ha notizia tramite gli appunti del corso presi da James Thomson Sr. e dal figlio William, che iniziò a seguire le lezioni nel 1839, a soli quindici anni. In particolare, dagli appunti di James Sr. apprendiamo il campo di studi della materia secondo Meikleham: «*[Natural philosophy is] that knowledge which we acquire of the material world by the exercise of our reason […Since] the material world affords subjects of consideration so very different in their nature, and furnishes conclusions so various, and each of them so important, it is usual to separate the study of matter into several parts, and to regard each of these as a distinct department of knowledge*» (Smith, 1976, p. 294).

Ciò che distingue la Filosofia naturale dalle altre branche delle scienze della natura lo cogliamo sempre seguendo gli appunti di James Sr.: «*The more peculiar object of Natural Philosophy […] is the consideration of matter when subject to the influence of any power capable of producing motion; and this department of general physics is distinguished by the name of Mechanical Philosophy [whose] chief object is the theory of motion*» (Smith, 1976, p. 294).

In effetti, all'epoca ogni campo di studio dei fenomeni naturali era dominato dalle idee di movimento delle particelle costituenti la materia e dalla ricerca delle cause agenti che determinavano questo movimento, la *explanatio per causas*; sia James Sr. sia William furono perciò permeati da questa epistemologia; quest'ultimo era molto attento alle lezioni di Meikleham, che ribadiva la necessità di distinguere lo studio per la conoscenza della natura in due branche principali: «*[…] natural history or the history of natural events, which teaches us to observe and discriminate objects, but which does not imply the concept of motion, and natural philosophy or the discovery of the laws of nature and the investigation of the way in which objects act on one another, which does imply motion. […] Natural philosophy may be defined as the science of the pressure of motion of bodies, or the science of the forces*» (Smith, 1976, p. 295).

Il giovane William Thomson entrò in contatto con i lavori di matematica e meccanica di Lagrange e Laplace proprio grazie alle lezioni di Filosofia naturale. Quando

Meikleham si ammalò nel 1839, la cattedra non fu riassegnata fino alla sua morte e l'insegnamento fu affidato provvisoriamente all'astronomo scozzese John P. Nichol (1804-1859), che introdusse William anche alle pubblicazioni di matematica e fisica di Fourier. William fu in ogni caso così permeato dagli insegnamenti di Meikleham, facendoli propri, che ebbe l'incarico dell'insegnamento di Filosofia naturale nel 1846, alla morte di Meikleham, tenendola per 53 anni. L'eredità del maestro è così tangibile nell'antico allievo che questi, nella sua *lectio inauguralis*, affermò che *«the fundamental subject of Natural Philosophy is Dynamics, or the science of force»*. Così, il ruolo della dinamica, centrale nella meccanica secondo Meikleham, diventa per il giovane William il cuore della Filosofia naturale.

Assieme alle lezioni di Filosofia naturale, i fratelli Thomson seguivano anche quelle di Filosofia morale, tenute da William Fleming (1794-1866). Qui si ragionava sulle prove possibili dell'esistenza di Dio e della sua interazione continua con il mondo che ci circonda, tramite le sue azioni creatrice e ordinatrice. Agli occhi del giovane William, le persone umane possono solo "fare" nel senso di rimodellare le forme già create secondo gli scopi che aumentino la comodità dell'umanità, mentre è solo l'essere supremo che può "fare" creando, cioè trarre dal nulla. Di conseguenza, la natura che ci circonda è supportata dalla *potentia absoluta* divina, con la quale è stato creato l'universo, il quale si mantiene con leggi immutabili tramite la *potentia ordinata*, sempre di origine divina. Questa visione, condivisa da Meikleham, faceva sì che una delle ragioni per studiare la Filosofia naturale fosse che in tal modo si vedesse il Creatore come grande causa prima che mantiene le energie della natura; William Thomson fece suo questo credo e, sempre nell'introduzione al suo insegnamento di Filosofia naturale, affermava che: «*When we look back upon knowledge of nature from earliest times, and on the progress which has been made by the human mind in the discovery of truth, we feel that the power of investigating the laws established by the Creator for maintaining the harmony and permanence of His works is the noblest privilege which He has granted to our intellectual state*» (Thompson, 1910, p. 245).

Il calore e le macchine termiche

Nel 1841, dopo aver dimostrato brillantezza in matematica, pubblicando anche alcuni lavori scientifici sotto lo pseudonimo P.Q.R., William proseguì i suoi studi a Cambridge, e dopo la laurea, all'inizio del 1845 si stabilì per alcuni mesi a Parigi, seguendo i consigli del padre James Sr., che lo stimolava ad acquisire anche esperienze di laboratorio per completare la sua formazione ancora puramente teorica. A Parigi, William frequentò il laboratorio di Regnault, dove si effettuavano misure estremamente accurate di temperature, coefficienti di espansione termica e calori latenti dei materiali. In questo periodo, William lesse la "Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur" (1834) di Clapeyron e venne a conoscenza del trattato sulla potenza motrice del fuoco di Carnot, che riuscì a trovare solo nel 1848[2].

In realtà, William e il fratello James Jr. erano già da tempo incuriositi dalla fenomenologia del calore e delle sue manifestazioni, per esempio a seguito dell'attrito tra corpi, e delle trasformazioni della potenza meccanica, un concetto abbastanza chiaro, come testimonia questo brano di una lettera scritta dal fratello maggiore a William il 13 agosto 1863: «*Even you and I at Walsall (in 1842 I think) when watching the consumption of power in the flow of water into a canal lock were speculating on what became of the power as we could not suppose the water worn and therefore altered like as solids might be supposed to be when power is consumer in their friction*» (Smith, 1977, p. 233).

Una teoria del calore accettata all'epoca cui si riferisce la lettera di James Jr. era quella del fluido calorico, introdotta originariamente dal chimico Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) nel suo "Traité Élémentaire de Chimie" (1789): il calorico è una sostanza fluida imponderabile e invisibile che, contenuta nei corpi in maggiore o minore concentrazione, ne determina la temperatura. Se due corpi entrano in contatto, quello con la maggiore concentrazione di calorico lo cede a quello con la minore concentrazione, fino a raggiungere l'equilibrio. La portata epistemologica di alta valenza nel supporre il calore come un ente fisico di natura materiale, ancorché non visibile, è proprio qui: il calorico, come la materia, non può essere creato o distrutto ma può solo trasferirsi da un corpo a un altro, conservandosi.

Seguendo questa visione, Sadi Carnot propose la propria teoria delle macchine termiche in analogia con le giranti idrauliche: infatti, come il lavoro di una girante dipende dalla differenza in quota dell'acqua che la muove, così il lavoro meccanico di un motore termico dipende dalla caduta di calorico da alta a bassa temperatura. Poiché, inoltre, il calorico non può essere creato né distrutto, la produzione di lavoro non risulta da un consumo di calore ma solo dal passaggio da una temperatura a un'altra e il vapore è solo un mezzo di convogliare il flusso di calorico. Da qui la formulazione del suo ciclo di macchina termica, che non dipende dalla natura del fluido che convoglia il calore ma solo dal salto di temperature tra monte e valle.

La teoria del calorico, usata per le macchine termiche anche da Clapeyron (1834), era comune nell'ambiente scientifico francese e permeò anche il giovane William Thomson, soprattutto dopo il suo periodo trascorso a Parigi: la visione di un calorico materiale, eterno come il motore divino che ha creato l'universo e lo mantiene vivo, certamente era consono alla sua formazione improntata di spiritualità.

Un'altra teoria, seguita tra gli altri da Robert Boyle (1627-1691) e Robert Hooke (1635-1703), anch'essa con base meccanica consolidata e indubitabile, attribuiva il calore a qualche forma di movimento delle particelle ultime costituenti la materia. Questa visione era supportata dagli esperimenti portati avanti all'inizio del XIX secolo da Benjamin Thompson (Conte Rumford, 1753-1814) e Humphry Davy (1778-1829). Entrambi, producendo calore per attrito, concludevano che, poiché la potenza meccanica non può disperdersi, la quantità di calore che si genera deve essere uguale

alla quantità di lavoro speso per mantenere il movimento delle particelle contro la resistenza all'attrito. Da queste esperienze, emergeva che il calore poteva essere generato, contrariamente all'invariabilità assunta per il fluido calorico, pur rimanendo basati su concetti meccanici condivisi, ossia il moto delle particelle.

Alla fine degli anni '30 del XIX secolo, lo scozzese James Prescott Joule (1818-1889), con esperimenti sulla corrente elettrica, faceva emergere nuove possibilità di generare calore, con ulteriore contraddizione della supposta indistruttibilità del fluido calorico. Era inevitabile per Joule cominciare a pensare che calore e lavoro potessero essere trasformati l'uno nell'altro: così, agli inizi degli anni '840 cominciò a progettare esperimenti per la quantificazione dell'equivalente meccanico del calore e a criticare nelle sue pubblicazioni e nelle sue presentazioni pubbliche la teoria del calorico seguita da Carnot e Clapeyron. Secondo Joule, infatti, il vapore che espande nel cilindro di una macchina termica perde calore, convertendolo in lavoro meccanico, e il calore-calorico quindi non si conserva nel salto di temperatura, poiché la porzione di calore convertita in lavoro meccanico abbandona il vapore quando questo giunge nel condensatore (Joule, 1845, p. 383).

Nel giugno 1847 Joule presentò il suo mulinello mosso dalla caduta di un grave per la misura dell'equivalente meccanico del calore in una riunione della British Association a Oxford. Tra gli astanti c'era William Thomson, che fu molto colpito dai risultati di Joule, tanto da condividerli con il padre e il fratello, affermando in una lettera che pensava che Joule fosse in errore ma che avesse «*discovered some facts of extreme importance, such as, for example, that heat is developed by friction within moving fluids»* (Smith e Norton Wise, 1989, p. 243). Questa dimostrazione evidente della generazione di calore da lavoro meccanico era una prima confutazione chiara della conservazione, o indistruttibilità, del calorico e fu chiave per William, che iniziò una fitta corrispondenza e una lunga amicizia con Joule.

William Thomson, Joule e la conservazione della vis viva

Joule basava la sua trattazione del trasferimento di calore in una macchina termica sul concetto dinamico consolidato di *vis viva*. Questa, introdotta dal tedesco Wilhelm Gottfried Leibniz (1646-1716) nel suo trattato "Specimen Dynamicum" del 1695 come il prodotto della massa di un corpo puntiforme per il quadrato della sua velocità e sommabile per più punti materiali, rappresentava la capacità del punto di causare effetti negli urti: in questo modo, la *vis viva* doveva necessariamente conservarsi: è evidente la corrispondenza con l'energia cinetica intesa oggi. Così, il concetto di *vis viva* era prettamente riferito alla meccanica "pura" o, come forse diremmo oggi, "fredda": tuttavia, gli esperimenti del Conte Rumford di fine '700 mostravano che il calore generato nella perforazione dei cannoni, quindi con un lavoro meccanico, spendendo *vis viva*, non poteva essere altro che un'altra forma di *vis viva*, dovendo quest'ultima necessariamente conservarsi. Perciò era naturale

per Joule attribuire la natura del calore al moto vibratorio delle atmosfere elettriche e magnetiche che circondano gli atomi costituenti la materia (Joule, 1843). Quindi, il calore non è una sostanza ma uno stato dinamico ed è naturale ammettere la convertibilità di lavoro meccanico e calore, avendo entrambi natura dinamica. Ma allora, se è possibile ottenere calore da azioni puramente meccaniche, come provato negli esperimenti sull'attrito, dev'essere possibile anche la conversione inversa, di calore in lavoro.

Per i fratelli Thomson, inizialmente fedeli alla teoria del calorico, il ruolo della *vis viva* nella visione di Carnot-Clapeyron del motore a vapore era chiaro: come una portata d'acqua in un salto di quota, così il calorico acquisisce *vis viva* nel salto di temperatura dal bruciatore al condensatore. La visione di Joule della *vis viva*, tuttavia, iniziò a indebolire le certezze sulla visione della natura "materiale" del calore come fluido calorico. Infatti, il principio accettato e indiscusso di conservazione della *vis viva* faceva sì che Joule affermasse: «*[Clapeyron] agrees with Mr. Carnot in referring power to vis viva developed by caloric contained in the vapour, in its passage from the temperature of the boiler to that of the condenser. I conceive that this theory, however ingenious, is opposed to the recognised principles of philosophy, because it leads to the conclusion that vis viva may be destroyed by an improper disposition of the apparatus: thus Mr. Clapeyron draws the inference, that "the temperature of the fire being from 1000° (C) to 2000° (C) higher than that of the boiler, there is an enormous loss of vis viva in the passage of the heat from the furnace into the boiler". Believing that the power to destroy belongs to the Creator alone, I entirely coincide with Roget and Faraday in the opinion, that any theory which, when carried out, demands the annihilation of [living] force, is necessarily erroneous*» (Joule, 1843; 1845, pp. 382-383).

Da questa citazione, e dalla diffusione dei risultati di Joule e dei suoi articoli, possiamo capire come l'idea di una *vis viva* non solo in meccanica del movimento, ma anche in altre branche della filosofia naturale, cominciasse a diffondersi nella comunità scientifica. Sempre da questa citazione, possiamo comprendere come vi fosse una qualche base spirituale condivisa tra i Thomson e Joule, motivo ulteriore a base della loro amicizia: se ci sono energie nel mondo, e la *vis viva* è una di queste, come universalmente e indiscutibilmente accettato nella comunità scientifica del tempo, queste sono mantenute dalla *potentia ordinata* divina; l'altro attributo divino, *potentia absoluta*, è la sola che le può creare o distruggere e tutte le teorie di filosofia naturale che tentano di spiegare la natura andando in contraddizione con questo principio spirituale di fede devono essere rigettate. Appare evidente che questa adesione di pensiero da parte dei Thomson, per cui la potenza creatrice, o distruttrice, delle quantità di natura è solo di pertinenza divina ed è indubbiamente legata alla formazione spiritualista di famiglia e degli insegnamenti di filosofia naturale e Filosofia morale all'università di Glasgow.

Nel 1848, un anno dopo il loro primo incontro, e dopo averne studiato gli scritti, William scrisse a Joule, mostrando di essere assai sensibile alle obiezioni di Joule alla visione di Carnot-Clapeyron delle macchine a vapore, la quale, come descritto, prevedeva evidentemente la distruzione di *vis viva*. William, tentando di riconciliare le due visioni, entrambe con solide basi meccanicistiche e che ricadevano nella sua sensibilità spirituale, aveva supposto che la perdita di calore-calorico nella macchina termica sia dovuta alle inevitabili imperfezioni di realizzazione: una parte di calorico fluisce per conduzione attraverso le pareti della macchina nel passaggio del vapore dal bruciatore al condensatore e non partecipa alla produzione di lavoro meccanico. Tuttavia, William doveva in ogni caso ammettere che tale spiegazione non risolve la questione: la quantità di calore fluita in questo processo di trasmissione attraverso le pareti del cilindro, che è evidentemente irreversibile, non può essere riconvertita in lavoro meccanico, e la *vis viva* posseduta dal calorico fluito via attraverso le pareti è perciò perduta irrimediabilmente. Ancora una volta, la teoria delle macchine termiche spiegata per mezzo del calore-calorico alla Carnot-Clapeyron è insoddisfacente. William fu così portato, sebbene con una certa resistenza, a pensare che la teoria del calore-calorico dovesse essere superata.

Un altro tentativo di riconciliare Joule e Carnot-Clapeyron fu compiuto da James Thomson Jr., che immaginò la caduta di calorico dovuta a un salto di temperature come un salto di velocità, anche questo un concetto noto in dinamica: come la quantità di moto si conserva, altrettanto deve accadere della quantità di calore, indipendentemente dalla sua natura materiale o meno. James. Jr. introdusse l'idea di *vis calida*, prodotto della capacità termica del corpo per il quadrato della temperatura; la *vis calida* non si doveva necessariamente conservare in ogni circostanza ma era ragionevole supporre la trasformazione mutua di *vis calida* in *vis viva*.

Dopo essere finalmente venuto in possesso del volume di Carnot alla fine del 1848, William scrisse a Joule, presentandogli due esperimenti concettuali illustrati nella Figura 1 per un gas ideale con volume iniziale V_0. Nel primo, si ha una caduta di calorico tra due temperature per mezzo di una compressione adiabatica seguita da un'espansione isoterma: in questo modo, si produce lavoro in modo reversibile. Il secondo esperimento è una semplice conduzione termica a volume costante tra lo stesso salto di temperatura: in questo caso non si ha produzione di lavoro e quindi non c'è trasformazione di *vis viva*.

In questo modo il lavoro prodotto nel primo esperimento sembra perso nel secondo, sebbene vi sia stata la stessa caduta di calorico: di conseguenza, William avanzò l'ipotesi che il passaggio di calore per conduzione possa produrre effetti dinamici invisibili a occhio nudo e che la quantità di calore che fluisce da un corpo a un altro dipenda dallo stato fisico dei corpi, o meglio della materia che li costituisce nelle condizioni fisiche che li caratterizzano. William comincia così ad avanzare l'idea di una funzione di stato e che la produzione o meno di lavoro sia legata solo alle con-

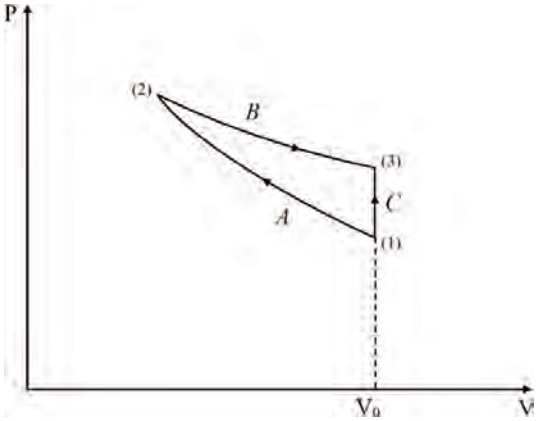


Fig. 1 - Rappresentazione degli esperimenti concettuali di William (Smith e Norton Wise, 1989, p. 313).

dizioni iniziali e finali dei corpi, cioè ai valori corrispondenti delle funzioni di stato, indipendentemente dalle trasformazioni che portano dall'uno all'altra: cioè, sotto le stesse condizioni fisiche le quantità di calore scambiato sono le stesse.

A questo punto, William si sta distaccando dall'idea di calore-calorico e si sta avvicinando a quella di calore-elettricità: come il flusso di carica, o corrente elettrica, in un conduttore cambia lo stato di carica di quest'ultimo, così il flusso di calore cambia lo stato termico del corpo in cui fluisce. Questo uso da parte di William di analogie meccaniche per spiegare "nuovi" fenomeni sarà poco più tardi anche il punto di partenza di James Clerk Maxwell (1831-1879): questi, per i suoi studi sull'elettromagnetismo, usò inizialmente l'analogia tra le linee di corrente di un fluido incompressibile e le linee di forza evidenziate negli esperimenti di Michael Faraday (1791-1867), come evidenziato, tra l'altro, in Tripodi e Ruta (2024).

Tuttavia, una teoria dinamica completa non è ancora matura in William, che si pone il problema di come la *vis viva* che entra nel sistema come calore e si trasforma in *vis viva* meccanica possa poi tornare a essere *vis viva* termica: «*What is the precise nature of the thermal action by means of which mechanical effect must be produced, without any other type of effects? How can one estimate the amount of this thermal action required to perform a given amount of work?*» (Thomson, 1849, p. 114). «*When "thermal agency" is thus spent in conducting heat through a solid, what becomes of the mechanical effect which it might produce? Nothing can be lost in the operations of nature – no energy can be destroyed. What effect, then, is produced in place of the mechanical effect which is lost?*» (Thomson, 1849, p. 118).

Si noti nell'ultima citazione l'uso del termine energia, per quanto attinente al mondo della Filosofia naturale e non da intendersi nell'accezione odierna, più vicino

o addirittura sinonimo di *vis viva*. Lo spiritualismo di William Thomson è ancora così forte che egli non riuscirà a formulare una nuova teoria del calore e delle macchine termiche se non tempo dopo, in una serie di lavori presentati dal 1851 al 1855, poi raccolti in Thomson (1851), dopo essere stato in contatto a lungo con Joule e essere venuto a conoscenza dei lavori degli scienziati sul continente, in special modo di Rudolf Clausius (1822-1888).

Conclusioni

In questo contributo si sono presentati alcuni aspetti dell'ambiente culturale e spirituale complesso, dal punto di vista anche storico, sociale, filosofico, politico-religioso, che influenzò il futuro Lord Kelvin nelle sue speculazioni iniziali sulla natura del calore e delle sue applicazioni. Non ci si è fermati, invece, sugli sviluppi della teoria dinamica del calore, sulla scala termometrica assoluta e sulle altre produzioni di William Thomson, poiché già ampiamente trattati nella letteratura.

Guidato dallo spiritualismo della famiglia e della sua prima formazione superiore, infatti, il giovane William Thomson si trovò a riflettere sulle idee ereditate da Carnot e Clapeyron e sulle esperienze di laboratorio di Joule. Nel tentativo di giungere a una visione unitaria e formale della teoria del calore, le relazioni familiari di partenza col padre James Sr. e col fratello maggiore James Jr. e l'amicizia con Joule gli aprirono fronti di discussione aperta e nuovi punti di vista, conducendolo infine a una teoria dinamica del calore.

Nella ricerca sulla "vera" natura del calore troviamo in Lord Kelvin una profonda coscienza, supportata dalla concezione spirituale che mantenne per tutta la vita: vi sono limiti umani nel governare, guidare e controllare per mezzo di macchine i fenomeni collegati al calore e al suo impiego per le attività delle persone. Infatti, gli uomini sono imperfetti e possono al più riassemblare le creazioni dell'artefice unico, mentre solo la potenza divina è in grado di creare e mantenere l'ordine dell'universo. Così, tutti i suoi passi avanti e i suoi cambi di concezione non erano mai in contrasto con questo atto di fede primitiva: per esempio, nel cercare una nuova idea di calore lontana da quella di fluido calorico, che andava in contrasto con alcune evidenze sperimentali, egli non pretendeva di conoscerne la natura più intima. Infatti, anche questa natura intima è governata dalla potenza creatrice e dalle leggi immutabili divine, inafferrabili dalla mente umana, e l'indagine del filosofo naturale si deve limitare a descrivere ciò che non altera la *vis viva*.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano gli organizzatori del congresso AISI per la possibilità di presentare questo contributo. Giuseppe Ruta ringrazia il supporto economico del fondo istituzionale per la ricerca RM12017294D1B7EF della Sapienza Università di Roma.

Bibliografia

Bonaccorsi M., Ruta G. 2024. The Creator only may destroy *vis viva*: Natural Philosophy in Early William Thomson. In: *A History of Physics: Phenomena, Ideas and Mechanisms. Essays in Honor of Salvo D'Agostino* (R. Pisano Ed.), *History of Mechanism and Machine Science*, 42. Berlin: Springer.

Clapeyron B.-P.-É. 1834. Mémoire sur la Puissance Motrice de la Chaleur, Journal de l'École Royale Polytechnique. Cahier 23/Tome XIV, 153-190. Paris, Imprimerie Royale.

Gillispie C.C., Pisano R. 2014. *Lazare and Sadi Carnot*. 2ª ed. Dordrecht: Springer.

Holmes A.R. 2011. Professor James Thomson Sr. and Lord Kelvin: Religion, Science, and Liberal Unionism in Ulster and Scotland. Journal of British Studies, 50, 100-124.

Joule J.P. 1843. On the calorific effects of magneto-electricity, and on the mechanical value of heat. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 23(152), 263-276.

Joule J.P. 1845. On the Changes of Temperature produced by the Rarefaction and Condensation of Air. Philosophical Magazine, 3/26, 369-383.

Smith C.W. 1976. Natural Philosophy and Thermodynamics: William Thomson and 'The Dynamical Theory of Heat'. The British Journal for the History Science, 9, 293-319.

Smith C.W. 1977. William Thomson and the Creation of Thermodynamics: 1840–1855. Archive of Rational Mechanics, 16, 231-288.

Smith C.W., Norton Wise M. 1989. *Energy and Empire. A biographical study of Lord Kelvin*. Cambridge: Cambridge University Press.

Thomson W. 1849. An Account of Carnot's Theory of the Motive Power of Heat; with Numerical Results deduced from Regnault's Experiments on Steam. Mathematical and Physical Papers, 1, 11-155.

Thomson W. 1851. On the Dynamical Theory of Heat, with numerical results deduced from Mr. Joule's Equivalent of a Thermal Unit, and M. Regnault's Observations on Steam. Mathematical and Physical Papers, 1, 174-332.

Thompson S.P. 1910. *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs.* vol. 1. Cambridge: at the University Press.

Tripodi G., Ruta G. 2024. Maxwell's Early Unitary View of Electricity and Fluid Mechanics. *Encyclopedia*, *4*(1), 13-25.

Truesdell C.A. 1980. *The tragicomical history of thermodynamics 1822-1854*. New York: Springer.

Truesdell C.A., Bharatha S. 1989. *The concepts and logic of classical thermodynamics as a theory of heat engines*. Berlin: Springer.

Note

[1] Anche il fratello maggiore di Lord Kelvin si chiamava James, distinto con l'appellativo Jr., 1822–1892.

[2] Per una descrizione delle difficoltà editoriali dell'opera di Sadi Carnot ci si può riferire a (Gillispie e Pisano, 2014).

Michele Maria La Veglia, Clemente Esposito

Il grande incendio del Palazzo Reale di Napoli del 1837 e la direzione tecnica delle operazioni di spegnimento della Compagnia dei Pompieri

The Great Fire of the Royal Palace of Naples in 1837 and the technical direction of firefighting operations by the Civic Fire Company

Sommario
Il Palazzo Reale di Napoli subì un incendio catastrofico dal 6 al 9 febbraio 1837. Fortunatamente, Francesco del Giudice, ingegnere direttore della Compagnia degli Artefici Pompieri, figura di spicco nella storia dei Pompieri in Italia prese importanti decisioni tecniche che portarono a domare le fiamme. In questo lavoro l'episodio viene rivissuto attraverso il racconto diretto di del Giudice, ricavato da documenti di archivio e riletto alla luce delle moderne tattiche di intervento e misure di prevenzione degli incendi.

Abstract
The Royal Palace in Naples suffered a catastrophic fire from 6 to 9 February 1837. Fortunately, Francesco del Giudice, the engineer director of the *Compagnia degli Artefici Pompieri*, a leading figure in the history of firefighting in Italy made important technical decisions that led to the flames being extinguished. In this work, the episode is relived through del Giudice's direct account, drawn from archive documents and re-read in the light of modern intervention tactics and fire prevention measures.

Introduzione
Il primo corpo dei Pompieri dell'Italia preunitaria fu decretato il 28 febbraio 1806 nel Regno di Napoli con Editto a firma di Giuseppe Napoleone. Negli anni successivi anche gli altri Stati preunitari italiani si dotarono di analoghe corporazioni per il soccorso antincendio: nel 1809 Firenze, nel 1810 a Roma, nel 1812 Milano per volere di Eugenio Napoleone di Beauharnais e nel 1824 a Torino con il re Carlo Felice con le sue Regie Patenti. La Compagnia dei Pompieri di Napoli fu successivamente riformata da Gioacchino Murat con Decreto del 4 maggio 1810.

L'impostazione del Corpo napoletano sul modello francese fu determinante ed efficace: un drappello inquadrato nei ranghi dell'esercito, quindi dotato di armi, ma che avesse un Ingegnere Direttore con i gradi di colonnello. Tale impostazione ven-

ne confermata con il Decreto reale del 13.11.1833 e con quelli successivi, firmati da Ferdinando II di Borbone e ispirati certamente dai tecnici di sua fiducia, come i Comandanti Carlo Diversi e Francesco del Giudice. Di grande rilievo fu il primato dell'organizzazione, delle tecniche antincendio e delle innovazioni che si trovano applicate in quello che è oggi il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (La Veglia, 2023).

Tra le figure tecniche che guidarono il Corpo brilla Francesco del Giudice, ingegnere direttore della Compagnia degli Artefici Pompieri, figura di spicco nella storia dei Pompieri in Italia

Qui di seguito vengono ricostruite le fasi del catastrofico incendio che si sviluppò al Palazzo Reale tra il 6 e il 9 febbraio 1837, che fu domato grazie a importanti decisioni tecniche di Del Giudice. La ricostruzione è fatta attraverso il racconto diretto del protagonista, ricavato da documenti custoditi nel fondo "Pompieri" dell'Archivio di Stato di Napoli. Il saggio breve che segue è un esempio mirabile di come un ingegnere, applicando l'inventiva, la sapienza e la giusta scelta operativa possa fare la differenza in un momento di grandissimo stress e responsabilità. Si riporteranno gli estratti originali della relazione, alternati dal commento dell'Autore che li inquadrerà alla luce delle odierne tattiche di spegnimento e delle vigenti misure di prevenzione incendi.

Francesco del Giudice, ingegnere della Compagnia dei Pompieri

Francesco del Giudice, in Figura 1, fu ingegnere Direttore della Compagnia dei Pompieri di Napoli con Ferdinando II di Borbone, confermato in tale incarico anche dai reali Savoia. Nella prima metà dell'800 era già un'autorità indiscussa nel campo dell'antincendio: si pensi solo che nel "Nuovo dizionario Universale tecnologico o di Arti e mestieri", edito a Venezia nel 1857, la voce Incendi è, come indicato dagli stessi autori del dizionario, copiata integralmente dagli scritti del Comandante di Napoli.

Sue le invenzioni della pompa idraulica portatile da incendio e del ponte di salvamento, in pratica la prima scala aerea di soccorso dei pompieri nell'Italia preunitaria. Egli lasciò il segno anche nelle nuove tecnologie, brevettando nel 1870 gli avvisatori elettrici di incendio.

Di grande rilievo le sue disposizioni per organizzare e la Compagnia dei Pompieri della Capitale del Regno, mutuate poi in tutti gli altri Stati preunitari e in gran parte anche nell'odierno Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Fig. 1 - Francesco del Giudice (1815-1880), ingegnere Direttore dei Pompieri di Napoli. Ritratto di V. Strianese (ritratto custodito presso la Galleria dei Vigili del Fuoco in Napoli, via del Sole).

Il drammatico incendio del Palazzo Reale di Napoli

Alle prime ore del 6 febbraio del 1837 le fiamme si sviluppano nel Palazzo Reale di Napoli Accorrono sul posto le prime squadre della Compagnia dei Pompieri e altri reparti dell'Esercito e della Marina. Dai documenti presenti nell'Archivio di Stato di Napoli, fondo Pompieri, 1937: «Prima dell'alba del giorno 6 febbraio prossimo scorso, avvertito appena dell'incendio che sventuratamente si era appreso al Palazzo Reale vi accorsi con quanta sollecitudine mi fu possibile. Nel traversare il largo del castello osservai che le fiamme già divampavano verso l'estrema parte orientale del tetto che covre le abitazioni delle cameriste. Giunto nel cortile detto del Maneggio Vecchio pervenendovi dal lato del Comando Generale mi fu dato vedere le impetuosissime fiamme che uscivano dai balconi a man sinistra appartenenti al quarto di S. M. la Regina Madre» (ASN, 1837).

In Figura 2 è mostrata l'immagine di un quadro del pittore di corte Anton Sminck van Pitloo, attualmente in esposizione al Museo di Capodimonte; solo di recente nella immagine è stato riconosciuto l'incendio del 1837.

Il Comandante Francesco del Giudice effettua una ricognizione esterna e la sua conoscenza diretta dei luoghi gli permette di poter impartire con decisione gli interventi primari di posizionamento dei mezzi antincendio: «Feci allora subito situare due botti idrauliche al di sotto di tai balconi e cercai modo di pervenir sulla lunga balconata pensile ove essi sporgevano a fine di farvi salire le lance coi tubi delle *trombe*[1] suddette per circoscrivere e spegnere l'incendio».

Negli interventi che riguardano edifici di notevole importanza risulta molto utile attingere notizie direttamente dai responsabili della sicurezza del sito, per potersi spostare rapidamente e con sicurezza attraverso gli ambienti interessati dall'incendio ed è esattamente ciò che il del Giudice fa: «Nel far ciò rinvenni sotto l'arco opposto all'androne ov'è la scala di marmo, e pel quale era pervenuto sul cortile suddetto, Sua Eccellenza il Sig. Commendatore Caprioli e quindi Sua Eccellenza il Ministro Segretario di Stato della Polizia Generale ed appresi essersi l'incendio attaccato anche al quarto di Sua Altezza Reale il Conte di Siracusa. Nel rintracciare intanto la via più breve per giungere prestamente sul sito anzidetto si esibì all'uopo gentilmente lo stesso Sig. Commendatore Caprioli, col quale di fatti pervenuti al quarto di Sua Maestà la Regina Madre, feci subito tirare su i tubi di ascensione delle due botti idrauliche già situate al basso» (ASN, 1837). Le notizie vengono attinte direttamente dalle massime autorità responsabili della Sicurezza Reale.

Viene messa in salvo la Regina Madre Isabella, mentre restano per alcune ore sui luoghi il giovane Re Ferdinando II, in quel momento appena ventenne, e il principe consorte, il conte di Siracusa: «Vistone il felice effetto, corsi, accompagnato sempre dal sullodato Commendatore, nel loggiato che sporge sul cortile di belvedere appartenente al quarto dell'Altezza Sua Reale, il quale quarto era di già dalle più violente fiamme investito. Fu da me allora immantinenti spedito giù un sergente de'

Fig. 2 - L'incendio di Palazzo Reale del 1837: quadro in esposizione al Museo di Capodimonte del pittore olandese Anton Sminck van Pitloo. Il soggetto è stato attribuito all'evento in questione a seguito di recenti studi.

Pompieri coll'incarico di far situare un'altra botte idraulica nel cortile sottoposto al detto loggiato e feci abbassare de' cordini a fin di rilevare le maniche impermeabili delle trombe» (ASN, 1837).

È noto ai tecnici abilitati alla prevenzione incendi e ai vigili del fuoco professionisti che per affrontare un incendio in maniera efficace bisogna innanzitutto circoscriverlo. Ecco che l'Ingegnere Direttore dei Pompieri di Napoli impartisce un ordine fondamentale per risolvere la situazione: realizzare con mezzi di fortuna una compartimentazione, ovvero una struttura che rallenti la propagazione delle fiamme, ma soprattutto dei fumi caldi, sfruttando opportunamente i robusti portoni lignei: «Per impedire intanto il passaggio dell'aria alimento della combustione feci intraprendere la chiusura di tutti i vani di quell'appartamento usando nel miglior modo possibile della terra, dè rottami degli alveari e dei vasi di fiori ivi trovati. Mercé siffatte cure non meno che per l'opportuna direzione delle lance della botte idraulica verso i siti

ove più lo richiedeva il bisogno e con altri efficaci trovati si riuscì dopo poco tempo a spegner quivi l'incendio. E fu veramente fortuna poiché senza questo, le fiamme di quel luogo, già molto propagate, erano per investire la scala a macchina di Sua Maestà defunto il re Francesco 1 e potevano quindi rapidamente progredire attaccando il lungo corridoi di legno attiguo che comunica col centro di quell'immenso edifizio». L'operazione ha avuto buon esito. Si può ben dire che l'ingegnere del Giudice ha appena realizzato sul campo le prime porte tagliafuoco della storia della prevenzione incendi in Italia, e ne ha sperimentato direttamente l'efficacia.

Il Re assiste a tutto ciò: «Tutte siffatte operazioni furono eseguite sotto gli occhi di Sua Altezza Reale medesima e furono ben anche osservate da Sua Maestà il Re dal sottostante loggiato. Spentosi per tal modo l'incendio in questo appartamento e lasciatovi un sergente con altri pompieri coll'incarico di smorzare tutti i materiali che ancora fumicavano, accorsi di bel nuovo nell'appartamento di Sua Maestà la Regina Madre per conoscere il risultamento delle manovre delle due botti idrauliche suindicate, le quali a malgrado che poco avessero potuto operare, per motivo di materiali che di sopra venivan gittati, riuscirono non pertanto a spegnere le fiamme, come può venir testificato dal Brigadiere Sig. Sonnemberg che si trovò presente e vide le altre due trombe rotative da me quivi in azione lasciate, a fine di smorzare i materiali che col fumicare indicavano di non esser del tutto spenti» (ASN, 1837).

Contemporaneamente il direttore delle operazioni dispone alcune squadre di pompieri sugli altri fronti dell'incendio, avendo sempre cura di informare i membri della famiglia reale sullo svolgimento dello stesso e sulle operazioni che si intendono compiere di volta in volta.

Si fa notare come nella realtà odierna sia molto impegnativo dover da una parte gestire le operazioni di soccorso e dall'altra contemporaneamente aver cura di rendicontarne alle Autorità Governative o alle Forze di Polizia operanti in sito ad esempio. Possiamo solo immaginare in quel momento l'elevato livello di stress cui era sottoposto l'ingegnere Francesco del Giudice dovendo operare al cospetto proprio dei Reali.

«Provvedutosi in tal guisa allo spegnimento di questi due incendi, rassegnai alla lodata Sua Altezza Reale la necessità di elevarsi un muro a traverso del tetto infiammato ch'era il terzo sito incendiato, mentre però mi accingeva a tale operazione fui avvertito che alcuni materiali non del tutto spenti e gittati nel cortile delle scuderie, minacciavano d'incendiare la pagliera. Allora per accorrere a così grave pericolo abbandonando ogni altro disegno, mi precipitai giù per le scale» (ASN, 1837).

L'Ingegnere Direttore dei Pompieri coordina anche uomini dell'Esercito e della Real Marina accorsi sul posto, circostanza questa prevista dall'articolo 42 del Reale Decreto del 13 novembre 1833[2]. Ed è alla presenza di un ufficiale della Real Marina che Francesco del Giudice è vittima di un incidente: «Giunto al basso, coll'opera di due trombe, era intento a smorzare quegli oggetti per mettere in salvo la pagliera,

ma mentre mi affrettava a questa operazione e richiedeva al Colonnello Casella della Real Marina un rinforzo per alimentare le trombe, uscito appena nel cortile suddetto cadde dall'ultimo piano superiore un pezzo d'opera di balcone e percossomi in testa e sulla spalla sinistra mi seppellì quasi al di sotto di esso privandomi dell'uso dei sensi e producendomi ancora una forte distrazione nella gamba sinistra, per lo che condotto in casa verso le 10 antimeridiane non mi fu dato di compiere, come ardentemente avrei desiderato le su espressate operazioni in un tanto frangente, come in ben altri ventitré casi d'incendio si è sinora di già praticato coi più felici risultamenti» (ASN, 1837).

Nel corso delle operazioni il Comandante resta ferito lievemente a causa del crollo di alcuni elementi lapidei staccatisi da un balcone dell'ultimo piano: egli stesso riferisce di essere stato colpito alla testa, ma certamente indossava un elmetto di protezione, che lo ha salvaguardato da gravi conseguenze, ed è costretto a lasciare i luoghi, rammaricandosi di non aver completato la direzione delle operazioni di spegnimento, anche se ormai il più è fatto e l'incendio sarà definitivamente spento.

Conclusioni

L'incendio del Palazzo Reale di Napoli fu correttamente affrontato già nelle prime fasi grazie alle precise disposizioni dell'Ingegnere Direttore dei Pompieri Francesco del Giudice, che permisero di salvare dalla rovina l'intero edificio Reale. Del Giudice rimase ferito durante il primo giorno delle operazioni, per fortuna dopo aver impartito gli ordini che avrebbero permesso ai suoi uomini e a quelli dell'Esercito e della Real Marina, operanti sotto il suo coordinamento, di spegnere le fiamme dopo tre giorni di duro lavoro.

L'incendio costò molto caro alla Compagnia dei pompieri. Oltre al Comandante vi furono altri dieci pompieri feriti, e uno di essi, ferito gravemente, perì.

Il pompiere Vincenzo Bocco è la prima vittima del dovere nella storia dei Corpi dei Pompieri dell'Italia preunitaria e alla sua memoria è dedicato questo saggio.

Bibliografia

ASN. 1837. Napoli, Archivio di Stato, Fondo "Pompieri" (documenti in corso di versamento e inventariazione).

La Veglia M.M. 2023. *La galleria storica dei Vigili del fuoco di Napoli. Cimeli e memorie del Primo Corpo di Pompieri d'Italia*. Napoli: Massa editore.

Note

[1] Pompe idrauliche da incendio, nella prima metà dell'800 denominate trombe.

[2] Per ottemperare a questa grande responsabilità furono individuati come Comandanti sempre personaggi di indubbia preparazione tecnica e dotate di notevole equilibrio.

Alessandra Tosone, Renato Morganti,
Alessia Panepucci, Matteo Abita, Danilo Di Donato

A fili di ferro: il contributo di Marc Seguin allo sviluppo dei ponti sospesi in Italia

With iron wires: the contribution of Marc Seguin in the development of suspension bridges in Italy

Sommario
Nel primo Ottocento il ponte sospeso è oggetto di un'ampia sperimentazione e tra le varianti tecnico-costruttive, quella a fili di ferro si afferma, a partire dalla metà degli anni Venti, per i suoi vantaggi di carattere costruttivo ed economico. Nella definizione di questi modelli costruttivi è centrale la figura di Marc Seguin, che nel 1825 porta a termine l'attraversamento tra Tain e Tournon, primo di una lunga serie che realizzerà insieme ai suoi fratelli non solo in Francia. Proprio ai Seguin sono riconducibili i primi ponti a fili di grande luce realizzati in Toscana e in Piemonte, territori che per motivi diversi si mostrano favorevoli all'importazione di questa tecnologia. Il contributo intende delineare il profilo dell'ingegnere lionese e descrivere le circostanze nelle quali ha operato nel contesto italiano per la costruzione di questa tipologia di ponte, definendo le premesse per l'avvio di un reale ampliamento e aggiornamento della capacità tecnica e produttiva di alcuni degli Stati preunitari del Belpaese.

Abstract
The suspension bridge was the object of a wide experimentation in the early 19th century and between the technical and building types, the wire-cable suspension bridge had a great success since the mid-1920s due to construction and economic advantages. One of the key players for the development of these kind of infrastructure was Marc Seguin, who built in 1825 the bridge between Tain and Tournon, the first of a long series that he built with his brothers not only in France. The first wire-cable suspension bridges in Italy with a long span can be indeed referred to the Seguin family, particularly in Tuscany and Piedmont which were, for different reasons, favourable territories for the importation of this technology. This paper aims to outline the profile of the Lyonnais engineer and to describe the circumstances in which he worked in the Italian context, for the construction of this kind of bridge, establishing the premise for the development of the technical and production capacity of pre-unification Italian states.

Introduzione

Verso la fine del Settecento le leghe ferrose trovano una maggiore applicazione in ambito edilizio rispetto alle pratiche costruttive consolidate e tra le prime sperimentazioni volte a sfruttarne le proprietà meccaniche si collocano le ricerche finalizzate alla definizione di tecnologie particolarmente efficienti per la costruzione dei ponti. Le «macchine per circolare» (Parisi, 2001) sono infatti, un mezzo tecnico indispensabile per porre in atto le politiche commerciali dei più ambiziosi Stati dell'epoca. Si avviano così studi che inizialmente si basano sul ricorso a modelli costruttivi tradizionali o sulla reinterpretazione di «strutture primitive» (Messina, 1979, p. 242), per giungere, in seguito, a processi di innovazione tecnologica e alla definizione di tecniche e modelli costruttivi nuovi.

In questo ambito un fertile campo di sperimentazione è quello che interessa il ponte sospeso, la cui ideazione si ispira alle tipologie strutturali dei ponti a funi di liane e di cuoio che alcuni esploratori avevano avuto occasione di osservare sia in Cina che in alcuni stati sudamericani (Coltellini, 1763). Si assiste alla progressiva sostituzione delle funi in liane e cuoio con elementi metallici, anche in ragione della loro crescente disponibilità sul mercato. Non a caso è l'ampia gamma dei prodotti ferrosi a favorire l'introduzione di due varianti tecnico-costruttive differenti sia per configurazione dei componenti che per funzionamento: il ponte a catene e quello a fili di ferro. Nel primo le catene di sospensione assumono una disposizione a catenaria e sono costituite da anelli allungati oppure da barre vincolate, lavorate per battitura. Il ponte pensile a fili, invece, richiede l'utilizzo, a seconda delle condizioni progettuali, di diverse qualità di ferro, da dolce a crudo, scelte in base ad apposite prove di trazione. Problematica tecnica di questa seconda tipologia è costituita dalla piegatura del filo nei punti di giunzione, la cui corretta soluzione appare fondamentale perché è proprio tale piegatura a permettere la realizzazione di fili lunghi.

In un primo momento i ponti a catene vengono accolti con maggior favore, grazie all'immediato riscontro che trovano in America, Gran Bretagna e, successivamente, in Russia, mentre quelli a fili di ferro stentano ad affermarsi e vengono dapprima destinati alla realizzazione di interventi di luce contenuta quali, per esempio, alcuni attraversamenti pedonali (Wiebeking, 1834). Una serie di sperimentazioni successive ribalta però questi iniziali orientamenti, sancendo l'affermazione della seconda tipologia, perché in grado di garantire indiscutibili vantaggi anche di natura economica. A tal proposito Claudio Messina, Leonardo Paolini e Valerio Sestini in un loro articolo riferiscono che «Un'indagine condotta dal Vicat portò ad una constatazione di maggior economia di circa il 31% nell'uso dei cavi rispetto all'impiego delle catene. Questa economia derivava dall'impiego dei fili-ferro a tensioni superiori a quelle delle catene […]. Il minor impegno del materiale e l'eccesso di organismi di collegamento rendevano più pesante il ponte a catene, che risultava pesare il doppio di un ponte di fili-ferro a parità degli altri parametri» (Messina *et al*., 1979, pp. 249-250).

Ambito privilegiato di sperimentazione è in questo caso l'Europa continentale, in particolare quella di area francofona che può contare sullo sviluppo della cultura tecnico-scientifica del *Corps des Ponts et Chaussées* e sui contributi teorico-sperimentali di tecnici di vaglia quali, per esempio, Marc Seguin.

Marc Seguin e il ponte a fil di ferro

Formatosi a Parigi presso la scuola di ingegneria del *Conservatoire National des Arts et Métiers*, dove insegna lo zio, Joseph-Michel de Montgolfier, nel 1805 Marc Seguin torna nel suo paese natale Annonay, dove si occupa dapprima del miglioramento dei macchinari dell'azienda di famiglia e poi della costruzione di alcune fabbriche per la produzione di feltro. È l'interesse che manifesta per la promozione dei commerci nella propria regione a indurlo ad affrontare lo studio di sistemi costruttivi innovativi, caratterizzati dalla tecnica della sospensione a funi di fasci di fili di ferro per la realizzazione di attraversamenti fluviali in grado di superare gli ostacoli orografici che costituivano, all'epoca, una forte limitazione allo scambio di beni di consumo. Notizia di tali sistemi innovativi era stata riportata nel volume "Historie de la Navigation Intérieure", pubblicato dall'ingegnere Louis Joseph Cordier nel 1820 (Cordier, 1820) in cui compaiono alcuni interventi infrastrutturali portati a termine negli Stati Uniti, tra cui lo Spider Bridge, un ponte "fil de archal" realizzato con tempi e costi contenuti, nei pressi di Philadelphia.

Le esperienze americane inducono Seguin a proseguire le sue ricerche empiriche che si concretizzano con una prima verifica sperimentale nel 1822, quando realizza in un terreno di sua proprietà una passerella sospesa di 18 m di luce. Nello stesso anno presenta una proposta di ponte sospeso in fili di ferro di due campate, ciascuna da 90 m di luce, tra le città di Tain e Tournon (Salençon, 1987). Il progetto viene respinto per due volte dal Consiglio Generale di Ponti e Strade di Parigi, diretto all'epoca da Claude-Louis Navier che non considera sufficientemente adeguati e precisi i calcoli relativi alla stabilità del ponte; del resto, il noto scienziato borgognone non fa mistero della personale predilezione per il sistema a catene, cui dedica in quegli stessi anni il trattato "Rapport a monsieur Becquey, conseiller d'état, directeur général des ponts et chaussées et des mines; et mémoire sur les ponts suspendus" (Navier, 1823).

Le iniziali difficoltà che Seguin incontra vengono, però, ben presto superate nel biennio 1824-1826 che si pone come un vero e proprio spartiacque temporale: infatti, dopo continue sperimentazioni e ricerche, l'ingegnere lionese riesce a realizzare due ponti sospesi in fili di ferro e porta a termine il suo primo trattato "Des ponts en fil de fer" (Seguin, 1824). Queste fatiche non si rivelano vane: di lì a poco attirano, infatti, l'interesse di una commissione dell'Accademia delle Scienze grazie alla quale ottiene una nuova audizione al Consiglio Generale di Ponti e Strade per la realizzazione del Ponte di Tournon, in Figura 1; il progetto viene stavolta valutato come un'eccellente occasione di «sperimentazione condotta con cura e precisione» (Seguin, 1826, pp.

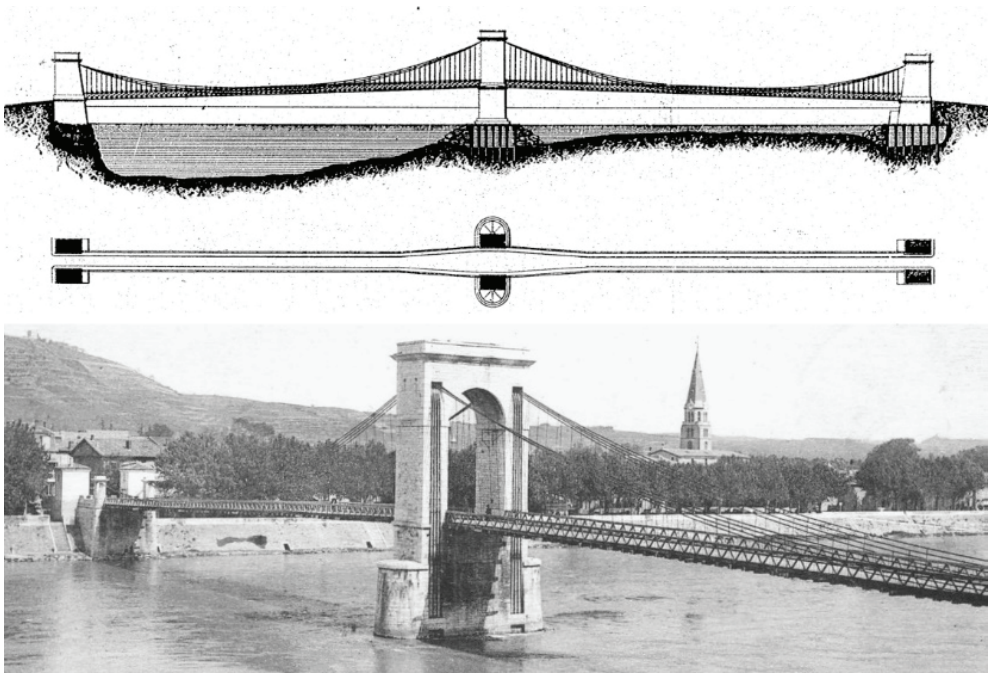


Fig. 1 - Ponte tra Tain e Tournon sul fiume Rodano realizzato nel 1825 da Marc Seguin (Seguin, 1826; Bibliothèque municipale de Lyon. Photographes en Rhône-Alpes).

6-7) con l'attesa concessione dell'autorizzazione alla costruzione del ponte che viene ultimato in breve tempo e inaugurato il 25 agosto del 1825. Il successo di questa realizzazione porta Marc Seguin ad affermarsi tra i progettisti più prolifici in campo internazionale e ad avviare con i suoi fratelli una società che nel 1850 avrà realizzato ben 186 ponti tra Francia, Italia e Spagna (Dürrenmatt, 1987, pp. 115-136).

Il contesto italiano nel periodo di affermazione di Seguin

In Italia la costruzione dei ponti a struttura metallica assume i caratteri di una rivoluzione tecnologica d'importazione in cui la Francia gioca un ruolo di assoluta egemonia non solo culturale e scientifica, ma anche politica ed economica a fronte della condizione di estremo ritardo degli Stati del Bel Paese nel processo di modernizzazione indotto dalla Rivoluzione Industriale. Una chiara matrice giacobina caratterizza anche la fase di rinnovamento del sistema della formazione: nel periodo Napoleonico l'imposta omogeneità politica e amministrativa consente, infatti, di avviare una radicale riforma delle istituzioni culturali e scientifiche, volte a delineare aggiornati profili di competenza di architetti e ingegneri sul modello della *Ecole Politechnique* e a definire un programma generale di riassetto del territorio.

Tra il 1808 e il 1814 le occasioni più significative «per i quadri tecnici francesi di esportare una politica di trasformazione del territorio ampiamente sperimentata in patria nel corso della seconda metà del Settecento» (Parisi, 2001, p. 335) sono il progetto del ponte sul Po a Torino e quello sul Garigliano a Minturno, caratterizzati entrambi da proposte tipologiche diverse che portano, per il primo, alla realizzazione del ponte di struttura ad archi ribassati e che, per il secondo, si collocano in una lunga vicenda conclusasi con il progetto, non realizzato, di un ponte sospeso elaborato da Carmine Antonio Lippi alla fine del 1810. Il progetto di Luigi Giura per il primo ponte a catene in Italia risale, infatti, al 1828, nel periodo in cui la sperimentazione di questa tipologia procede in modo significativo anche in altre aree del Paese.

La decisa condanna del periodo giacobino attuata durante la Restaurazione non riesce però a disconoscere il magistero tecnico francese la cui eco sopravvive a lungo, così come vivo resta l'interesse per le realizzazioni d'oltralpe e, in particolare, per quelle volte al potenziamento dei sistemi infrastrutturali.

In questo ambito emerge come centrale la figura di Marc Seguin sia nella veste di progettista e costruttore, per il gran numero di ponti realizzati, sia in quella di scienziato, per l'ampia diffusione del suo trattato in due diversi ambiti territoriali, il Gran Ducato di Toscana e il Regno di Sardegna, che assurgono a luogo privilegiato della realizzazione dei ponti sospesi a fili di ferro nel contesto del Bel Paese.

In questi stessi ambiti territoriali, e in pochi altri, come nel caso del Veneto, la realizzazione di attraversamenti di grande luce è anticipata da una serie significativa di progetti per passerelle e ponti pedonali di luce minore che adottano il modello costruttivo del ponte sospeso. La prima, progettata dall'ingegner Antonio Carcopino a Sesto Fiorentino nel 1825, è una passerella sospesa a fili di ferro di circa 8 m di luce realizzata con materiale di provenienza locale. A essa segue nel 1828 quella di Anton Claudio Galateo che si cimenta in un ponte «sospeso a corde ordite con fil di ferro» sul Bacchiglione a Padova (Chevalier, 1828, p. 20), un'esperienza che resta isolata ed è riconducibile al ruolo di ingegnere di Galateo nel Genio e alla possibile conoscenza delle sperimentazioni francesi acquisita nel corso della carriera militare. Terza in ordine di tempo, ma prima nel Regno di Sardegna, se si escludono alcune passerelle fatte costruire da Carlo Alberto nel Parco Reale di Racconigi, è l'opera dell'ingegnere Ignazio Michela, che su incarico del notaio Vitale Prié, nel 1830, realizza un attraversamento amovibile sul Canale di Caluso, utile a garantire un accesso diretto alla residenza del notaio dalla strada di collegamento con il Comune di Aglié.

La breve epifania si conclude nel 1833, con il ponte sul fiume Ombrone, per il quale l'ingegnere Alessandro Manetti sceglie una struttura a fili di ferro rivendicandone i vantaggi tecnici: minor peso e celerità di esecuzione (Lensi Orlandi, 1987, pp. 44-50). Lo stesso Manetti più tardi, nel suo ruolo di vertice nel Corpo degli Ingegneri Toscani, parteciperà in qualità di consulente alle realizzazioni dei ponti toscani da parte dell'impresa di Marc e Jules Seguin.

Nuovi territori di sperimentazione: la Toscana e la realizzazione dei ponti sull'Arno
Leopoldo II quando, nel 1824, diviene Granduca di Toscana avvia una serie di riforme della pubblica amministrazione che non disdegnano di recuperare quelle che erano state le migliori iniziative introdotte sotto la dominazione napoleonica. Non a caso l'istituzione del Corpo degli Ingegneri pare collocarsi in continuità con quanto fatto dal governo francese che aveva a sua volta fondato, a Firenze, il Servizio Imperiale di Ponti e Strade, diretta emanazione del *Service Impérial des Ponts et Chaussées*. Di conseguenza, quando emerge la necessità di realizzare due grandi attraversamenti sull'Arno, nei pressi di Firenze, lo sguardo dei vertici del Granducato si volge proprio alle innovazioni tecnologiche che in quegli stessi anni lo scenario produttivo francese propone e che vedono protagonista la società fondata dai fratelli Seguin (Seguin, 1835). Sono queste le premesse che portano all'affidamento dei lavori all'impresa lionese che, per l'avvio della costruzione, adotta una procedura, probabilmente già seguita in precedenza, che prevede la costituzione di una società per azioni deputata alla realizzazione del ponte e alla riscossione dei pedaggi per un periodo non inferiore a cento anni. Il costo dei due ponti è di 595.238 Lire Toscane (Seguin, 1835).

La presentazione nel dicembre del 1835 del progetto del primo ponte, in Figura 2, che sarebbe stato costruito nella località delle Cascine e intitolato a San Leopoldo, suscita fin da subito un vivace dibattito tra i tecnici toscani. Alessandro Manetti, chiamato in causa in qualità di esperto, giudica l'opera corretta dal punto di vista formale, ma lamenta la mancanza di dati di calcolo sul sistema di sospensione, suggerendo ai progettisti di dimostrare la capacità di resistenza del ponte a un carico di almeno 200 kg per metro quadrato. La critica prevalente al progetto dei Seguin è però l'inadeguatezza rispetto alle peculiarità idrografiche dell'Arno: sebbene l'alveo fluviale sia ampio da 144 m a 157 m, gli ingegneri francesi presentano il disegno di un ponte sospeso con una campata di 90 m di luce, con le spalle collocate all'interno dell'alveo, raggiungibili dalle rive mediante terrapieni; una configurazione criticata da Pasquale Poccianti, che ravvede in questa soluzione la pericolosa formazione di aree di deposito di sedimenti a ridosso del centro storico (Venturi, 1870).

Nonostante le numerose critiche, il progetto dei Seguin non subisce modifiche, in quanto l'opportunità di aumentare la luce libera del ponte comporterebbe la maggiorazione del costo della carpenteria metallica di produzione francese. Leopoldo II approva così il progetto nel gennaio del 1836 con l'unica condizione che il ponte sarebbe stato collaudato una volta verificata la prescrizione tecnica indicata da Manetti. I Seguin integrano il progetto con disegni che avevano già elaborato per il ponte di Bry-sur-Marne. Poco dopo la società francese presenta al Granduca, che la approva, anche la proposta per un altro ponte da intitolare a San Ferdinando, del tutto analogo al precedente, la cui ubicazione è in prossimità di Porta San Niccolò, in Figura 3. I lavori di costruzione dei due attraversamenti iniziano nella primavera del 1836. Coppie di colonne distanziate tra loro di 5 m, simili per foggia a obelischi

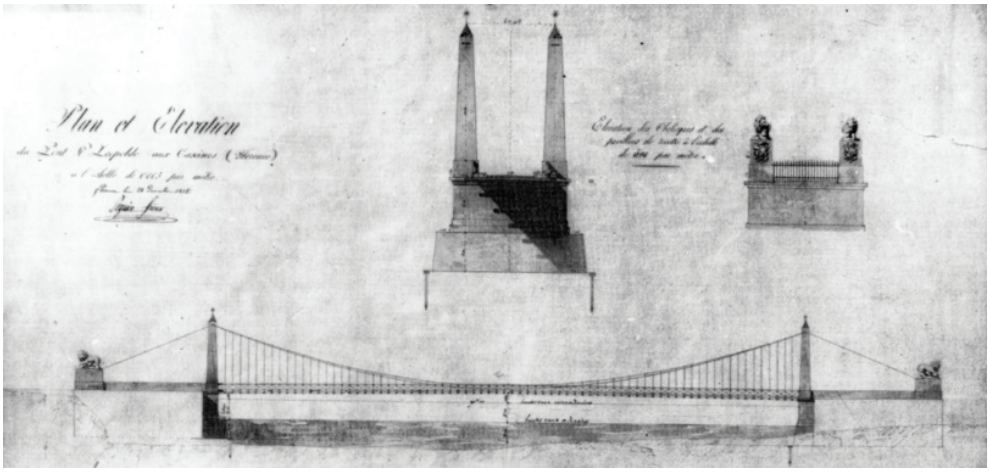


Fig. 2 - Prospetto e particolari delle opere in muratura di Ponte San Leopoldo (Segreteria di Finanze, Archivio di Stato di Firenze, su concessione del Ministero della Cultura).

Fig. 3 - Ponte San Leopoldo, in alto, e ponte San Ferdinando, in basso, realizzati a Firenze dai Fratelli Seguin e inaugurati nel 1837 (Cartolina d'epoca, 1925 circa; Archivi Alinari – FAF Toscana).

egizi, sono realizzate in pietra da taglio e presentano, nelle cavità collocate in prossimità delle cuspidi piramidali, selle in ghisa, di forma quadrata di 1,10 m di lato, su cui poggiano i cavi di sospensione. Questi sono costituiti da 4 coppie di gomene, ognuna con una circonferenza di 73 mm costituita da 320 fili di ferro, ciascuno con un diametro di 3,42 mm. I fasci di filo piegano in corrispondenza delle selle in ghisa poste all'interno dei blocchi murari emergenti dalle spalle e proseguendo terminano nei contrappesi utili alla loro messa in tensione. Sulle coppie di gomene sono inseriti in modo alternato i dispositivi di collegamento in ghisa dei tiranti, fasci di 50 fili di ferro, ciascuno del diametro di 2,7 mm. Ogni tirante sostiene una estremità delle 74 travi dell'impalcato, definite in sezione da una coppia di profili a doppio T in ferro alti 16 cm con interposto un travetto di quercia a sezione quadrata, resi tra loro solidali mediante bulloni (Tognetti, 1910). L'impalcato, lungo 90 m e largo 5,75 m, è completato all'intradosso da coppie di travi, anch'esse configurate a doppio T, disposte in senso longitudinale, utili a mantenere costante la distanza tra le travi trasversali e ridurre le oscillazioni. All'estradosso una trave in ferro separa il margine della carreggiata, realizzata con un doppio ordito di tavoloni di quercia e di pino, dal piano rialzato del marciapiede anch'esso ligneo cui è poggiato il parapetto laterale.

I ponti sono ufficialmente inaugurati alla fine del 1837, ma soltanto sei anni dopo un'alluvione di portata eccezionale mette in evidenza la fondatezza delle critiche maturate nella fase di discussione del progetto: nel novembre del 1844 l'Arno esonda e il Ponte San Ferdinando crolla danneggiando anche lo storico Ponte delle Grazie situato più a valle.

Il ponte San Ferdinando viene ricostruito a spese degli azionisti della Società Anonima all'inizio degli anni Cinquanta dell'Ottocento e i lavori sono affidati a Felice Francolini, ingegnere-architetto della Direzione Generale dei Lavori di Acque e Strade e delle Fabbriche Civili dello Stato che, nonostante l'evidente inadeguatezza delle caratteristiche geometrico-dimensionali, non apporta modifiche al progetto dei Seguin. Nel 1890 lo stesso ponte è sostituito con un altro attraversamento a struttura metallica a opera dell'Impresa Italiana Industriale di Costruzioni Metalliche diretta da Alfredo Cottrau.

Il Ponte delle Cascine esce indenne dall'alluvione del 1844, probabilmente per la sua diversa ubicazione, ma sin da subito manifesta problemi di usura dell'impalcato dovuti alle eccessive oscillazioni conseguenti al passaggio di veicoli e pedoni. Per questa ragione nel luglio del 1851 vengono emanate norme per regolarne il transito comunque sconsigliato alle truppe militari (Archivio Storico Comunale di Firenze. 1881-1883). Caduto in disuso, il ponte viene definitivamente sostituito negli anni '30 dal Ponte alla Vittoria, realizzato con una struttura in calcestruzzo armato.

L'occasione mancata: il Piemonte e il progetto per il ponte a Casale Monferrato

Il contesto scientifico e produttivo francese esercita anche sui quadri tecnici e professionali del Regno di Sardegna uno «straniero incanto» (Re, 2020), a sancire l'indi-

scutibile influenza della *Grande Nation* sui territori a essa più limitrofi. Emblematico a tal riguardo è il fatto che Piemonte e Liguria non vengano inclusi nei nuovi confini del Regno d'Italia istituito nel 1805, ma annessi direttamente all'Impero napoleonico.

Neppure le voci che, dopo il Congresso di Vienna, si levano a Torino contro l'eredità giacobina paiono scalfire l'interesse e l'ammirazione per il progresso scientifico e tecnologico di matrice francese, apprezzato anche da gran parte delle istituzioni governative piemontesi. Questo fa sì che la sperimentazione sui ponti sospesi a fili di ferro nel regno sabaudo trovi occasioni di progetto già a pochi anni di distanza dalle prime esperienze portate avanti, in Francia e Svizzera, dai fratelli Seguin e dal Generale ginevrino Guillaume Henri Dufour, altro noto studioso di ponti sospesi e autore di numerose realizzazioni, tra cui la celebre passerella Saint Antoine a Ginevra (Dufour, 1824). Le prime esperienze che maturano nello stato piemontese vedono il coinvolgimento diretto sia del Generale svizzero, autore di un progetto per un ponte a La Caille, in Savoia, nonché di quello per un nuovo attraversamento a Torino, nei pressi del castello del Valentino, sia di Marc Seguin cui si deve la proposta per un ponte sul Po a Casale Monferrato. Questi progetti non si sostanziano nella realizzazione ed è necessario attendere circa tre lustri, alle soglie degli anni Quaranta, perché si proceda alla costruzione dei tre ponti, di cui saranno però incaricati altri professionisti, provenienti dal contesto produttivo lionese.

La mancata realizzazione delle iniziali proposte, risalenti alla seconda metà degli anni Venti e ai primi anni Trenta, non può però sminuire il ruolo giocato all'interno di queste vicende da Dufour e Seguin e l'indiscutibile quanto prezioso apporto tecnico–scientifico che essi forniscono anche al consesso professionale piemontese.

Nel progetto del 1830 per l'attraversamento sul Po a Casale, Seguin riprende una sua precedente sperimentazione, svolta per la realizzazione del ponte a Tournon, risalente al 1828. La costruzione della nuova infrastruttura nel comune alessandrino risponde alla scelta di sostituire un ponte di barche presente fin dal XV secolo, che garantiva la comunicazione tra il capoluogo di provincia e Vercelli (s.a., 1862). Nel progetto sollecitato e approvato da Carlo Bernardo Mosca, segretario del Consiglio Superiore di Ponti e Strade, il ponte a due campate prevede un sistema di sospensione con quattro gomene di fasci di fili di ferro e tre piloni, di cui uno collocato al centro dell'alveo fluviale, dalla configurazione massiccia alla stregua di fornici monumentali. Le soluzioni tecnologiche proposte per tiranti e impalcato in legno sono analoghe a quelle introdotte nelle coeve realizzazioni dell'ingegnere francese. Interessi locali, favorevoli al mantenimento del ponte provvisorio e della relativa riscossione dei pedaggi, non consentono di avviarne la costruzione.

Il progetto viene così accantonato ma non dimenticato, prova ne è la sua successiva riscoperta, a meno di due lustri di distanza, quando maturano finalmente le condizioni per la costruzione del collegamento. Nel luglio del 1838 viene infatti stipulato un contratto per la realizzazione del ponte. I lavori vengono affidati alla società del

lionese Louis Bonnardet, cui si deve la costruzione anche del ponte a La Caille e di quello al Valentino. L'opera viene finanziata dal socio di Bonnardet, Antoine Blanc, titolare delle concessioni relative al pedaggio per un periodo di 29 anni e 10 mesi. Il progettista, Émile Belin, e il direttore dei lavori, Paul Léon Le Haître, sono gli stessi tecnici incaricati dell'attraversamento in Savoia.

Belin si ispira alla proposta di Seguin per lo schema a due campate con pila centrale in alveo, sebbene tale soluzione rappresenti una novità per la società di Bonnardet che fino ad allora aveva più che altro realizzato ponti a campata unica (s.a., 1840). Belin reinterpreta il progetto del suo illustre predecessore adattandolo alle dimensioni e alle condizioni di contesto: le campate sono portate a 95 m di luce, 5 m in più rispetto all'esempio francese, e la pila centrale in alveo viene spostata verso la riva sinistra del Po alterando la simmetria del ponte rispetto all'alveo fluviale per consentire lo sfruttamento di una "antica prismata" che avrebbe consentito di evitare i lavori di fondazione per l'ancoraggio della spalla destra orientata in direzione del centro urbano (Morandiére, 1888). La pila centrale in alveo, configurata alla stregua di un fornice monumentale dal linguaggio neoclassico, viene impiegata infatti, non solo come sella per i cavi di sospensione, ma anche per il loro ancoraggio, consentendo l'alloggiamento dei fasci di fili di ferro in «scanalature appositamente realizzate» (Morandiére, 1888, p. 1491) tra la muratura e il rivestimento in pietra da taglio. I quattro fasci di sospensione posti su ciascun lato hanno una sezione complessiva di circa 6 cm di diametro; la pila offre anche un appoggio alle estremità dell'impalcato che è posto a 10 m di altezza dal livello di magra del fiume, nella previsione che tale altezza possa essere tenuta almeno a 5,5 m dal pelo dell'acqua in caso di massima piena, in Figura 4.

Nel marzo del 1839 hanno avvio i lavori ma nell'ottobre dello stesso anno la costruzione è messa in crisi da un evento eccezionale, un'improvvisa piena del Po, responsabile del cedimento della spalla sinistra, del danneggiamento della prismata sulla riva opposta e della pila centrale, nonché della caduta in acqua delle gomene che erano state da poco ancorate. Si apre così un contenzioso tra l'Intendenza Generale del Regno e la società di Bonnardet che verte, in particolare, sulla corretta realizzazione dei lavori di fondazione. Dopo una convenzione stipulata tra le parti e la decisione di migliorare la stabilità dei sistemi fondali con l'inserimento di «*forts boulons en fer*» (Morandiére, 1888, p. 1491), i lavori riprendono nel gennaio del 1840 e si concludono nell'agosto dello stesso anno (Nota, 1839).

Malgrado le vicissitudini che accompagnano il cantiere, la configurazione a due campate e le soluzioni tecnico-costruttive impiegate in questo attraversamento vengono comunque apprezzate, come testimoniato dalla scelta di Morandière di includere questo ponte nel suo Trattato quale unico esempio di ponte sospeso realizzato in Italia, in quanto La Caille viene annoverato tra gli interventi francesi (Morandière, 1888), e dalla circostanza che esso costituisce un chiaro modello di riferimento per

Fig. 4 - Progetto del ponte sospeso a Casale Monferrato redatto nel 1830 da Marc Seguin, in alto, e l'infrastruttura realizzata dalla società di Louis Bonnardet nel 1840, in basso (coll. Dis. Figura 5. vari I.127 – già O.VII.106 – su concessione del ©MiC – Musei Reali, Biblioteca Reale di Torino, Fotografia 6B64, Fondo Fotografico Francesco Negri, Biblioteca Civica Giovanni Canna, Casale Monferrato).

il progetto e la costruzione del ponte sul fiume Tanaro, ad Asti, di cui si occupano tecnici del Regno di Sardegna, guidati dell'ingegnere Pietro Bosso.

Conclusioni

Nel contesto storico e culturale dell'Italia pre-unitaria e nell'ambito tecnico ristretto rispetto a quello più generale dei ponti a struttura metallica, la figura di Seguin assurge a plastica dimostrazione di due aspetti significativi dell'evoluzione scientifica e tecnica connessa a quella «Rivoluzione Siderurgica» (Sutherland, 1977, p. 13) che, consentendo la produzione su larga scala del materiale ferroso, segna l'avvio della sperimentazione nell'ambito privilegiato delle opere di ingegneria.

L'imprenditore francese è l'emblema della *koinè* scientifica e culturale d'oltralpe avviata sotto l'occupazione napoleonica e proseguita negli anni della Restaurazione, che si esercita per via diretta attraverso l'importazione del suo modello di ponte sospeso a fili di ferro e per via indiretta attraverso la conoscenza e i contatti con il contesto tecnologico e produttivo transalpino da parte di molti tecnici italiani.

Seguin rappresenta al contempo una diversa e demiurgica figura di *pontifex* che non solo «capitalizza quanto di nuovo ha reso possibile la traduzione pratica del pensiero scientifico» (Dassori, 2020, p. 12) ma che assume un nuovo status «sempre meno artista al servizio di un principe» e sempre più «responsabile di un forma di

progresso più collettiva» (Picon, 2006, p. 9) promuovendo, a livello sovranazionale, lo scambio e la sperimentazione delle conoscenze acquisite e stabilendo nuove relazioni con il mondo dell'industria, della proprietà fondiaria e della finanza.

Ringraziamenti
La nostra riconoscenza va alla Biblioteca Municipale di Lione e all'Archivio fotografico della Regione Rodano-Alpi (Bibliothèque municipale de Lyon. Photographes en Rhône-Alpes), all'Archivio Storico Comunale e all'Archivio di Stato di Firenze, agli Archivi Alinari, all'Archivio di Stato e alla Biblioteca Reale di Torino, alla Biblioteca Civica Giovanni Canna e al Comune di Casale Monferrato.

Fonti archivistiche
Archivio Storico Comunale di Firenze. 1881-1883. Ponti sospesi sull'Arno. Affari relativi. 1881-1883.

Bibliografia
Cavicchioli S. Sereno P. (a cura di) 2009. *Torino reti e trasporti: strade, veicoli e uomini dall'Antico regime all'Età contemporanea*. Torino: Archivio Storico di Torino.
Chevalier P. 1828. *Di alcuni principali edificj e situazioni delle Provincie Venete. Cenni descrittivi e prospettici schizzi*. Padova: Fratelli Gamba Editori.
Cordier J. 1820. *Histoire de la navigation intérieure et particulièrement de celle des États-Units d'Amérique*, 2. Parigi: Imprimerie Firmin Didot.
Dassori E., Vite C. 2020. *1870-1914 Società, architetti e ingegneri*. Genova: Genova University press.
Dufour G. H. 1824. *Description du pont suspendu en fil de fer, construit a Geneve*. Ginevra: J.J. Paschoud imprimeur-libraire.
Dürrenmatt G. 1987. *Le Rhône autrefois*. Apremont: Curandera.
Coltellini M. (a cura di). 1763. *Il gazzettiere americano, contenente un distinto ragguaglio di tutte le parti del Nuovo Mondo*. Livorno: per Marco Coltellini all'insegna della Verità.
Lensi Orlandi G. C. 1987. *Ferro e architettura a Firenze*. Firenze: Vallecchi.
Messina C. Paolini L. Sestini V. 1979. Origini delle tecniche costruttive dei ponti sospesi. Costruzioni Metalliche, 5, 242-250.
Morandiére R. 1888. *Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en metal pour routes, canaux et chemins de fer.* Parigi: Dunod.
Navier C. L. 1823. *Rapport a monsieur Becquey, conseiller d'état, directeur général des ponts et chaussées et des mines; et mémoire sur les ponts suspendus*. Parigi: Imprimerie Royale.
Nota A. 1839. *Discorso detto dal Barone Intendente generale Alberto Nota a di 7 marzo 1839*. Casale: Tipografia Er. Maffei e Gio. Scrivano.
Parisi R. 2001. Come «macchine per circolare». L'Architettura dei ponti nell'Italia napoleonica (1796-1815). Rivista Italiana di Studi napoleonici, 1-2, 331-360.
Picon A. 2006. *Tra utopia e ruggine. Paesaggi dell'ingegneria dal Settecento a oggi.* Torino: Umberto Allemandi & C.
Re L. 2020. Lo "straniero incanto". I ponti pensili dei parchi piemontesi. Studi Piemontesi, 49, 5-20.

Salençon J. 1987. Marc Seguin 1786-1875, inventeur et constructeur. La Vie des Sciences 4, 141-155.
Seguin M. 1824. *Des ponts en fil de fer*. Parigi: Bachelier librairie - Imprimerie de Crapelet.
Seguin M. 1826. *Des ponts en fil de fer*. Parigi: Bachelier librairie - Imprimerie de Crapelet.
Seguin M. 1835. Manifesto per una società diretta alla fabbricazione di due ponti di ferro sull'Arno nei contorni di Firenze, 14 ottobre 1835, Archivio Storico Comunale di Firenze.
s.a. 1840. Ponte sospeso sul Po a Casalmonferrato. Biblioteca Italiana ossia Giornale di Letteratura, 100, T. C, 427-431.
s.a. 1862. *Collezione officiale delle sentenze della Corte di Cassazione del Regno*. Società Tipografica della Gazzetta dei Tribunali, XIV, seconda serie. Genova.
Sutherland J.R.M. (a cura di). 1977. *Structural Iron 1750-1850. Studies in the History of Civil Engineering.* Adelshot: Ashgate.
Tognetti V. 1910. Relazione dell'Ingegnere Capo al Sindaco di Firenze sui ponti alle Cascine e San Ferdinando a San Niccolò, 19 Aprile 1910, Archivio Storico Comunale di Firenze.
Venturi L. 1870. *Della vita e delle opere dell'arch. Pasquale Poccianti*. Firenze: Le Monnier.
Wiebeking K. F. 1834. *Memoria sui ponti sospesi a catene di ferro – Prima versione italiana di Basilio Soresina*. Mantova: Giosafatte e F.lli Negretti.

Danilo Di Donato, Matteo Abita,
Renato Morganti, Alessandra Tosone

Acciaio e fabbrica nel Mezzogiorno d'Italia. Architetture industriali del Secondo Novecento

Steel and factories. Industrial architecture of the second half of the twentieth century

The building exists
but the architecture has gone

Sommario
La questione meridionale ha rappresentato, sin dall'unità d'Italia, un nodo irrisolto, cui diversi governi hanno cercato di porre rimedio attraverso numerosi programmi, tra i quali spiccano, per consistenza e continuità negli investimenti, quelli intrapresi dalla Cassa del Mezzogiorno, CasMez, istituita nel 1950 e soppressa soltanto nel 1984. A essa si deve la diffusione di nuovi stabilimenti che si accompagna alla lenta rivoluzione del sistema produttivo meridionale. All'interno dei programmi edilizi che ne conseguono l'episodico ricorso alla costruzione in acciaio è tratto distintivo di alcune significative sperimentazioni, quali, per esempio, la fabbrica Angus a Casavatore, di Pica Ciamarra, il deposito Brionvega ad Arzano, di Albini e Helg e il centro logistico regionale a Gioia del Colle, di Sargiani.

Abstract
The "questione meridionale" has been a crucial yet unsolved problem for the entire nation since the proclamation of the Kingdom of Italy in 1861. Several governments have attempted to find a workable solution through the support of specific institutions in order to advance industrialization. The "Cassa del Mezzogiorno" (Funds for the South) was one such organization that emerged among the initiatives to resolve this problem. It was established in 1950 and was only dissolved in 1984. It promoted the spread of new factories. Although steel was an alternative option met some significant challenges - for example, the Officine Angus in Casavatore, by Pica Ciamarra, the Brionvega warehouse in Arzano by Albini and Helg, the Distribution Centre in Gioia del Colle by Sargiani.

Introduzione
Verità o leggenda, la constatazione riportata in esergo e attribuita ad Alvar Aalto può essere traslata *tout court*, quale stigmate condivisa, al triste destino che si è abbattuto

su tante delle architetture industriali del Meridione Italiano (The Finnish Committee for the Restoration of Viipuri Library, 2009, p. 36). Destino segnato non solo da improvvisi e inattesi cambiamenti del contesto tecnico e produttivo, ma anche dal mancato riconoscimento dell'effettivo valore architettonico di alcune di queste esperienze, realizzate nella seconda metà del Novecento sulla spinta del più ambizioso programma di industrializzazione attivato nella penisola, quello finanziato dalla Cassa per il Mezzogiorno-CasMez. Plastica dimostrazione delle conseguenze di questa triste sorte è rappresentata dagli edifici in completo abbandono, quando non definitivamente persi perché incautamente demoliti, e da quelli oggetto di pesanti e radicali trasformazioni che ne hanno stravolto l'aspetto originale.

Quel che resta è, pertanto, un patrimonio mutilo, perché privato sia dei suoi caratteri di integrità che della sua condizione originaria. Tale situazione non è peraltro esclusiva delle sole vicende meridionali, poiché sorte analoga ha riguardato anche alcune fabbriche dell'Italia settentrionale, ma le dinamiche assunte dall'industrialismo nel sud del Belpaese hanno, in una certa misura, favorito il processo di abbandono di questo patrimonio industriale. Più in particolare si può riscontrare come l'iniziale fervore del colonialismo imprenditoriale, sia nazionale che estero, allettato dall'ampia disponibilità di finanziamenti per la realizzazione di nuovi impianti industriali, non si sia accompagnato, spesso, a un profondo radicamento ai nuovi contesti produttivi del Meridione, ragion per cui le fluttuazioni nella produzione e le cicliche contrazioni del mercato hanno sancito, di frequente, la conclusione delle iniziative imprenditoriali intraprese sotto il vessillo della CasMez.

Ne è seguita una riconversione problematica, quasi sempre pilotata dallo Stato, che non di rado ha provocato inevitabili ripercussioni anche sul patrimonio industriale, vittima inerme, alla stregua della compagine dei lavoratori, di scelte calate dall'alto e spesso inadeguate perché incapaci di garantire i necessari livelli di tutela, del lavoro come degli spazi per la produzione. Gli esiti di queste dinamiche ancora in atto sono testimoniati dalle vicende occorse ad alcune tra le fabbriche più note realizzate negli anni Sessanta e Settanta in alcune aree del Sud, quali la Siag di Marcianise, di Angelo Mangiarotti, o i Magazzini Brionvega ad Arzano, di Franco Albini e Franca Helg, la prima in completo stato di abbandono, come mostrato in Figura 1, i secondi oggetto di trasformazioni incongrue che ne hanno alterato profondamente l'immagine originale, si veda la Figura 2 (Castanò, 2012). Riscoprire l'interesse che si cela dietro alcuni di questi luoghi della produzione e, più in particolare, di quelli a struttura metallica, è l'obiettivo di questo contributo, al fine di far conoscere e promuovere la valorizzazione di vicende architettoniche non sempre note o talora dimenticate.

La Cassa per il Mezzogiorno e le architetture industriali

Il processo di industrializzazione del Meridione assume tratti più marcati alla fine degli anni '50, toccando il suo apice nel decennio successivo, gli anni della «*Golden*

Fig. 1 - Stabilimento Siag, Marcianise (CE), 1962; il complesso da ottobre del 2022 è in stato di abbandono e ricoperto dalla vegetazione (© 2023 Google).

Fig. 2 - Magazzino e uffici Brionvega, Arzano (NA), 1968–1971; la foto, risalente al giugno 2022, mostra un edificio che poco o nulla conserva dell'impianto originario (© 2023 Google).

Age» italiana (Crafts e Magnani, 2011). Propedeutica a tal riguardo è la fondazione a Roma, il 2 dicembre 1946, della SVIMEZ, l'Associazione per lo Sviluppo dell'Industria nel Mezzogiorno. Come dichiarato nell'art. 2 del suo stesso statuto, il principale obiettivo del centro studi è la promozione di «concreti programmi di azione e di opere intesi a creare e a sviluppare nelle Regioni meridionali e nelle grandi Isole quelle attività industriali, le quali meglio rispondano alle esigenze accertate».

Agli stessi fondatori della SVIMEZ si deve l'ideazione della Cassa per il Mezzogiorno, istituita dalla legge n. 646 del 1950 e sorta a seguito dell'adesione dell'Italia all'International Bank for Reconstruction and Development BIRS, prevista dagli accordi di Bretton Woods del luglio 1944, che eroga notevoli finanziamenti, utiliz-

zati anche per le politiche a sostegno del Meridione italiano (Alacevich, 2013). Il principale obiettivo perseguito dalla CasMez è il progresso economico e sociale del Centro-Sud Italia. A tal fine l'ente finanzia la costruzione di un sistema infrastrutturale quale *incipit* per il futuro sviluppo industriale. La legge del 1950 non prevede infatti incentivi all'industria se non quelli per la costruzione di impianti atti alla trasformazione dei prodotti agricoli; è la legge n. 166 del marzo 1952 ad assegnare alla Cassa il compito di supportare iniziative di carattere specificatamente industriale. Lo stesso ente si occupa anche di risorse umane e di formazione con la creazione di scuole professionali e di specializzazione. Le aree interessate dagli interventi promossi dall'ente sono le regioni del Sud, l'Abruzzo, il Molise nonché alcune aree di Lazio e Marche.

L'attività della Cassa si articola in diverse fasi: alle prime, pre-industrialismo (1950-1957), industrializzazione (1957-1965) e inserimento della politica regionale (1965-1973), è possibile far corrispondere un contributo effettivo al miglioramento del Sud Italia con un diretto contributo alla realizzazione del "miracolo italiano" (Felice e Lepore, 2014), mentre le ultime due, avvio di progetti speciali (1971-1980) e proroghe di durata fino all'operatività della nuova AgenSud (1980-1993), coincidono con un progressivo decadimento delle attività della Cassa, più spesso chiamata a rispondere a ragioni di natura politica e clientelare.

Acciaio e fabbriche del Meridione

Le iniziative della CasMez non riescono a favorire la formazione di un substrato imprenditoriale più capillare, in grado di offrire un numero consistente di occasioni progettuali (Castronovo, 1993). Non si forma quasi mai quella classe di piccole e medie imprese che nel nord del paese garantisce ad architetti e ingegneri innumerevoli opportunità di confrontarsi con il tema degli spazi per la produzione.

In realtà ciò non è del tutto vero, ma queste opportunità assumono più spesso un carattere sporadico che ne ostacola la messa a sistema. All'interno di un quadro così frammentato trovano spazio alcuni interventi particolarmente noti, quali per esempio l'impianto Pozzi Ginori a Sparanise di Luigi Figini e Gino Pollini, quello della Olivetti a Marcianise di Eduardo Vittoria e Marco Zanuso, la fabbrica di Ceramica Solimene a Vietri sul mare di Paolo Soleri e il complesso Montecatini a Brindisi di Ezio Sgrelli, oltre alla già citata SIAG di Marcianise. Queste opere, in continuità con molte delle vicende costruttive che interessano il Meridione, prevedono in forma pressoché esclusiva, il ricorso alla tecnologia del calcestruzzo armato o del precompresso (Castanò, 2005).

Un duplice carattere di eccezione, rappresentato dalla condizione di appartenenza al complesso delle fabbriche meridionali e dal sistema costruttivo impiegato, attiene agli spazi per la produzione con struttura in acciaio. Se questa tecnologia è marginale nello scenario tecnico-costruttivo del settentrione, lo è tanto più nel Mezzogiorno,

dove è da sempre relegata a sperimentazioni episodiche. Particolarmente interessanti appaiono allora per la storia delle tecniche quegli interventi che ricorrono alla costruzione metallica per strutturare i nuovi spazi per l'industria, assurti a luogo privilegiato per introdurre e sperimentare significative innovazioni, sia in temini di componenti per l'edilizia che di procedimenti costruttivi. Questi esiti dimostrano come una via alternativa, funzionale a un radicale ripensamento delle prassi del cantiere tradizionale, sia percorribile anche nel Sud Italia e non costituisca una prerogativa esclusiva del Nord della penisola. Tra le esperienze meridionali accomunate dal comune denominatore dell'impiego delle strutture in acciaio è possibile annoverare alcuni grandi complessi, come per esempio il IV polo siderurgico dell'Italsider a Taranto, realizzato dalla CMF - Costruzioni Metalliche Finsider (Petronio, 1967, pp. 103-132), e l'Alfasud di Pomigliano d'Arco, su progetto di Rudolf Hruska (Parisi, 2011). In questi interventi vengono esplorate le potenzialità della costruzione a secco in termini di flessibilità del sistema strutturale per la copertura di grandi luci e il contenimento dei tempi di costruzione.

Ai grandi complessi si affiancano interventi di dimensioni più contenute, come nel caso delle industrie progettate da Eduardo Vittoria, che partecipa alla costruzione di numerose fabbriche nel Meridione, tra le quali lo stabilimento Covit a Grumo Nevano e i laboratori farmaceutici Farminter e Esterfarm a Pomezia (Vittoria, s.d.). Le linee di ricerca che l'architetto partenopeo indaga si possono ritrovare, pur se in forma sporadica e talora episodica, anche in alcuni contributi che portano alla realizzazione di edifici significativi: le officine Angus a Casavatore, in provincia di Napoli, su progetto di Massimo Pica Ciamarra, il deposito della Brionvega di Albini e Helg, il centro logistico della ditta Sivam a Gioia del Colle, di Franco Sargiani, cui si deve anche la realizzazione di un altro complesso a struttura metallica, un centro produttivo a Battipaglia, commissionato sempre dalla Sivam. In questi interventi si concentra maggiormente quella sperimentazione architettonica volta alla definizione di una via meridionale al tema della fabbrica, in grado di superare lo stereotipo delle «officine nere e senza spazio» del Nord (Ottieri, 1959).

Officine Angus a Casavatore, Napoli

Nel 1960 un'azienda anglo-svizzera, la Angus, decide di ampliare il proprio stabilimento di Casavatore, nell'hinterland napoletano, e ne affida l'incarico a Massimo Pica Ciamarra. Al progetto collaborano anche gli ingegneri Luciano Boscotrecase ed Ettore Minervini che curano gli aspetti strutturali, nonché Nello Polese e Francesco Reale che si occupano dei sistemi impiantistici (L'architettura. Cronache e storia, 1972; L'Architecture d'Aujourd'hui, 1972; Architetture Pisane, 2014, pp. 56-57). La ricerca figurativa che l'architetto attua e che trova spazio in più interventi, si declina in «una forma che abbia, in ogni momento una sua compiutezza ma che denunci attraverso "maglie di attesa", la disponibilità alla crescita e alla continua trasfor-

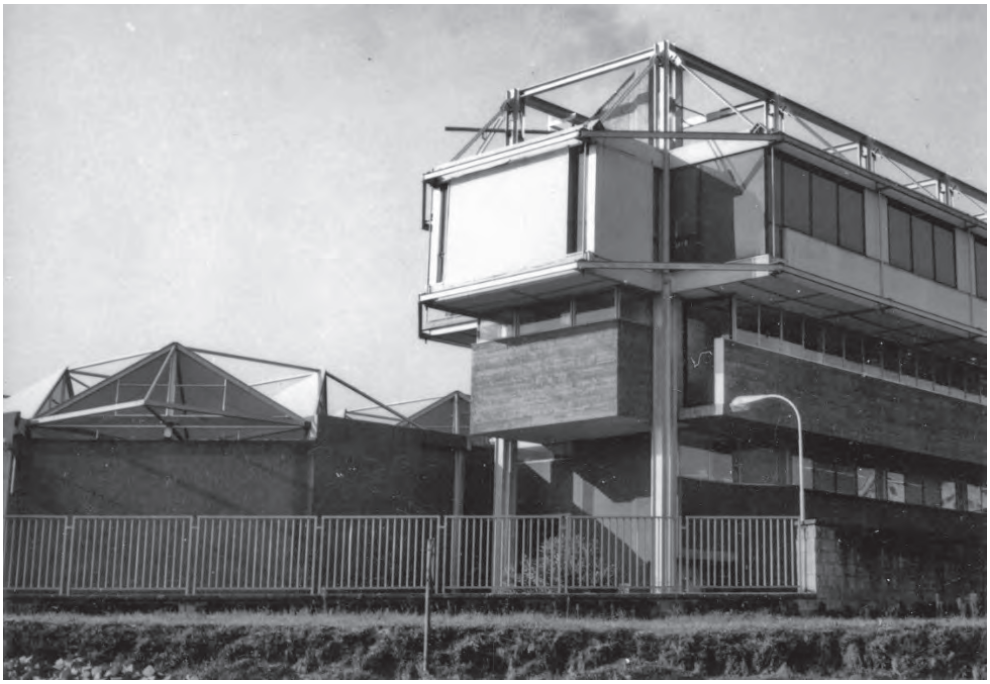


Fig. 3 - Officine Angus a Casavatore (NA), arch. M. Pica Ciamarra Associati, 1961–1968 (Pica Ciamarra Associati).

mazione», nell'ottica di assecondare al meglio «i caratteri evolutivi della struttura organizzativa» (Scaglione, 1985).

Il primo intervento viene ultimato nel 1961; al suo interno si trovano già i *tòpoi* progettuali che incontreranno una più matura definizione nei successivi ampliamenti, realizzati nel 1964 e nel 1968. Funzionale alle maglie di attesa è il disegno di due componenti: la colonna e lo scheletro d'acciaio del modulo di copertura, in Figura 3, dal cui assemblaggio e reiterazione scaturisce la logica di accrescimento modulare che governa il meccanismo di sviluppo dell'edificio (Mangone, 1996).

Nell'intervento del 1961 il pilastro viene realizzato in calcestruzzo armato, ma nel successivo ampliamento del 1964 è in acciaio e a sezione cava, per consentire l'integrazione con gli impianti; questa colonna, di impronta quadrata, è composta da quattro profilati a L, inseriti agli spigoli e resi solidali da piatti orizzontali perimetrali, posti a intervalli regolari lungo lo sviluppo del ritto, come mostrato in Figura 4. Ogni colonna presenta in testa una piastra forata per il passaggio degli impianti, su cui poggiano le strutture dei moduli di copertura: reticolari spaziali a sviluppo tronco-piramidale con base quadrata di 10 m di lato, composte da profilati aperti e tubi con aste orientate sulle giaciture parallele ai lati e alle diagonali. Lo scheletro

Fig. 4 - Vista degli spazi interni delle officine Angus (Pica Ciamarra Associati).

resistente così individuato sostiene le parti piane dell'impalcato e i quattro lucernari piramidali, a base triangolare, la cui geometria è generata da due maglie incrociate: quella parallela ai lati del modulo di copertura e quella individuata dalle sue diagonali. I lucernari sono a due a due orientati sui fronti nord-ovest e nord-est e disposti in configurazione chiastica, la stessa che verrà riproposta anche nell'ampliamento del 1964 pur se con un diverso disegno della struttura. Le parti opache in copertura sono costituite da lastre in eternit, isolate con «schiume di poliuretano realizzate in opera» (Scaglione, 1985). La configurazione così scelta per questo impalcato lascia esposte alcune aste della reticolare spaziale. L'involucro verticale è realizzato in pareti di laterizio a vista. Il terzo e ultimo ampliamento consiste alla costruzione del corpo uffici, anch'esso a struttura d'acciaio.

Magazzino e uffici Brionvega ad Arzano, Napoli

Ad Arzano, a pochi chilometri dallo stabilimento Angus, viene realizzato, a partire dal 1968, il complesso che accoglie gli uffici e il deposito della Brionvega, non un vero e proprio spazio per la produzione ma una di quelle strutture destinate alla logi-

Fig. 5 - Il Magazzino Brionvega di Arzano; il corpo basso destinato agli uffici e alla zona espositiva e, arretrato, il volume più alto per il deposito (Fondazione Franco Albini).

stica necessarie al sistema industriale per lo stoccaggio delle merci e la loro distribuzione alle reti di vendita locali (Domus, 1971; Ottagono, 1971).

Il magazzino napoletano, in Figura 5, viene ultimato nel biennio 1971-72; accoglie al suo interno la zona espositiva, gli uffici, la sala riunioni e il magazzino ricambi, posti in prossimità alla strada; in posizione più arretrata si trovano il deposito, l'ambiente più vasto nonché il più alto, il laboratorio, la zona per lo scarico degli automezzi e la casa del custode (Castanò, 2011). Il sistema modulare che presiede all'organizzazione degli spazi e definisce anche il passo strutturale, pari a 7,2 m, è basato sulla maglia generata dal modulo base di 1,2 m. I telai impostano sul basamento in calcestruzzo armato e sono costituiti da colonne HE e travi IPE, più alte per l'ordito principale, tessuto lungo la direzione est-ovest, più basse per quello secondario, sovrapposto e trasversale al primo. I telai sono celati negli spazi espositivi e negli uffici per mezzo di rivestimenti e controsoffitti, mentre sono esposti altrove, come nel deposito mostrato in Figura 6.

Unica eccezione alla regolarità strutturale viene introdotta nella zona di scarico degli automezzi, con l'interasse dei montanti a coprire una luce maggiore, pari a 14,4 m, per facilitare la movimentazione di mezzi e merci, con la tessitura delle travi ortogonale alla prevalente e il piano di calpestio che coincide pressoché con il livello stradale e risulta pertanto ribassato rispetto agli altri ambienti, a garantire la continuità in quota tra il magazzino e i vani di carico degli autocarri.

Fig. 6 - Vista del deposito, caratterizzato dalla scansione di spogli telai in acciaio e illuminato dalla luce naturale che filtra dai lucernari (Fondazione Franco Albini).

L'impalcato di copertura è realizzato in lamiera grecata, opportunamente coibentata e impermeabilizzata. La luce naturale filtra negli spazi grazie a tre lunghi lucernari che alterano la continuità delle chiusure orizzontali e caratterizzano il profilo dell'edificio. Il carattere ferrigno del magazzino non si coglie solo al suo interno ma si percepisce chiaramente anche dall'esterno, grazie all'involucro in pannelli goffrati di acciaio porcellanato posti al disopra del basamento in calcestruzzo armato, che vanno a definire campi orizzontali bicromatici, con l'alternanza di fasce bianche e «*bleu*» (Manfredini, 1972), di differente altezza ma modulate con la stessa scansione ritmica. I fronti risultano in prevalenza opachi e le uniche aperture sono poste in corrispondenza della casa del custode e del corpo più basso su strada, schermate da *brise-soleil* in lamelle scatolari girevoli, assemblate con la stessa lamiera utilizzata per il rivestimento.

Centro logistico Sivam a Gioia del Colle, Bari

Quando Sargiani progetta il centro logistico a Gioia del Colle nel 1971 è un architetto poco più che trentenne. Le sue precedenti esperienze professionali, seguite alla laurea in architettura al Politecnico di Milano, si articolano nella collaborazione con Bruno Morassutti e in un lungo tirocinio internazionale svolto nel Nord Europa. Il centro logistico viene commissionato a Sargiani dalla SIVAM, la Società Italiana Veterinaria Agricola Milano, azienda che si occupa della produzione di mangimi e di

Fig. 7 - Centro logistico Sivam, Franco Sargiani, Gioia del Colle (BA), 1971-1972 (foto di Franco Sargiani).

prodotti chimici per l'agricoltura. L'edificio di Gioia del Colle in Figura 7, completato nel 1972, è destinato a ospitare attività di stoccaggio e distribuzione di prodotti per l'agricoltura.

Alla presunta semplicità dell'impianto il progettista fa corrispondere un dettagliato programma di progetto definito sulla base di precise necessità funzionali e tecnologiche. La superficie coperta di circa 2.150 m^2 destinata al deposito e, in minima parte, a uffici deve rispondere al criterio della massima flessibilità distributiva anche in relazione alla possibilità di accesso e movimentazione all'interno di mezzi meccanici molto ingombranti. L'ambiente che accoglie il deposito deve garantire un'adeguata ventilazione interna e una contenuta illuminazione, al fine di permettere la buona conservazione dei prodotti agricoli.

Il progetto, in cui lo spazio interno e quello esterno sono pensati come un *unicum*, trova in una precisa chiave tecnica la possibilità di dare piena attuazione al programma; ne scaturisce una configurazione dell'edifico che è risolta secondo due distinti registri architettonici: gli elementi lineari metallici a sorreggere la grande copertura, il *continuum* murario a caratterizzare l'involucro esterno.

Cinque colonne, formate da profilati saldati tra loro, sono disposte, su ciascuno dei lati corti a intervalli di 11 metri. Su di esse sono disposte travature reticolari binate, alte 2,50 m e composte da profilati a doppio T, a C e L, cui è sospeso l'ordito secondario trasversale, costituito da IPE 240 poste a interasse di 4 m, a definire il piano d'appoggio per il manto di copertura, in pannelli sandwich, come mostrato in Figura 8.

L'involucro pesante, in blocchi di tufo di grosso spessore, armati internamente per poter sopportare la spinta dei materiali accatastati, è disgiunto dal sistema resistente

metallico a sottolineare la sua diversa natura sia figurativa che costruttiva. Il distacco tra involucro e copertura enfatizza la ricercata leggerezza e il forte dinamismo della soluzione costruttiva adottata per quello che appare il componente tecnico a più forte valore iconico del progetto: la grande copertura, un piano leggero e sottile scandito da lunghi lucernari, posti in corrispondenza delle travature reticolari estroflesse.

Fig. 8 - Gli spazi interni, illuminati dalla luce zenitale che filtra attraverso i lucernari lunghi e stretti, giustapposti alle fasce opache di pannelli sandwich (foto di Franco Sargiani).

Conclusioni

All'interno delle iniziative promosse dalla Cassa per il Mezzogiorno matura il sogno di una massiccia, ma non integrale, conversione della matrice agricola e artigiana del Meridione in una moderna realtà industriale. A ciò consegue una radicale trasformazione di territori a prevalente vocazione agricola, che accolgono, fino a esserne colonizzati, i nuovi templi della società industriale, le fabbriche.

In queste vicende la costruzione in acciaio rappresenta, quasi sempre, un'opzione secondaria, la cui condizione di marginalità è da riferire soprattutto a politiche di settore che non interessano in forma esclusiva i contesti locali e gli ambiti operativi di intervento, ma più spesso rispondono a dinamiche e decisioni che investono il più generale sistema Paese. Purtuttavia gli episodi proposti costituiscono per i professionisti coinvolti occasioni di un significativo impegno progettuale e di sperimentazione tecnologica che si sostanziano nella definizione di architetture manifesto che nei piani avrebbero dovuto favorire un deciso avanzamento nelle tecniche di produzione di un settore, quello delle costruzioni, che nell'Italia Meridionale non era al passo con i coevi progressi della tecnica.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano l'architetto Massimo Pica Ciamarra per il materiale iconografico relativo alle Officine Angus e la Fondazione Franco Albini per la concessione delle immagini del magazzino Brionvega di Arzano. A loro va la nostra riconoscenza per la sollecitudine con cui hanno reso disponibili le preziosissime fonti. Altrettanto grati siamo all'architetto Franco Sargiani per la concessione degli apparati iconografici relativi agli edifici Sivam di Battipaglia e Gioia del Colle, per il tempo che ci ha dedicato e per la dovizia di informazioni indispensabili per la ricostruzione degli interventi da lui progettati.

Bibliografia

Alacevich M. 2009. *The world Bank loans to Italy and the history of postwar development policies, Working paper.* New York: Columbia University Press

Architetture Pisane. 2014. *"Officine Angus" Pica Ciamarra Associati.* Architetture Pisane, (numero monografico), 28-29, 56-57.

Castanò F. 2005. *Dalle manifatture all'industria. Le architetture della produzione. Napoli:* Edizioni Scientifiche Italiane.

Castanò F. 2010. Architetture per l'industria: modernità nella continuità. In: *Continuità e Crisi. Ernesto Nathan Rogers e la cultura architettonica italiana del secondo dopoguerra* (a cura di A. Giannetti, L. Molinari), 177-185. Firenze: Alinea Editrice.

Castanò F. 2012. *Fabbriche interrotte. La "Cassa" e l'industria a nord di Napoli nel secondo Novecento.* Patrimonio industriale rivista semestrale AIPAI, VI, 114-119.

Castronovo V. 1993. Lo scenario dell'industrializzazione. In: *Prometeo. Luoghi e spazi del lavoro* (a cura di V. Castronovo e A. Greco), 13-28. Milano-Roma: Electa-Sipi.

Crafts N., Magnani M. 2011. *The Golden Age and the Second Globalization Italy.* Quaderni di Storia Economica - Banca d'Italia, 17, 5-53.

Domus. 1971. Un involucro di acciaio smaltato. Domus, 499, 8-10.

Felice E., Lepore A. 2014. *Intervento pubblico e strategie di convergenza: la spesa della Cassa a livello territoriale.* Quaderni SVIMEZ - Numero speciale, 44, 241-260.

L'architettura. Cronache e storia. 1972. *Ampliamento dello stabilimento Angus di Casavatore*. L'architettura. Cronache e storia, 197, 736-737.

L'Architecture d'Aujourd'hui. 1973. *Officine Angus a Casavatore.* L'Architecture d'Aujourd'hui, 165, 94-95.

Manfredini E. 1972. Agenzia Brionvega ad Arzano (Napoli). Parametro, 11, 68-75.

Mangone F. 1996. *Pica Ciamarra Associati, Materiali per l'Immateriale.* L'Edilizia Popolare, XLIII(248), 33.

Ottagono. 1971. *Agenzia Brionvega Arzano (Napoli).* Ottagono, 6(22), 90-91.

Ottieri O. 1959. *Donnarumma all'assalto*. Milano: Bompiani.

Parisi R. 2011. *Fabbriche d'Italia. L'architettura industriale dall'Unità alla fine del secolo breve*. Milano: Franco Angeli.

Petronio O. 1967. Problemi dell'edilizia industriale. In: *Problemi delle costruzioni acciaio* (a cura di R.O. Amato e C. Bifano), 103-132. Roma: Cremonese.

Scaglione P. 1985. *Pica Ciamarra Associati: architettura per i luoghi.* Roma: Edizioni Kappa.

The Finnish Committee for the Restoration of Viipuri Library. 2009. *Alvar Aalto Library Vyborg: Saving a Modern Masterpiece.* Helsinki: Rakennustieto Oy.

Vittoria E. s.d. *Eduardo Vittoria: esperienze di architettura: raccolta di scritti e opera*. s.l.: s.e.

Matteo Abita, Danilo Di Donato,
Alessandra Tosone, Renato Morganti

Contraddire l'archetipo. Potenzialità dell'acciaio nell'architettura di Julio Lafuente

To deny the archetype. Steel potential in Julio Lafuente's architecture

Sommario
Nella seconda metà del XX secolo sono numerosi gli esempi di edifici caratterizzati da prismi di forma triangolare e piramidi che propongono un ribaltamento del tradizionale rapporto con il suolo mediante la disposizione inversa delle masse. Per questa configurazione, promossa per la risoluzione di alcuni problemi funzionali di carattere climatico o geologico, la costruzione in acciaio risulta fondamentale al fine di garantire un sistema resistente in grado di sostenere con pochi punti di contatto al suolo volumi crescenti nello sviluppo verticale ed elementi a sbalzo di dimensioni rilevanti. Un esempio iconico di questa configurazione architettonica è la sede della Esso costruita a Roma nel 1980. Progettata dall'architetto Julio Lafuente, è stata concepita come una sequenza di tre prismi triangolari capovolti, collegati tra loro attraverso gli ultimi due livelli e contraddistinta da singolari ventagli di tubi in acciaio. L'edificio è uno degli esiti della lunga collaborazione con l'ingegnere Calogero Benedetti, con cui Lafuente ha progettato altri edifici caratterizzati da una forma a piramide rovesciata o dall'impiego di elementi strutturali a ventaglio, sia negli anni di formazione presso lo studio Monaco-Luccichenti, che durante l'esperienza compiuta in Arabia Saudita. Il contributo intende ricostruire l'apporto del progettista italo-spagnolo allo sviluppo del prisma triangolare rovesciato e alla ricerca dei sistemi strutturali utili a supportare questa particolare soluzione volumetrica. Fonti d'archivio, documentazione bibliografica e il confronto con altri edifici in contesti internazionali vengono utilizzati per analizzare lo sviluppo di queste insolite configurazioni.

Abstract
The buildings characterized by triangular shaped prisms and pyramids spread in the second half of the 20th century across several countries proposing a reversal of the traditional relationship with the ground through the inverse arrangement of the masses. For this shape, firstly fostered by functional problems linked to climatic or geological issues, the steel construction was a key player thanks to structural layouts

able to support increasing volumes in the vertical development and huge overhangs. An iconic example of this architectural shape is the Esso headquarters built in Rome in 1980. Designed by the architect Julio Lafuente, it was conceived as a sequence of three inverted triangular prisms, connected to each other through the last two levels and characterized by original fans of steel tubes. The building is one of the results of the long collaboration with the engineer Calogero Benedetti, with whom Lafuente designed other buildings characterized by an inverted pyramid shape or the use of fan-shaped structural elements in the years of training at the Monaco- Luccichenti and in his work in Saudi Arabia. The contribution aims to describe Lafuente's contribution to the development of the inverted triangular prism shape and to the research of the related steel structures able to support this volumetric arrangement. Archival sources, bibliographic documentation and comparison with other buildings of the international context are used to analyze the development of these unusual forms.

Introduzione

«La forma piramidale, così definita, è comunissima nelle costruzioni di tutti i popoli. Questa forma, suggerita dall'istinto non meno che dal raziocinio, posa sopra questo principio evidente di solidità, che il forte, cioè, sostenga il debole […] ma nessun'opera di costruzione qualunque, se è isolata, potrebbe sussistere con una disposizione inversa della forma piramidale, ossia avente per sommità ciò che dovrebbe costituire la sua base. In qualunque modo si potesse giungere a realizzare questi sforzi d'ingegno, l'occhio e la ragione non ne sarebbero meno offesi, perché innanzi tutto, l'uno e l'altro vogliono solidità, e la vogliono non solo reale, ma anche ben apparente.» (Quatremère De Quincy, 1844, p. 257). In queste parole tratte da uno dei dizionari di architettura più noti del XIX secolo, Quatremère De Quincy esprime la sua disapprovazione al potenziale rovesciamento di una forma archetipica, presagendo che l'utilizzo di nuovi espedienti tecnici o concezioni strutturali possa mettere in discussione un modello tradizionalmente dedotto dall'imitazione della natura, così come dalla pratica costruttiva. A distanza di poco più un secolo dalle parole del teorico francese, il ribaltamento dell'immagine di un'architettura costituita dalla riduzione delle masse dall'alto verso il basso ha sedotto infatti numerosi progettisti del Novecento, attratti non solo dalla sua figuratività "rivoluzionaria", ma anche dagli elementi innovativi correlati alla ricerca strutturale e tecnologica a essa associata. In particolare, tre indirizzi hanno favorito la scelta di questa configurazione: la richiesta di rappresentatività della committenza, il soddisfacimento di specifiche prestazioni per finalità bioclimatiche o acustiche e, infine, le ragioni costruttive.

La scelta di questa soluzione "anticlassica", ascrivibile a esigenze di rappresentatività, è evidente nel progetto del Museo di Arte Moderna di Caracas del 1955, per il quale l'architetto Oscar Niemeyer concepisce una piramide rovescia collocata sulla cima di una delle Colinas de Bello Monte, «una forma nuova, compatta e mo-

numentale» (Niemeyer, 1956, p. 41) caratterizzata da fronti prevalentemente opachi e da una copertura traslucida. L'invenzione del maestro brasiliano, considerata un importante antefatto per le sue successive opere di forma convessa, è suffragata da uno studio delle strutture condotto da Gustavo Ferrero Tamayo, che prevede la collaborazione tra calcestruzzo armato e acciaio, quest'ultimo indispensabile per la sospensione di un solaio e per sostenere gli elementi trasparenti del tetto muniti di *brise-soleil* (Barrios, 2007).

Ragioni riconducibili al tema della rappresentatività sono alla base anche di alcuni progetti nordamericani in cui prevale l'impiego della costruzione metallica. Nella prima proposta per il quartier generale della John Deere a Moline nell'Illinois, Eero Saarinen presenta nel 1957 un tronco di piramide rovesciato caratterizzato sui fronti da una trama in acciaio che, inizialmente concepita a maglia ortogonale, assume poi una geometria ad alveare con celle esagonali definite da elementi strutturali «assolutamente simpatetici agli alberi circostanti» (Mozingo, 2011, p. 122). La prima delle due configurazioni studiate dal progettista di origine finlandese troverà applicazione nel padiglione canadese all'Expo di Montréal del 1967, una piramide rovesciata in parte scoperta per definire un invaso utile ad accogliere spettacoli e mostre, mostrata in Figura 1. Il padiglione progettato dal gruppo Robbie, Erickson e Lindsay, è staccato da terra grazie a coppie di puntoni che sostengono le quattro facce laterali, ciascuna caratterizzata da una maglia ortogonale di profilati in acciaio saldati, inizialmente disposti in modo da formare suggestivi ventagli in facciata (Erickson, 1988).

Una motivazione di carattere bioclimatico accomuna invece altre realizzazioni a struttura metallica negli Stati Uniti, tra cui il municipio di Tempe in Arizona e l'edificio del molo della baia di Tampa in Florida dei primi anni Settanta (Robison, 1971). La forma a tronco di piramide rovesciata con pareti inclinate di 45 gradi permette di ridurre il carico termico sulle facciate che rimangono sempre ombreggiate e contribuiscono a ridurre in modo significativo i costi del raffrescamento estivo (Lee, 1977; Sitler, 2015).

Il secondo indirizzo può essere riferito anche al miglioramento di altre prestazioni dell'edificio: nel caso della sede della Radio Slovacca di Bratislava, in Figura 2, progettata alla fine degli anni Sessanta dal gruppo Svetko, Ďurkovič e Kissling, l'impiego di un impianto "a doppia piramide" è utile a favorire l'isolamento acustico nello spazio interno (Moravčíková, 2009). Il tronco di piramide rovesciata, sorretto da otto colonne e caratterizzato da una trama reticolare romboidale, sostiene infatti solo gli spazi dedicati agli uffici, mentre le sale per le trasmissioni radiofoniche sono sostenute da tiranti collegati al nucleo interno in calcestruzzo armato e sono raggiungibili mediante passerelle collocate nell'intercapedine anecoica dell'edificio.

Il terzo indirizzo è legato alle scarse proprietà meccaniche del suolo e alla scelta di concentrare le fondazioni dell'edificio. Uno degli esempi più significativi per l'adozione di questa strategia è l'Hotel du Lac di Tunisi, progettato alla fine degli anni

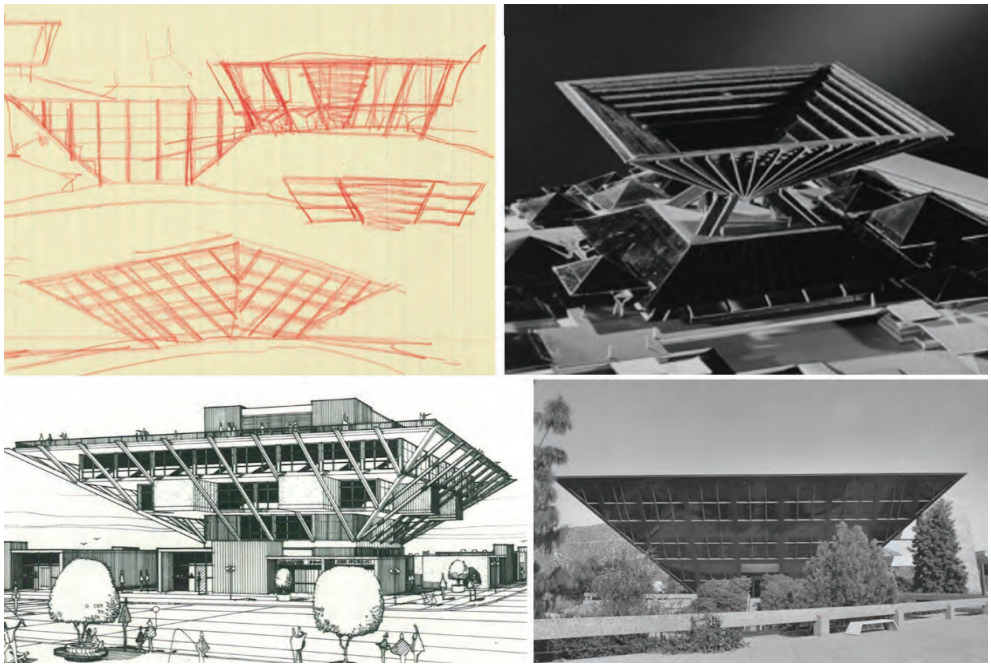


Fig. 1 - In alto: disegni di Eero Saarinen per la sede della Deere & Co., a sinistra (Cranbrook Center for Collection and Research, 1957-63) *e modello di Arthur Erickson per il Padiglione Canadese di Expo 1967, a destra* [1]. *In basso: l'edificio del molo di St. Petersburg, a sinistra* (Harvard Jolly Architecture, 1971) *e il Municipio di Tempe, a destra* (Progressive Architecture, 1971).

Sessanta da Raffaele Contigiani e completato nel 1971 (Contigiani, 2003). L'architetto italiano, autore di numerosi edifici in Nordafrica, aveva già sperimentato la costruzione di piramidi inverse a struttura metallica per il Padiglione Italiano della Fiera di Zagabria del 1957 e decide di applicare una configurazione simile per l'albergo tunisino che sarebbe stato collocato in prossimità della costa. Con la consulenza dello studio di ingegneria austriaco Wiener Brückenbau und Eisenkonstruktions-A.G., viene messa a punto la struttura in acciaio di un prisma triangolare: nell'attacco a terra coppie di puntoni sostengono travi longitudinali ad anima piena cui sono fissate file di colonne a sezione chiusa flangiate; queste ultime sono a loro volta collegate da travi a doppio T e da solai in calcestruzzo armato precompresso che, insieme alla struttura metallica, definiscono un aggetto progressivo alle estremità di ogni piano (Hart *et al*., 1979).

Lo studio di questa configurazione architettonica trova un singolare periodo di sperimentazione tra gli anni Cinquanta e Settanta, nei quali anche l'architetto italo-spagnolo Julio Lafuente concepisce alcune opere legate a questo tema progettuale.

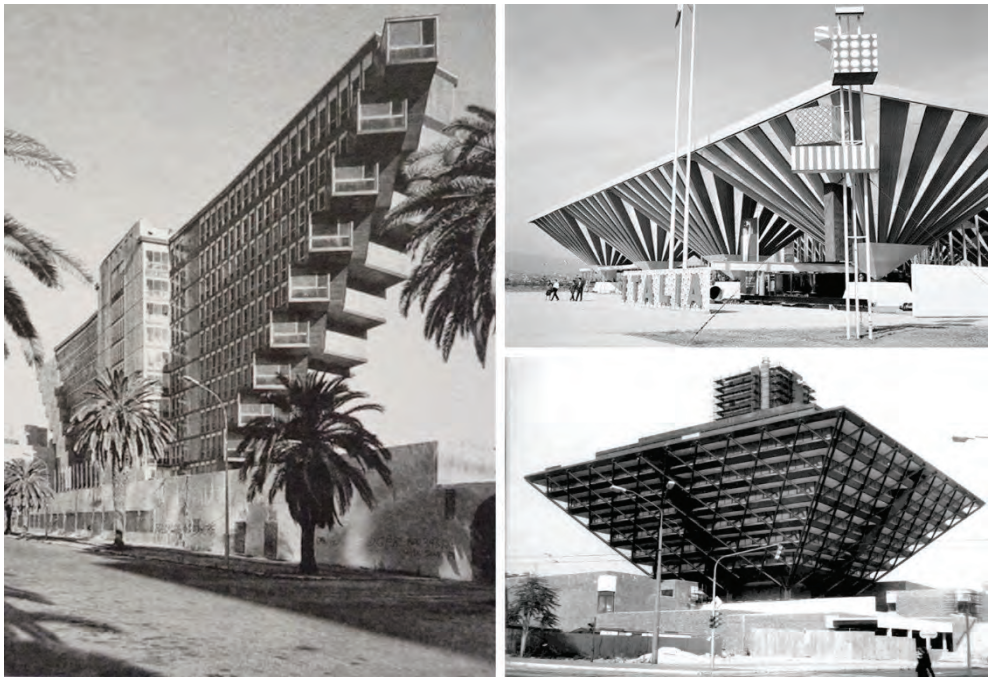


Fig. 2 - L'Hotel du Lac a Tunisi, a sinistra (Italsider, 1979), *il Padiglione dell'Italia alla Fiera di Zagabria del 1962, a destra in alto* (Contigiani, 2003) *e la sede della Radio Slovacca a Bratislava, a destra in basso* (Thomas Ledl, 2017).

Julio Lafuente: formazione e prima autonomia professionale

Julio Lafuente completa i suoi studi in architettura poco dopo la Seconda Guerra Mondiale all'École Nationale Supérieure de Beaux Arts di Parigi, città in cui si era trasferito da Madrid già prima del conflitto. Dopo alcune esperienze di progetto nella capitale spagnola, si stabilisce a Roma nel 1952 ed entra a far parte nello stesso anno dello studio di Vincenzo Monaco e Amedeo Luccichenti, uno dei più attivi nell'Urbe (Pastor, 2016). Nell'ufficio del duo romano, incline all'uso di nuove tecnologie costruttive come l'acciaio, partecipa all'elaborazione di numerosi progetti e conosce gli ingegneri Gaetano Rebecchini e Calogero Benedetti, quest'ultimo specializzato in strutture, con i quali condividerà gran parte della sua carriera.

Nello studio Monaco-Luccichenti Lafuente ha la possibilità di lavorare allo sviluppo di una residenza con dispositivi strutturali che richiamano la forma della piramide rovesciata. Per la Villa del Gombo, progettata nel 1957 per la Presidenza della Repubblica Italiana nel Parco di San Rossore vicino Pisa, elabora una configurazione piuttosto originale: un volume a un piano a base quadrata sollevato da terra grazie a strutture piramidali in acciaio, ciascuna composta da quattro puntoni, e accessibile

dalle rampe collocate nella corte interna (Melis, 2017). Per lo sviluppo dei macro-elementi strutturali sembra che sia stato determinante il contributo dei giovani collaboratori dello studio, che infatti impiegano una strategia analoga anche per l'ippodromo di Tor di Valle a Roma, opera che segna l'avvio della loro autonomia professionale. Per quest'ultimo, progettato da Lafuente, Rebecchini e Benedetti con la partecipazione di Paolo Vietti Violi, è sviluppata una suggestiva serie di paraboloidi iperbolici a guscio sottile e tribune sollevate da terra mediante l'uso di pilastri dalla configurazione ad albero. Anche se la tecnologia scelta è in questo caso quella del calcestruzzo armato, il collettivo di progettisti, riprendendo soluzioni da loro proposte per i concorsi della Stazione Aerea di Piazzale Ostiense e dell'Aeroporto di Roma Ciampino, confermano l'interesse a ridurre i sostegni verticali per la gestione di architetture dalla grande luce.

A questo orientamento nella ricerca strutturale, si aggiunge nell'espressività di Lafuente e dei suoi collaboratori l'uso di elementi a forma di ventaglio. Uno degli esempi più significativi è la realizzazione della Villa della famiglia Lancellotti a Palo Laziale, una residenza di due piani ubicata a poca distanza dal mare, in Figura 3 (Lafuente, 1963). I correnti del tetto ligneo a due falde, esposti all'intradosso, sono

Fig. 3 - La Villa del Gombo, progettata dallo Studio Monaco-Luccichenti, in cui Lafuente lavora fino al 1958, in alto (Abita, 2022) e *i ventagli a struttura lignea di Casa Lancellotti, progettata da Lafuente nel 1963, in basso* (Archivio Lafuente, 1963).

sostenuti da una serie di ventagli, ciascuno composto di cinque coppie di puntoni: in questo modo i progettisti definiscono nella parte centrale dell'abitazione uno spazio a doppia altezza suggestivo sia in termini di permeabilità visiva, che di *comfort* climatico per ombreggiamento e ventilazione. La soluzione proposta per la copertura della villa, che presenta alcune analogie con il disegno del tetto della sala consiliare del Municipio di Säynätsalo del 1952 di Alvar Aalto, rappresenta il tentativo di utilizzare dispositivi strutturali per la grande luce anche in tipologie architettoniche a essa meno affini, quasi a voler sottolineare, con l'uso di ventagli o forme di geometria triangolare, una ben definita cifra stilistica.

L'esperienza in Arabia Saudita

La crisi energetica dei primi anni Settanta e i conseguenti problemi nel settore dell'edilizia in Italia, spingono Lafuente a collaborare dal 1974 con la società di ingegneria franco-italiana SAUTI, impegnata nella costruzione di infrastrutture e di piani di espansione urbana in Arabia Saudita. In questa esperienza, che si protrae fino alla metà degli anni Ottanta, il progettista è chiamato a proporre opere originali per la *beautification* di Jeddah, la seconda città del Paese.

Lafuente sviluppa numerosi interventi destinati a migliorare la qualità architettonica del centro portuale affacciato sul Mar Rosso, tra cui dodici *landmark* da collocare nelle intersezioni dei grandi tracciati viari, giganti sculture ispirate alla cultura locale e nelle quali emergono alcuni dei temi della sua espressività personale. Ad esempio, per l'opera Al-Qiblah, concepisce una scultura dalla sagoma trapezoidale, ancorata al suolo mediante la base minore, che riproduce in marmo l'effetto di un tessuto spiegato al vento in direzione de La Mecca (Farsi, 1991).

Il ricorso a uno sviluppo volumetrico incrementale emerge anche in numerosi progetti di edifici sviluppati per l'impresa SATPI, tra i quali la struttura di accesso al porto, la sede della Società Al-Harbi, il centro culturale Tihama e le torri Shobokshi, in Figura 4. Queste proposte presentano diverse declinazioni della piramide rovesciata, a corpo di fabbrica unico o riprodotto in serie, strutturalmente autonomo o sostenuto da edifici a torre, che attestano il continuo studio da parte di Lafuente per questa configurazione, impiegata tra il 1979 e il 1980 anche per uno dei suoi edifici più noti, la sede della Esso alla Magliana a Roma.

La sede della Esso a Roma

L'articolazione volumetrica dell'edificio, in Figura 5, prevede una sequenza di tre cunei alti sette piani, appoggiati al suolo su di un vertice e collegati tra loro attraverso il piano interrato dei parcheggi e gli ultimi due livelli degli uffici. Ogni livello è organizzato come un *plan libre*, interrotto ritmicamente solo dai nuclei centrali dei collegamenti verticali e dei servizi. Per assecondare tale configurazione, per ogni prisma viene scelta una struttura in acciaio composta da tre telai, caratterizzati da colonne con

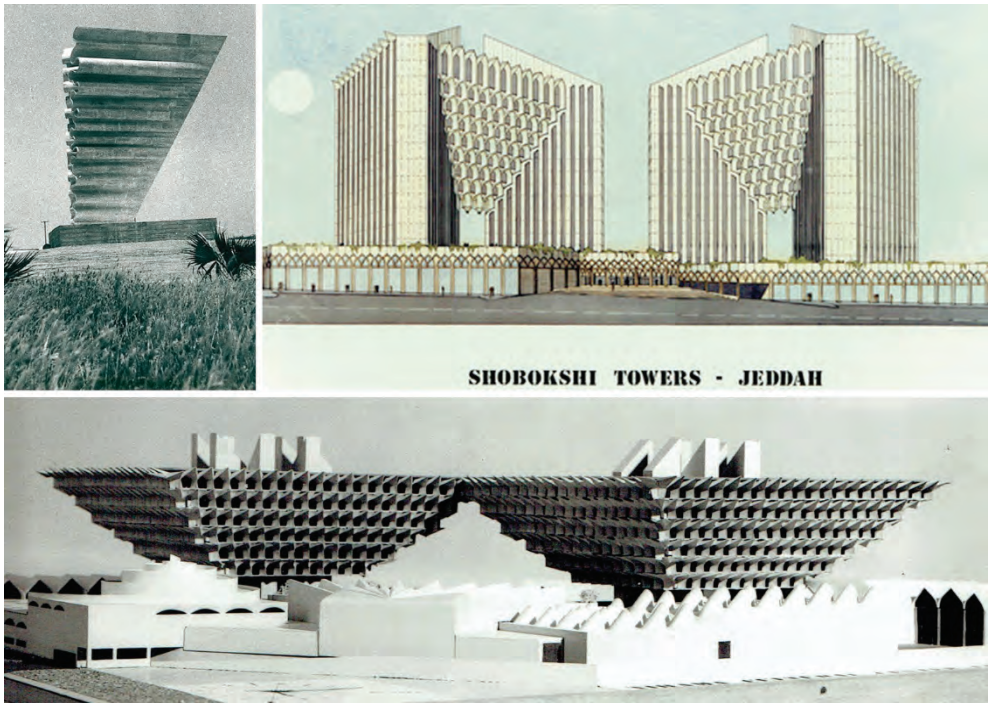


Fig. 4 - Progetti e realizzazioni a Jeddah: la scultura urbana denominata Al-Qiblah e il progetto delle torri Shobokshi, in alto, e il modello per il Centro Culturale Tihama, in basso (Archivio Lafuente, 1975-1981).

profilati tubolari disposti a raggiera e travi principali con profilati a doppio T, tra loro collegati dalle travi secondarie che sostengono i solai dell'edificio (Benedetti, 1980). Tale scelta è motivata anche da ragioni di carattere tecnico-costruttivo: le cattive qualità meccaniche del suolo nell'area alluvionale suggeriscono di concentrare il sistema di pali in tre punti, evitando «la costruzione di una fondazione estesa soggetta a cedimenti differenziali» (Morettini e Bufali, 1981, p. 296); inoltre, l'aggetto progressivo della struttura consente di ridurre il ricorso alle impalcature per la costruzione.

Ognuna delle colonne disposte a raggiera, vincolata all'elemento di fondazione in calcestruzzo armato sagomato a lunetta, è composta dall'unione di tre conci in profilati tubolari prodotti dalla Dalmine. Il diametro alla base, di 56 cm, decresce nello sviluppo verticale e il collegamento tra le colonne avviene mediante flange con piastre di irrigidimento triangolari agli estremi, preparate per le unioni bullonate ad alta resistenza. I conci delle colonne dispongono anche di una fila di monconi tubolari saldati utili al collegamento con l'anima delle travi principali, mostrate in Figura 6. Per ogni impalcato a due campate, ciascuna larga circa 9 metri, sono utilizzati pro-

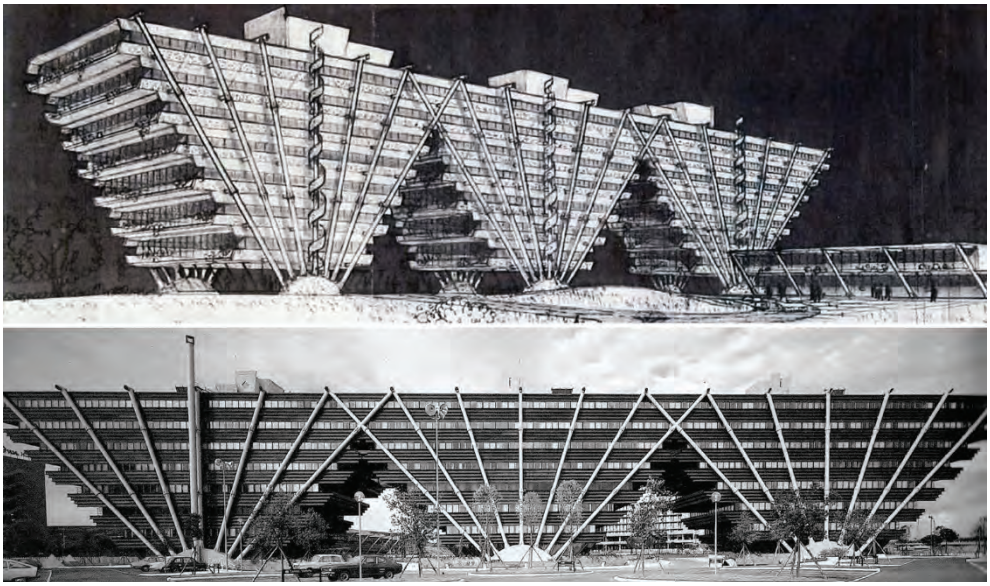


Fig. 5 - Sede della Esso alla Magliana: confronto tra un disegno del progettista, in alto, e l'edificio portato a termine nel 1980, in basso (Archivio Lafuente, 1979-1980).

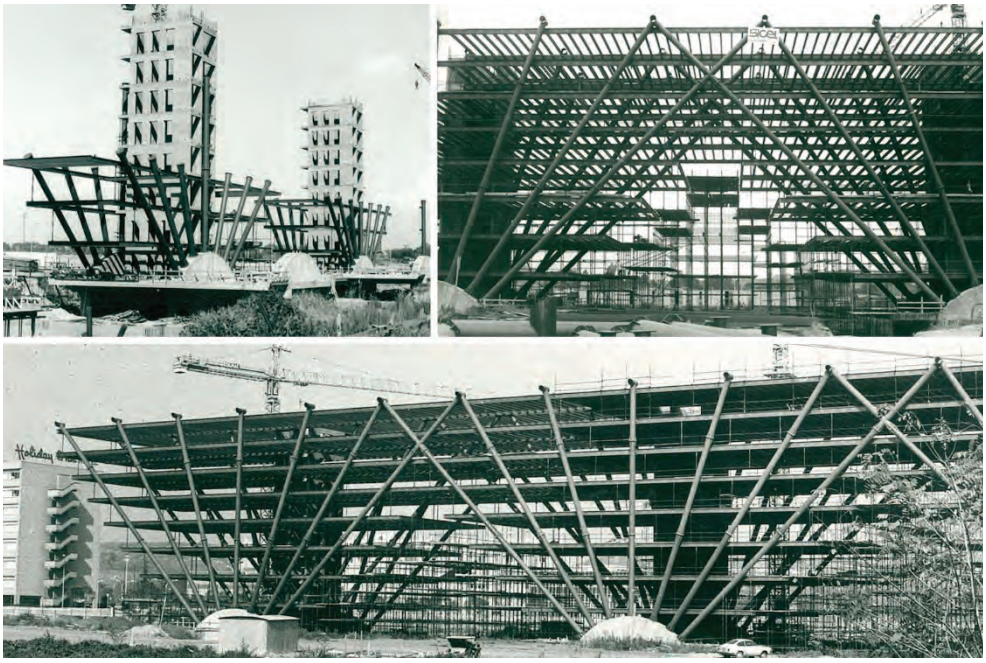


Fig. 6 - Sede della Esso alla Magliana: fasi della costruzione del sistema resistente in acciaio (Archivio Lafuente, 1979-1980).

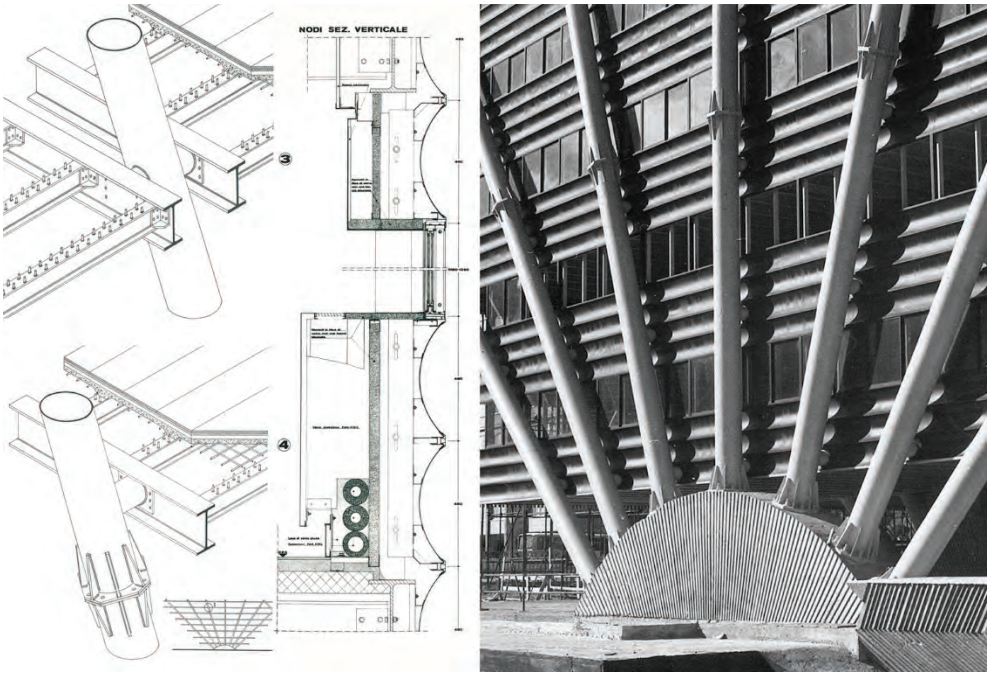


Fig. 7 - Sede della Esso alla Magliana: dettagli costruttivi dei nodi colonna-trave e dell'involucro (Archivio Lafuente 1979-1980).

filati a doppio T alti 50 cm, ai quali sono collegati, per mezzo di semplici squadrette a doppio coprigiunto, profilati analoghi di altezza inferiore, muniti sull'ala superiore di connettori a piolo saldati, utili alla collaborazione con le solette in calcestruzzo dei solai. Negli ultimi due piani della struttura, l'intersezione tra i corpi di fabbrica è garantita da elementi di parete in composizione saldata a croce di Sant'Andrea e dalla continuità delle travi principali negli impalcati. Le colonne, rivestite con vernice ignifuga di colore bianco, terminano con un moncone tubolare posto al di sopra del piano di copertura, quasi a simulare la presenza di travi che cingono i corpi di fabbrica. Nello spazio tra le colonne esposte e le travi continue è fissata una sottostruttura metallica in montanti di alluminio, sul cui lato interno sono fissati pannelli in cartongesso insieme a pannelli in fibra di vetro con faccia bituminata che formano vani sottofinestra nei qualipossono essere alloggiate le canalizzazioni; sul filo esterno sono ancorate lamiere convesse di alluminio e finestre a nastro con ante scorrevoli alte 1,2 metri circa, in Figura 7.

Con una lunghezza di circa 200 metri, la sede della Esso diventa un efficace riferimento visivo nel territorio meridionale della Capitale. Per lo sviluppo di questa configurazione, non esente da critiche per la dissonanza rispetto all'architettura della città, risul-

tano fondamentali i condizionamenti di carattere tecnico e l'influenza delle esperienze compiute da Lafuente negli anni precedenti, al punto che «forse questa è "l'autodifesa della morale funzionale": è un fatto che tutti gli arabi che percorrono la via dell'Aeroporto (di Fiumicino) rimangano affascinati dalla "forza" della soluzione, mentre gli italiani storcono un poco il naso. Di chi la ragione?» (Quaroni e Piñón 1982, p. 18).

Conclusioni

Una delle ambizioni più comuni dei progettisti è superare e apparentemente negare le leggi della statica «in svariate maniere, la più elementare delle quali consiste proprio nel rovesciare la piramide o, più realisticamente, consiste in ogni azione concreta che si apparenti, seppur metaforicamente, a tale rovesciamento, come accade quando si inverte la distribuzione delle masse ed esse sembrano rarefarsi dall'alto verso il basso» (Bilò, 2006, p. 5).

Molte opere di Julio Lafuente possono essere riferite a questa logica e fondamentale per questa espressività è stata la sua lunga collaborazione con gli ingegneri Rebecchini e Benedetti, sodalizio che si è concluso subito dopo il completamento degli uffici Esso nel 1980. In particolare, Lafuente e i suoi collaboratori sarebbero stati influenzati nel concepimento di originali strutture non solo da esperienze a loro contemporanee, ma anche da celebri opere del XIX secolo, come il progetto del mercato coperto di Viollet-le-Duc o la costruzione di grandi infrastrutture in ferro come il ponte sul Forth (Mendini, 1981).

I temi portati avanti dall'architetto italo-spagnolo saranno ripresi nei suoi principali contesti di intervento anche da altri autori. Nei Paesi della penisola arabica ne sono un'attestazione i progetti della sede del Ministero degli Interni a Riyhad, di Archisystems, e il progetto della Biblioteca di Doha, in Qatar, di Arata Isozaki (Fraser e Golzari, 2016). Anche in Italia e in particolare a Roma è possibile rintracciare una continuità con il lavoro di Lafuente nel progetto di recupero del Colle Palatino proposto dall'architetto Vittorio Mazzucconi, secondo il quale: «come la piramide, la storia si costruisce di secolo in secolo, di pietra in pietra, fino a giungere all'istante presente, punta della piramide. Quando noi la rovesciamo, è come se da questo punto ci si allargasse, immaginando un futuro sempre più ampio, come se tutta la vicenda fosse una gigantesca clessidra» (Mazzucconi, 2004, p. 85).

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale all'architetto Clara Lafuente, per la sua gentilezza e disponibilità a condividere documenti dell'archivio professionale del padre Julio. Vorremmo anche esprimere la nostra gratitudine a Geoffrey Erickson dello Studio Erickson a Vancouver per la foto sul padiglione canadese, a Gina Tercilla di Harvard Jolly Architecture per i documenti sul molo di San Pietroburgo in Florida e allo staff di Cranbrook Archives di Bloomfield Hills, per gli schizzi di Eero Saarinen.

Bibliografia

Barrios C. 2007. El Museo de Arte de Niemeyer: su lugar en el paisaje moderno de Caracas. Arquitexto. 10-11, 76-91.

Benedetti C. 1980. *Tipi e motivazioni nelle costruzioni in acciaio*. Roma, Archivio Lafuente, Inventario JL.3.1.90.

Bilò M. 2006. Divagazioni sulla metafora. Architettura & Città. Società, identità e trasformazione. 1, 4-7.

Contigiani R. 2003. *Raffaele Contigiani, architetto e pittore*. Matelica: Grafostil.

Erickson A. 1988. *The architecture of Arthur Erickson*. Vancouver: Douglas & McIntyre.

Farsi H.M.S. 1991. *Jeddah, city of art: the sculptures and monuments*. London: Stacey International.

Fraser M. Golzari N. 2016. *Architecture and globalisation in the Persian Gulf region*. London: Routledge.

Hart F. *et al.* 1979. *Architettura acciaio: edifici civili*. Genova: Italsider.

Lafuente J. 1963. Villa Lancellotti a Palo Laziale. L'Architettura, Cronache e Storia, 89, 740-747.

Lee K. 1977. *Encyclopedia of energy-efficient building design: 391 practical case studies*. Boston: Environmental Design and Research Center.

Mazzucconi V. 2004. La piramide. L'Arca, 188, 82-85.

Melis P. 2017. *Vincenzo Monaco, Amedeo Luccichenti: opera completa*. Milano: Electa.

Mendini A. 1981. Ventagli d'acciaio. Domus, 621, 3031.

Moravčíková H. 2009. Monumentality in Slovak architecture of the 1960s and 1970s: authoritarian, national, great and abstract. The Journal of Architecture, 14, 45-65.

Morettini R. Bufali A. 1981. Edificio Esso a Roma. Acciaio, 21, 295298.

Mozingo L. A. 2011. *Pastoral capitalisms: a history of suburban corporate landscapes*. Cambridge Massachussets: The MIT Press.

Niemeyer O. 1956. Museu de Arte Moderna de Caracas. Módulo, 2, 41.

Pastor M. 2016. Between utopia and construction: a research on the work of Julio Lafuente. Rita- Revista Indexada de Textos Académicos, 6, 78-85.

Quaroni L. Piñón H. 1982 *Architetture di Julio Lafuente*. 18. Roma: Officina.

Quatremère De Quincy A. C. 1844. *Dizionario storico di architettura: contenente le nozioni storiche, descrittive, archeologiche, biografiche, teoriche, didattiche e pratiche di quest'arte*. Mantova: Tipografia Fratelli Negretti.

Robison R. 1971. Buildings that save a Watt, and more. Progressive Architecture, 51, 104-111.

Sitler N. D. 2015. *St. Petersburg's Piers*. Charleston: Arcadia Publishing.

Sitografia

[1] www.arthurerickson.com

Vittorio Bovolin

L'alluvione del 1949 a Benevento

The Benevento 1949 flood

Sommario
Il 2 ottobre 1949 una grande piena nel fiume Calore Irpino determinò a Benevento il sormonto della porzione destra del ponte Vanvitelli e l'inondazione del rione Ferrovia, causando 17 vittime e la distruzione di parte dell'area industriale. Nonostante l'evento alluvionale abbia avuto una vasta eco nella opinione pubblica nazionale, non sono disponibili studi specifici relativi agli aspetti idraulici di tale piena. Il presente contributo intende colmare questa lacuna unendo una approfondita ricerca storica con l'applicazione dei moderni strumenti della ingegneria idraulica per la modellazione dei processi di piena nei corsi d'acqua. La ricerca storica ha permesso di identificare e ricostruire le caratteristiche idrauliche di numerose piene storiche verificatesi nel Calore Irpino, di recuperare documenti contenenti informazioni quantitative relative allo sviluppo di tali piene e di acquisire le informazioni necessarie per la ricostruzione dello stato dei luoghi al momento della piena del 1949. La ricerca storica ha anche permesso inoltre di identificare la presenza nel 1949, lungo la sponda destra del fiume Calore Irpino, immediatamente a valle del ponte Vanvitelli, di un argine realizzato con le macerie degli edifici distrutti durante la II Guerra Mondiale. Sulla base delle informazioni disponibili è stato implementato un modello idraulico bidimensionale del tratto di fiume prossimo al ponte Vanvitelli, che ha indicato che gli elevati livelli idrici raggiunti nel corso della piena del 1949 sono ascrivibili alla presenza di tale argine e che in assenza di esso i livelli idrici sarebbero stati analoghi a quelli verificatesi nel corso delle precedenti piene.

Abstract
On October 2, 1949, due to a large flood in the Calore Irpino river, the right bank of the Vanvitelli bridge in Benevento was overtopped flooding the rione Ferrovia and causing 17 victims and the destruction of part of the industrial area. Although the flood aftermath had a wide resonance in the Italian public opinion, no specific studies related to the hydraulic aspects of the flood are available. This paper intends

to fill this gap by combining an in-depth historical research with the application of modern hydraulic engineering tools for modelling flood processes. Historical research has allowed to identify the hydraulic characteristics of several historical floods in the Calore Irpino river, to recover documents containing quantitative data related to the development of these floods and to acquire all the information needed for the reconstructing the state of the area at the time of 1949 flood. The historical research has also led to identify the presence, in 1949, on the right bank of the Calore Irpino river, just downstream of the Vanvitelli bridge, of an embankment built with the rubble of buildings destroyed during World War II. Based on all the available information, a two-dimensional hydraulic model of the stretch of Calore Irpino river near the Vanvitelli bridge has been implemented. The hydraulic model has shown that the high-water levels reached during the 1949 flood can be attributed to the presence of this embankment and that, in its absence, water levels would have been similar to those recorded during previous floods in the Calore Irpino.

Introduzione

Il nucleo storico dell'abitato di Benevento si è sviluppato su una piccola altura con andamento planimetrico est-ovest, contornata a nord dal fiume Calore Irpino, anche detto semplicemente Calore, e a sud dal fiume Sabato. Su entrambi i fiumi sono presenti attraversamenti di antichissima installazione: il ponte Leproso, di origine romana, sul Sabato e il cosiddetto ponte Vanvitelli sul Calore.

La mattina del 2 ottobre 1949 il fiume Calore esondò in prossimità del ponte Vanvitelli. Il livello idrico superò di diversi metri la quota della sponda destra e allagò il rione Ferrovia, provocando la morte di 17 persone e ingenti danni al patrimonio abitativo civile e agli opifici dell'area industriale della città, che in quel periodo era collocata in prossimità della stazione ferroviaria. L'alluvione non riguardò solo il bacino del Calore, ma causò notevoli danni anche in ampie porzioni della regione Campania; peraltro la stessa perturbazione il giorno prima aveva causato danni anche nell'Italia Centrale.

L'evento alluvionale a Benevento, che rappresentò il primo disastro idrogeologico dell'epoca repubblicana, ebbe una vasta eco mediatica in tutto il paese. L'interesse della pubblica opinione fu alimentato anche dai due servizi che la Settimana INCOM dedicò all'alluvione e alle sue conseguenze. Purtroppo, però, nonostante la rilevanza mediatica e l'evidente interesse tecnico-scientifico legato all'identificazione delle cause degli elevati livelli idrici raggiunti nel corso di quella piena, non sono disponibili studi né relazioni specifiche dedicate ad approfondire gli aspetti idraulici di quanto avvenne. In tal senso appare sorprendente che il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, che all'epoca era responsabile del monitoraggio idro-meteorologico nazionale, pur dedicando nell'Annale Idrologico del 1949 un approfondimento alla piena nel Calore di quell'anno, si limitò a considerare la sola

porzione del bacino idrografico del Calore posto a monte della stazione di Apice, che non era risultata particolarmente interessata dal fenomeno, rimanendo silente su quanto era accaduto a Benevento.

Anche negli anni successivi l'interesse della comunità tecnico scientifica verso la piena del 1949 fu praticamente inesistente, se non per richiamare una stima della massima portata defluita nel corso dell'evento e solo nell'ambito delle valutazioni finalizzate a definire le portate di proporzionamento del sistema arginale del corso del Basso Volturno a valle di Capua.

Il ponte Vanvitelli

Il ponte Vanvitelli deve il proprio nome alla circostanza che nel 1766 l'amministrazione pontificia, di cui Benevento faceva parte come enclave all'interno del Regno di Napoli, aveva deciso di affidare i lavori di manutenzione del ponte sul Calore a Luigi Vanvitelli. Per effetto di successive vicissitudini tecnico storiche Vanvitelli non completò l'incarico, che fu invece portato a compimento da Saverio Casselli (Pezone, 2006).

Per una corretta interpretazione dei dati discussi nel paragrafo successivo appare utile ripercorrere sinteticamente l'evoluzione storica del ponte Vanvitelli e introdurre alcuni aspetti relativi al suo funzionamento idraulico.

Va innanzitutto detto che la conformazione morfologica del sito presenta la sponda sinistra a una quota significativamente più alta rispetto a quella della sponda destra e che all'epoca dell'intervento di Vanvitelli il ponte presentava 5 luci e aveva un profilo longitudinale a "schiena d'asino". Casselli lasciò inalterate le 5 luci, ma modificò l'andamento longitudinale del ponte, realizzando un profilo a pendenza costante discendente dalla sponda sinistra verso quella destra con un dislivello complessivo di circa 5 m, come mostrato in Figura 1.

Fig. 1 - Il vecchio ponte Vanvitelli, a sinistra, e il nuovo ponte in costruzione con ancora visibili i resti della precedente struttura, a destra (Collezione privata Nello Pinto), *[1].*

Fig. 2 - Piena verificatasi presumibilmente nel 1938, a sinistra, e nel 1949, a destra (Collezione privata Nello Pinto)*, [1].*

In epoca unitaria, a seguito della realizzazione della linea ferroviaria Napoli-Foggia, sulla riva destra del Calore fu costruita la stazione ferroviaria di Benevento. La nuova linea di sviluppo della città, diretta dal centro storico alla stazione, comportò alcune modifiche urbanistiche che determinarono l'innalzamento della livelletta del piano stradale del ponte di circa 1 m al di sopra di quella adottata da Casselli, portando la quota topografica della sponda destra da 120,5 m s.m. a 121,5 m s.m.

Infine, alla fine degli anni '50 del XX secolo il vecchio ponte a 5 archi fu sostituito con un moderno ponte a 3 archi, che ha aumentato significativamente la luce utile per il deflusso della corrente, come mostrato sempre in Figura 1.

La principale problematica idraulica connessa al vecchio ponte Vanvitelli era dovuta alla ridotta area della luce utile per il deflusso della corrente che, in occasione delle piene maggiori, determinava un significativo effetto di rigurgito con conseguente aumento dell'altezza idrica a monte del ponte rispetto a quella di valle. Questo effetto è chiaramente visibile nella Figura 2 per una piena verificatasi presumibilmente nel 1938 (Mazzacca, 1992) e per la piena del 1949.

Le piene storiche

Fino al XIX secolo la presenza antropica nelle due piane fluviali è stata limitata ai due ponti e ad alcuni mulini presenti sulla sponda destra del Sabato. Ne consegue che le cronache storiche non contengono informazioni relative alla estensione delle aree allagate, solo per alcuni eventi sono presenti riferimenti indiretti ai livelli idrici raggiunti in prossimità dei ponti, che rappresentano i soli indicatori quantitativi delle magnitudo delle piene. Le ricerche storiche svolte da Diodato (1999), Mazzacca (1992), Palmieri (2006), e Zazo (1949) e i dati contenuti nel Progetto Aree Vulnerate in Italia del CNR [2] hanno identificato negli ultimi 13 secoli più di 60 piene.

In Tabella 1 sono riportati i massimi livelli, le altezze idriche e l'effetto di rigurgito in corrispondenza del ponte Vanvitelli per i 4 eventi di piena storici per i quali è stato possibile effettuare una stima affidabile (Bovolin, 2021).

Tab. 1 - Massimi livelli, Y, altezze idriche, h, ed effetto di rigurgito, DY, in corrispondenza del ponte Vanvitelli per alcune alluvioni storiche (Bovolin, 2021) *(zero idrometrico 111.50 m s.m.).*

Anno	Y_{valle} (m s.m)	h_{valle} (m)	Y_{monte} (m s.m)	h_{monte} (m s.m)	DY (m)
1740	-	-	>121,5	>10,0	-
1770	-	-	>122,5	>11,0	-
1938	119,0	7,5	121,5	10,0	2,5
1949	122,0	10,5	125,5	14,0	3,5

La documentazione relativa alla piena del 1949

Gli aspetti idraulici più significativi della piena del 1949 sono documentati in numerose fotografie riprese nel corso dell'evento.

A titolo di esempio nella Figura 3 sono riportate due immagini, quella a sinistra evidenzia i livelli idrici in corrispondenza del ponte Vanvitelli, che risulta in parte sormontato, e conferma la presenza di un notevole effetto di rigurgito, mentre quella a destra, che è diretta verso valle, mostra chiaramente una struttura che emerge dall'acqua.

L'osservazione dei livelli nella Figura 3 indica con certezza che la corrente defluita in prossimità del ponte Vanvitelli è del tipo lento/subcritico che, come è noto dall'idraulica elementare delle correnti a superficie libera (Marone, 1992), è governato da condizioni idrometriche di valle. I risultati ottenuti da una prima analisi effettuata con un modello monodimensionale che, per ragioni di brevità, non è qui discusso, non hanno dato ragione degli elevati livelli idrici a valle e monte del ponte visibili nella Figura 3.

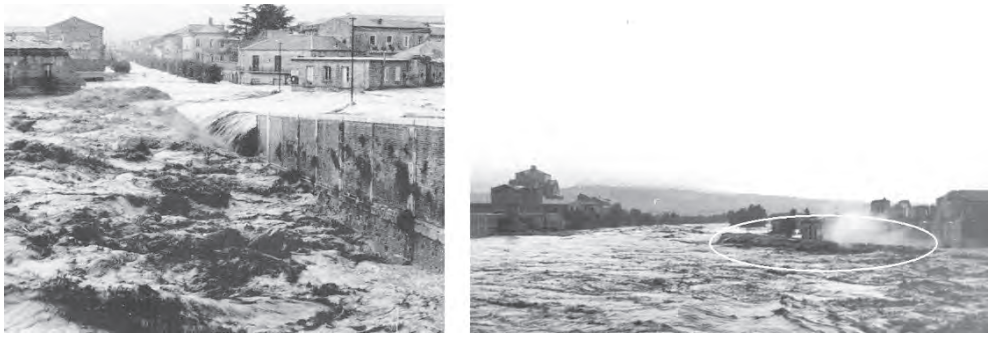


Fig. 3 - Livelli idrici a monte e valle del ponte Vanvitelli durante la piena del 1949, a sinistra, e vista verso valle della piana del Calore con evidenziazione di una struttura che emerge dall'acqua, a destra (Collezione privata Nello Pinto)*, [1].*

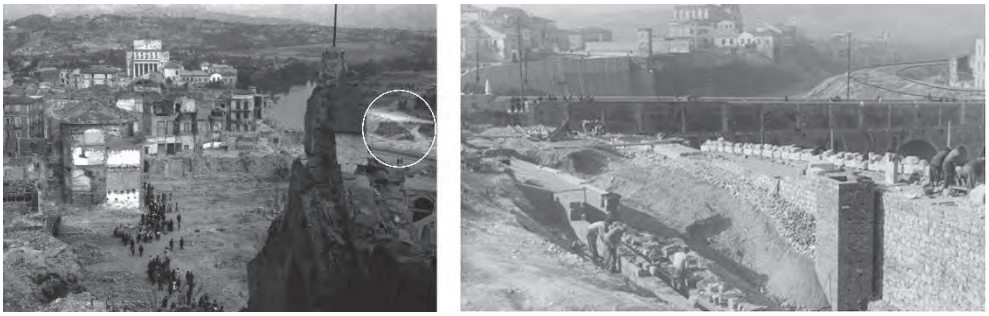


Fig. 4 - L'argine realizzato in sponda destra del Calore con le macerie della II Guerra mondiale: in costruzione, a sinistra) e dopo il completamento, a destra (Collezione privata Nello Pinto), *[1].*

Sulla base di questi primi risultati si è deciso di effettuare un ulteriore approfondimento della documentazione iconografica disponibile. Si è così giunti alle immagini in Figura 4 nelle quali si riconosce, lungo la sponda destra del Calore, un ampio argine realizzato con le macerie conseguenti ai bombardamenti della II Guerra Mondiale che corrisponde alla struttura evidenziata nella Figura 3. La presenza dell'argine è ulteriormente confermata da fotografie e documentazioni scritte degli anni '50 del XX secolo che confermano la presenza all'interno dell'alveo del Calore dei resti dell'argine (Bovolin, 2021).

Il modello idraulico bidimensionale: descrizione

Per approfondire gli aspetti idraulici della piena del 1949 è stato implementato, mediante l'uso del software HEC-RAS [3], un modello idraulico bidimensionale del tratto del Calore prossimo al ponte Vanvitelli.

Le informazioni topografiche per la implementazione del modello sono state desunte dal rilievo Lidar effettuato dal Ministero dell'Ambiente [4] nel 2012, adeguate, per gli aspetti antropici, sulla base delle foto aeree dell'area riprese nel 1943 e nel 1955. Sulla base di tali informazioni sono state definiti gli scenari topografici rappresentativi della situazione pre-1945 e della situazione nel 1949 riportati nella Figura 5. L'impronta complessiva dell'area ricoperta dal modello bidimensionale e della relativa griglia di calcolo è riportata nella Figura 6 sia sulla foto aerea del 1943 che sulla topografia del 1949.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, le uniche informazioni quantitative relative all'alluvione del 1949 sono contenute in una nota di Viparelli del 1961 riguardante la sistemazione del tratto terminale del fiume Volturno. In tale nota Viparelli, richiamando una relazione redatta da De Marchi che purtroppo non è stato possibile ritrovare, riporta che la portata di colmo a Benevento è stata pari a circa

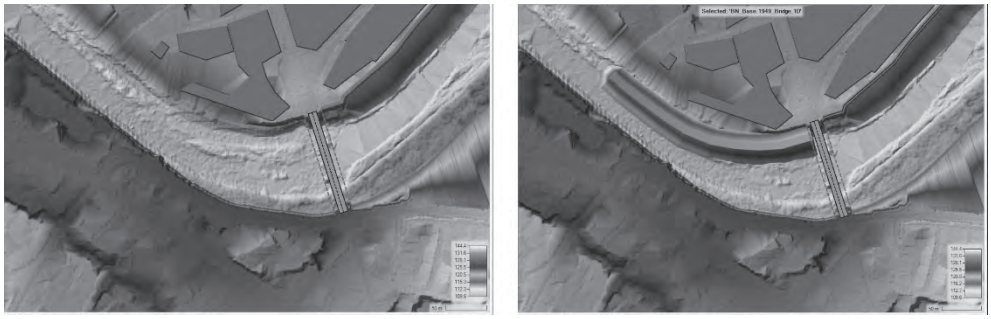


Fig. 5 - Modello idraulico bidimensionale: topografia del terreno in prossimità del ponte Vanvitelli pre 1945, a sinistra, e nel 1949, a destra.

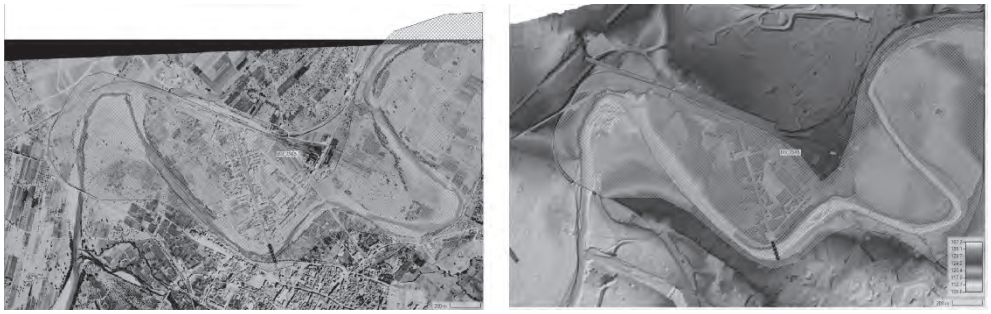


Fig. 6 - Modello idraulico bidimensionale: impronta dell’area del modello e griglia di calcolo su base foto aerea del 1943 (Istituto Geografico Militare), a sinistra, e sulla topografia 1949, a destra.

3150 m^3/s. A tal riguardo, in un documento relativo alla piena del Sabato del 1961 è riportato che nel 1949, in corrispondenza del ponte della ferrovia posto sul torrente Tammaro alla confluenza con il Calore, il livello idrico aveva raggiunto il piano ferroviario (Bovolin, 2021). Sulla base delle dimensioni del ponte e della quota del piano ferroviario è stato quindi stimato che la massima portata defluente nel 1949 nel Tammaro è stata dell’ordine di almeno 2500 m^3/s (Bovolin, 2021), valore coerente con la stima richiamata da Viparelli.

Per il presente studio si è proceduto assumendo 3 idrogrammi di forma semplificata della durata complessiva di 3 h all’interno dei quali le massime portate in ingresso nel modello, pari rispettivamente a 2000, 2500 e 3000 m^3/s, sono raggiunte alla fine della prima ora. Combinando le topografie pre-1945 e 1949 con gli idrogrammi descritti in precedenza sono stati definiti i 6 scenari riportati nella Tabella 2, che nel loro complesso permettono di definire in maniera esaustiva il comportamento idraulico del ponte Vanvitelli con e senza l’argine. La piena del 1949 è presumibilmente rappresentata dallo scenario 49-SI-30.

Tab. 2 - Scenari implementati nel modello idraulico bidimensionale.

Scenario	Topografia di riferimento	Portata [m^3/s]	Altro
45-NO-25	Pre-1945	2500	No ponte
45-SI-20	Pre-1945	2000	Con ponte
45-SI-25	Pre-1945	2500	Con ponte
45-SI-30	Pre-1945	3000	Con ponte
49-SI-25	1949	2500	Con ponte
49-SI-30	1949	3000	Con ponte

Il modello idraulico bidimensionale: risultati

Nella Figura 7 sono riportate le configurazioni del ponte Vanvitelli relative agli Scenari riportati nella Tabella 2 e gli andamenti temporali delle portate defluenti attraverso la sezione del ponte inclusa la portata di sormonto del ponte stesso.

La validazione sintetica dei risultati delle simulazioni effettuate è stata effettuata confrontando i valori delle altezze idriche calcolate dal modello idraulico per lo scenario 49-SI-30 con le corrispondenti altezze idriche verificatesi nel corso della piena del 1949 in 2 punti di controllo. Nelle Figure 8 e 9 sono riportati gli andamenti temporali delle altezze idriche calcolate dal modello idraulico rispettivamente sul LungoCalore Manfredi di Svevia immediatamente a monte del ponte Vanvitelli e in prossimità di via Nuzzolo, nel rione Ferrovia. In entrambe le Figure sono anche riportate le fotografie che hanno consentito di valutare le altezze idriche verificatesi

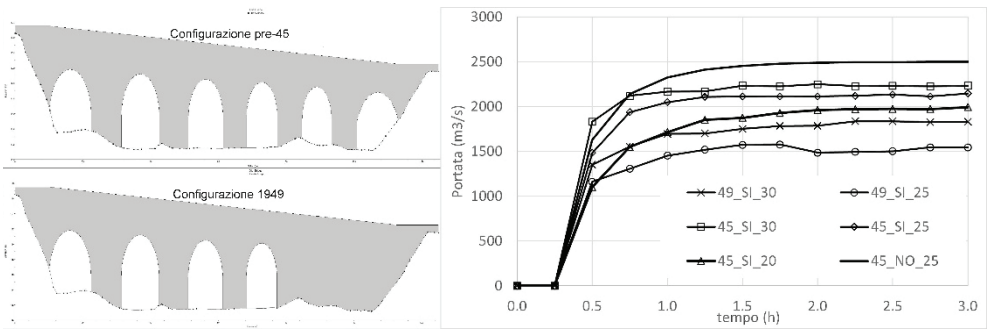


Fig. 7 - Modello idraulico bidimensionale: configurazioni del ponte Vanvitelli relative agli scenari analizzati, a sinistra, e andamento temporale delle portate defluenti attraverso la sezione del ponte, a destra.

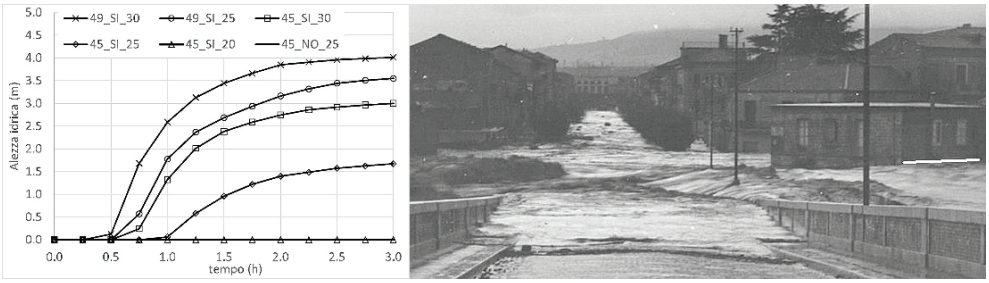


Fig. 8 - Modello idraulico bidimensionale: andamento temporale delle altezze idriche in prossimità del Lungo Calore Manfredi di Svevia immediatamente a monte del ponte Vanvitelli (Collezione privata Nello Pinto), *[1].*

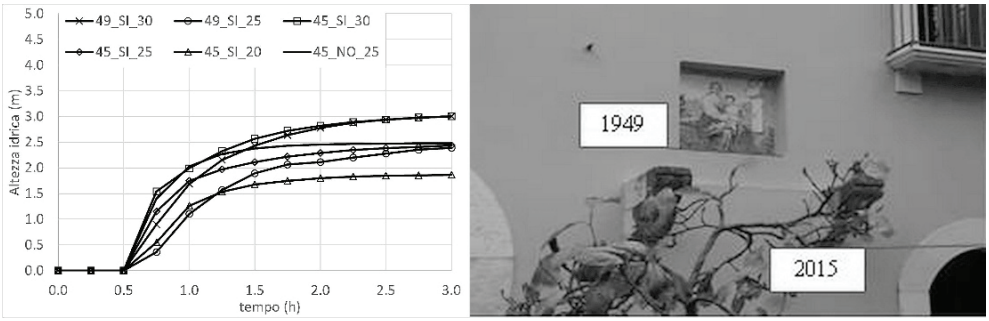


Fig. 9 - Modello idraulico bidimensionale: andamento temporale delle altezze idriche in via Nuzzolo nel rione Ferrovia.

nel corso della piena del 1949. Nella Figura 8 la traccia del livello idrico evidenziata sull’edifico indica che l’altezza idrica massima ha raggiunto il valore di circa 4 m (125,5 m s.m.), che è bene rappresentato dai valori delle altezze idriche riportate nel grafico a sinistra. Nella Figura 9 il segno posto a ricordo del livello idrico raggiunto nel 1949 indica un valore dell’altezza idrica massima di almeno 3 m che appare in buon accordo con quanto stimato nello stesso scenario 49-SI-30. Per entrambi i punti di controllo le altezze idriche osservate nella realtà sono state raggiunte all’incirca dopo 2 ore di simulazione.

A valle della fase di validazione del modello è stato possibile approfondire ulteriormente i risultati per estrarne ulteriori elementi utili a comprendere gli aspetti idraulici della piena del 1949. Nella Figura 10 sono mostrati gli andamenti dei profili di corrente in prossimità del ponte Vanvitelli relativi all’istante nel quale si raggiunge il valore stazionario della portata in ingresso e a fine simulazione. Nella Tabella 3

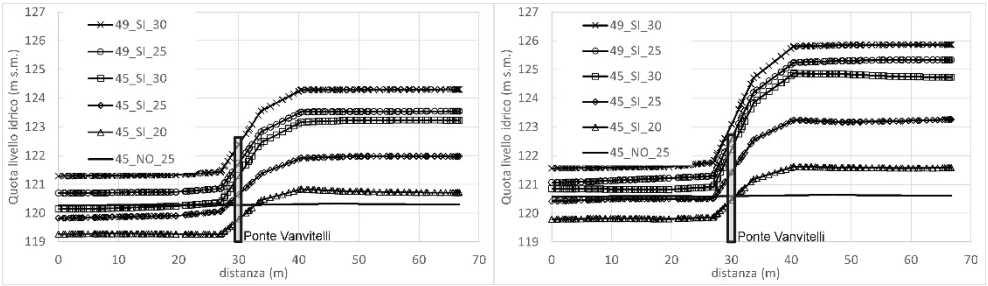


Fig. 10 - Modello idraulico bidimensionale: profili di corrente in prossimità del ponte Vanvitelli per due istanti temporali: 1 h, a sinistra, e 3 h, a destra.

Tab. 3 - Risultati degli scenari implementati nel modello bidimensionale per 2 istanti temporali.

	Risultati dopo 1h				Risultati fine simulazione			
Scenario	*Q* (m^3/s)	*Y*valle (m s.m.)	*Y*monte m s.m.)	D*Y* (m)	*Q* (m^3/s)	*Y*valle (m s.m.)	*Y*monte (m s.m.)	D*Y* (m)
45_NO_25	2324	120,29	120,31	0,02	2499	120,60	120,62	0,02
45_SI_20	1714	119,27	120,83	1,56	1993	119,82	121,62	1,80
45_SI_25	2049	119,94	121,91	1,97	2146	120,50	123,23	2,74
45_SI_30	2166	120,27	123,16	2,89	2233	120,84	124,85	4,01
49_SI_25	1452	120,76	123,51	2,75	1545	121,24	125,23	3,99
49_SI_30	1694	121,35	124,28	2,93	1829	121,65	125,79	4,14

sono riportati i valori delle portate stazionarie *Q* rappresentate nella Figura 7, dei livelli idrici *Y* a monte e a valle del ponte e dell'entità dell'incremento del livello idrico D*Y* valutati dopo 1 ora e alla fine della simulazione.

I dati riportati nella Tabella 3 rendono evidente che il vecchio ponte Vanvitelli determinava un significativo effetto di rigurgito anche per gli scenari pre-1945 e confermano l'opportunità di sostituire il vecchio ponte a 5 cinque arcate con l'attuale ponte a 3 arcate, in Figura 1.

Il confronto tra i livelli idrici riportati nella Tabella 1 e quelli in Tabella 3 indicano che lo scenario 45-SI-20 può essere considerato come rappresentativo della piena raffigurata nella Figura 2.

Per quanto riguarda la piena del 1949 i livelli idrici riportati nella Tabella 3 indicano che lo Scenario 49_SI_30 è in buon accordo con i valori riportati nella Tabella 1 e confermano che la massima portata defluita nel corso della piena del 1949 è stata prossima al valore di 3000 m^3/s indicato da De Marchi.

Tab. 4 - Incremento dei livelli idrici indotti dalla presenza dell’argine rispetto ai valori pre-1945.

Portata							
2500 (m^3/s)		3000 (m^3/s)		2500 (m^3/s)		3000 (m^3/s)	
Incrementi dopo 1 h (m)				Incrementi dopo 3 h (m)			
A monte	A valle	A monte	A valle	A monte	A valle	A monte	A valle
1,60	0,82	1,12	1,11	2,00	0,74	0,94	0,81

Per la recente piena del 2015, Bovolin (2021) ha stimato una portata di picco dello stesso ordine di grandezza di quella del 1949.

Gli incrementi dei livelli idrici indotti dalla presenza dell’argine nel 1949 rispetto ai corrispondenti valori pre-1945 sono riportati nella Tabella 4.

È ben noto che l’entità dei danni che si verificano durante una inondazione aumenta all’aumentare del volume di allagamento complessivo. Le differenze tra le massime portate in ingresso nel modello e le massime portate defluenti attraverso la sezione del ponte forniscono una indicazione sulle portate esondate. Per la piena del 1949 esse risultano pari a 955 m^3/s per lo Scenario 49_SI_25 e a 1171 m^3/s per lo Scenario 49_SI_30 con un incremento rispettivamente del 160% e del 50% rispetto alle portate relative ai corrispondenti scenari pre-1945. Il legame più che lineare che lega i livelli idrici alle portate di esondazione ha pertanto comportato che i volumi esondati nel 1949 siano stati molto maggiori rispetto a quelli che si sarebbero avuti in assenza dell’argine.

Su alcune apparenti incongruenze nei risultati

Le curve nelle Figure 8 e 9 evidenziano che le altezze idriche nelle sezioni di controllo sono raggiunte dopo circa 2 h di simulazione, mentre gli andamenti temporali riportati nella Figura 7 indicano che la portata stazionaria a valle del ponte è raggiunta all’incirca dopo 1 h di simulazione. Inoltre, il confronto tra le due immagini in Figura 10 mostra chiaramente che l’altezza idrica a monte del ponte Vanvitelli continua a crescere anche dopo che la portata defluente nel thalweg del Calore ha raggiunto il valore massimo.

Queste apparenti incongruenze sono spiegate dal fatto che i modelli bidimensionali hanno un funzionamento intrinsecamente non cinematico e che conseguentemente le variabili idrodinamiche, in particolare per le correnti lente, dipendono non solo dai valori delle portate istantanee, ma anche dal volume complessivo della piena. In altri termini, i valori spaziali massimi delle diverse variabili idrodinamiche non sono in generale sincroni, ma si verificano in istanti temporali diversi in funzione del grado di “riempimento” del sistema.

Conclusioni

Il presente studio ha inteso colmare la lacuna relativa alla assenza di analisi degli aspetti idraulici della piena del Calore a Benevento nel 1949.

I risultati del modello idraulico bidimensionale implementato hanno indicato che la presenza dell'argine realizzato a valle del ponte Vanvitelli dopo il 1945 con le macerie degli edifici distrutti dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale ha determinato un significativo aumento dell'effetto di rigurgito del vecchio ponte Vanvitelli e conseguentemente dei volumi di esondazione responsabili dei danni verificatesi nel Rione Ferrovia.

I risultati ottenuti rappresentano inoltre una conferma del valore di circa 3000 m^3/s della portata di picco indicata da De Marchi. Tale circostanza ha importanti conseguenze pratiche in quanto il valore di 3000 m^3/s risulta quasi il doppio rispetto a quello di 1840 m^3/s utilizzato nel PSDA-Piano Stralcio per la Difesa dalle Alluvioni dell'ex Autorità di Bacino Nazionale per i fiumi Liri, Volturno e Garigliano, oggi Autorità di Distretto per l'Appenino Meridionale, per la individuazione delle aree allagabili.

La portata utilizzata nel PSDA risulta pertanto minore rispetto alle portate di piena che in almeno tre occasioni negli ultimi 85 anni sono effettivamente transitate lungo il corso del Calore.

Bibliografia

Bovolin V. 2021. *Aspetti idraulici delle alluvioni verificatesi nel Calorea valle della confluenza del Tammaro.* Maiori: Area Blu Edizioni.

Diodato N. 1999. Ricostruzione storica di eventi naturali estremi a carattere idrometeorologico nel sannio beneventano dal medioevo al 1998. Bollettino Geofisico, XXII, 3-4.

Marone V. 1992. *Idraulica*. Napoli: Liguori.

Mazzacca E. 1992. *Fiumi: le piene nel Sannio, fauna ittica, pesca, inquinamenti.* Benevento: AGM.

Palmieri W. 2006. Uomini e dissesti: frane e alluvioni nell'Ottocento molisano. In: *Storia del molise in età contemporanea* (a cura di G. Massullo). Roma: Donzelli Editore.

Pezone M. G. 2006. Trasformazioni urbane a Benevento tra Sei e Settecento: architetti, maestranze e opere tra Roma e Napoli in *Città castelli paesaggi euromediterranei Atti del Sesto Colloquio internazionale di Studi* (a cura di C. Robotti). Lecce: Edizioni del Grifo.

Zazo A. 1949. Lo straripamento del fiume Calore in Benevento nel 1740 e nel 1770. Samnium, XV, 212.

Sitografia

[1] https://beneventoceraunavolta.blogspot.com/

[2] https://avi.gndci.cnr.it/

[3] https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

[4] https://gn.mase.gov.it/portale/home

Giovanna Greco

Borghi abbandonati: il caso di Roscigno e la sua lunga storia, dall'antichità a oggi

Abandoned villages: The case of Roscigno and its long history, from antiquity to today

Sommario
La nota traccia, in rapida sintesi, la storia del popolamento di un territorio nel Cilento interno, strategico per la via di comunicazione tra il Vallo di Diano e la piana pestana. Roscigno diventa famoso, agli inizi del '900, per lo spostamento dei propri abitanti, a causa di una frana, verso un abitato costruito ex novo. Ma la storia di Roscigno e della sua vitalità ben radicata nel territorio inizia sul Monte Pruno, dove già nel corso del VII secolo a.C. si registra un abitato sparso lungo le pendici del colle. Nel corso dei secoli, questo abitato trasforma sia le forme dell'abitare che i modi di vita e si sposta lentamente in altre valli e vallette, sempre nello stesso comprensorio. La lettura del territorio e del paesaggio agrario porta a riflettere sulle modalità dell'abbandono-spopolamento dei borghi agro pastorali, nel corso del '900, fenomeno che pone letture differenti, tra continuità e discontinuità.

Abstract
This paper briefly outlines the history of the population of settlement in an area in the inland Cilento region, strategically located along the communication route between the Vallo di Diano and the Pestana plain. Roscigno became famous in the early 1900s for the displacement of its inhabitants due to a landslide, leading to the construction of a new settlement. Over the centuries, this settlement transformed both forms of living and ways of life, gradually moving to other valleys and small valleys within the same area. The examination of the territory and agricultural landscape leads to reflections on the methods of abandonment and depopulation of the agro-pastoral villages during the 20th century, a phenomenon that presents different interpretations ranging, from continuity to discontinuity.

Premessa
Roscigno è un piccolo paese nel cuore del Cilento più interno; si trova su un leggero rilievo collinare, a 570 m s.l.m.; domina le vallate del Ripiti e del suo affluente

Sammaro ed è dominato dal peculiare profilo del Monte Pruno che si staglia verso Occidente. Non è facile raggiungerlo, nell'incantevole territorio degli Alburni. Per chi arriva lungo la costa tirrenica del salernitano, è la statale 166 a condurlo tra valli e vallette, tra splendidi boschi di macchia mediterranea e fitti castagneti; il corso del Calore lucano e il suo affluente di destra, il Fasanella, segnano ancora oggi il percorso. L'ambiente naturale ha conservato tutta la sua sconcertante bellezza con ampi tratti del tutto incontaminati; è il silenzio delle valli, il fruscio dei boschi, lo scorrere delle acque a segnare l'alterità con il fragore del litorale e della popolosa pianura. La via si snoda da Roccadaspide e Acquara risalendo verso la rocca di Bellosguardo che domina dall'alto la vallata; ai suoi piedi si innesta il bivio della strada provinciale 342, percorso tormentato e accidentato, spesso soggetto agli estesi movimenti franosi determinati dalla natura carsica del territorio. Il paese, nei primi decenni del '900, entra a far parte, forse suo malgrado, del novero dei tanti borghi abbandonati che segnano le forme di spopolamento di tanti centri degli Alburni: una realtà diffusa soprattutto nell'area appenninica e nelle regioni dell'entroterra, dove molte comunità montane e rurali, rimaste tagliate fuori dalle grandi trasformazioni urbane e territoriali del XX secolo, lentamente lasciano i loro paesi. In Figura 1 si può vedere la carta topografica di Roscigno.

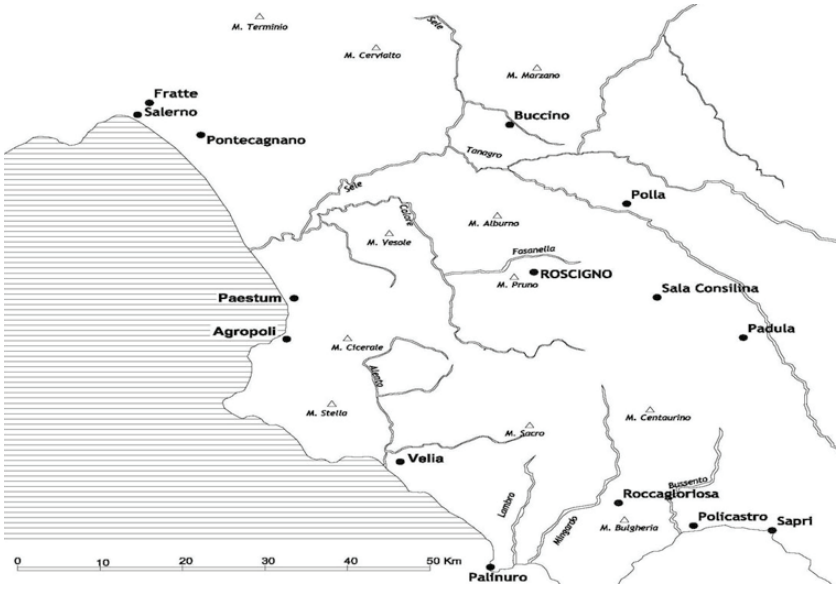


Fig. 1 – Roscigno nel contesto topografico (Archivio del DSU - Dipartimento di Studi Umanistici della Università degli Studi di Napoli Federico II).

La storia plurimillenaria di Roscigno restituisce un caso emblematico di studio per comprendere quanto incidono le trasformazioni del modo di vivere nelle forme del popolamento e nelle strutture dell'abitare e quali siano i meccanismi che determinano lo spostamento di case e abitanti in uno specifico comprensorio territoriale. Bisogna andare molto a ritroso nel tempo per cogliere le dinamiche all'origine di un abbandono di un abitato, per ricostruirlo, rimodularlo in un altrove dello stesso territorio, preservando quel fragile equilibrio tra antropizzazione e territorio.

La storia plurisecolare dei "villaggi abbandonati" registra modelli diversificati delle cause di un abbandono: dalle distruzioni violente determinate da guerre e invasioni a fatti naturali quali sismi, frane, pestilenze e quant'altro; la lettura del fenomeno registra fenomeni articolati di continuità e sovrapposizioni di abitati che si addossano e si accrescono mutando modelli e disegni delle strutture abitative, così come quelli della discontinuità dove è la scelta di uno spazio differente a dettarne le dinamiche. Entrambe sono l'esito di lunghi processi di trasformazione dei modi e degli stili di vita delle comunità e, al contempo, di una continuità-discontinuità nel popolamento di uno stesso territorio.

Abitare diffuso

Il caso di Roscigno rientra nella casistica della discontinuità ma al contempo conserva forti elementi di una continuità e di un conservatorismo identitario, dove diventa centrale il rapporto con il territorio e il paesaggio agrario; infatti, a fronte di una perseveranza secolare di popolamento nello stesso ambito, ben documentata dalla ricerca archeologica e d'archivio, si registrano tuttavia multiformi aspetti di discontinuità puramente topografica, di spazi alternativi, sempre tuttavia nei confini di quella dimensione paesaggistica disegnata dal Monte Pruno e dalle sue pendici. La conformazione del territorio, tra cime, valle, vallette, sorgenti e corsi d'acqua, determina fortemente le scelte del dove abitare come le forme strutturali dell'abitare. Si rimane fortemente radicati nel territorio, ma le dinamiche del popolamento variano come variano i modi e gli stili di vivere: dall'insediamento sparso, un abitare diffuso a controllo di valichi e corsi d'acqua, a quello difeso dalle mura, vero e proprio abitato d'altura. Nei lunghi processi storici che investono questo comprensorio, a Roscigno si torna, nell'epoca della romanizzazione, a un popolamento delle campagne, per restringersi poi a un villaggio di monaci emigranti che darà origine al "casale" trasformato in borgo medievale che, nella modernità, viene abbandonato.

Se inquadriamo la vicenda di Roscigno nelle dinamiche territoriali che stanno venendo alla luce, allora bisognerà riflettere anche sul valore e sul significato da dare alla facile etichettatura di villaggio abbandonato, dove sono piuttosto il parametro dello spopolamento e le dinamiche che tale fenomeno sottende a fare la differenza: lo spopolamento è determinato da una complessità di fattori, tra cui i principali sono

proprio il mutato equilibrio tra popolamento e risorse territoriali, vie di comunicazione, sostenibilità ambientale.

La storia di Roscigno Vecchia, *il paese che morì per sbaglio*, si snoda, negli studi come nella pubblicistica, tra tardo Medioevo e modernità; se andiamo a ritroso nel tempo, le prime evidenze materiali di un'antropizzazione di questo territorio attestano la presenza di una comunità indigena che lo domina e lo controlla, nell'antichità. La ricerca archeologica di questi ultimi decenni racconta, con dovizia di documentazione materiale, la storia di un lento e progressivo popolamento delle valli e dei rilievi collinari che caratterizzano questo ambito territoriale; materiali sporadici, raccolti in superficie, attestano forma di antropizzazione sin dalla preistoria, ma è l'arrivo di gruppi di Italici, nel corso dell'Età del Ferro, nell'VIII secolo a.C., a restituire tracce di abitati e di organizzazione del territorio da parte di una società articolata e composita.

Il popolamento è articolato e vasto: nuclei di abitazioni, ancora capanne, con accanto le proprie necropoli costellano le vallette e le pendici del monte, mentre sul pianoro centrale insiste un nucleo più compatto e organizzato, punto di riferimento di tutta la comunità sparsa nelle campagne circostanti. Un notevole incremento demografico si registra nel corso del VI sec. a.C.; il suo riflesso, nel territorio di Roscigno, si ha nella documentazione materiale, dove si registrano numerosi nuclei abitativi ma, in modo particolare, nella cultura materiale compaiono segni parlanti di comunità articolate socialmente al loro interno, con un'aristocrazia dominante che, nella composizione dei corredi funerari, manifesta la propria ricchezza e il proprio potere. Le genti che popolano questo splendido territorio hanno un proprio rituale funerario, l'inumazione nella nuda terra con il cadavere rannicchiato su un fianco, comune e diffuso tra le genti della sponda adriatica.

Nell'eterno migrare tra territori, da una sponda all'altra dei mari, un gruppo umano proveniente dall'area adriatica, seguendo la direttrice fluviale del Bradano e dell'Ofanto, raggiunge l'area della Basilicata centro settentrionale, dove nascono centri importanti quali Serra di Vaglio o Satriano; il facile percorso attraverso l'ampia vallata del Vallo di Diano porta nel comprensorio di Atena Lucana queste genti che, attraverso l'agevole valico della Sentinella, raggiungono la valle del Calore e si espandono nei nuovi territori raggiungendo il Monte Pruno di Roscigno e proseguendo fino a Buccino.

Le fonti antiche parlano di *Peuketiantes*, una popolazione di origine peuceta, portatori di una propria cultura che, muovendosi dall'area apula, si espandono nel vasto comprensorio territoriale definito "nord lucano".

In Figura 2 è mostrato il territorio dei *Peuketiantes*. Non è solo il rituale del seppellimento con il cadavere rannicchiato ma anche il repertorio formale e decorativo del vasellame a presentare forti affinità con il mondo apulo, rivelando una comune radice culturale, "alla maniera dei Peuceti".

Fig. 2 – Espansione dei Peuketiantes dall'area apula a quella tirrenica (Archivio del DSU - Dipartimento di Studi Umanistici della Università degli Studi di Napoli Federico II).

La scelta del sito dove impiantare l'insediamento ricade su un rilievo collinare, il Monte Pruno, in Figura 3, che con i suoi oltre 800 metri domina e controlla un agevole transito che dal Vallo di Diano si snoda fino alla costa tirrenica; non a caso viene chiamato il balcone degli Alburni e cristallizza, nel tempo, il comprensorio territoriale di Roscigno.

Fig. 3 – Monte Pruno (Archivio del DSU - Dipartimento di Studi Umanistici della Università degli Studi di Napoli Federico II).

La comunità che popola il territorio del Monte Pruno, già tra l'VIII e il VII secolo a.C., occupando vaste aree e consolidando il controllo delle vie d'accesso e di transito nel corso del VI secolo e fino al calare del V sec. a.C., è ben strutturata, al suo interno, per classi sociali, ben rappresentate dai rituali di sepoltura anche di tipo elitario, come la cremazione, e dalla ricchezza degli oggetti del corredo funerario, si veda la Figura 4; è una comunità niente affatto isolata, ma in rapporti di scambio sia con l'area tirrenica ellenizzata che con quella etrusco-campana, così come testimoniano gli oggetti di pregio esibiti nei corredi funebri: splendide ambre figurate, elmi in bronzo, ceramiche raffinate provenienti

Fig. 4 - La collana d'ambra da una sepoltura principesca.

da diverse botteghe artigianali, sono tutti elementi che parlano di comunità fiorenti, popolose e ben strutturate.

La configurazione di un abitato diffuso riflette un modello ben noto presso le genti indigene dell'Italia antica, funzionale all'organizzazione delle comunità per gruppi familiari che così popolano e occupano territori vasti traendo ricchezza e prosperità non solo dallo sfruttamento agricolo di un territorio molto ampio ma, soprattutto, dal controllo delle fonti d'acqua e dei valichi e dei percorsi per commerci e scambi tra le aree interne e la costa tirrenica e adriatica.

Un villaggio d'altura

Questa società che ha dominato sin dai decenni finali dell'VIII sec. a.C., entra in crisi sul calare del V secolo a.C. quando in tutta l'area meridionale si registra un considerevole spostamento di genti che, dall'arco appenninico si muove verso le coste; sono i Lucani, di stirpe sannitica che, muovendosi dalle sedi originarie appenniniche, si espandono verso la piana costiera; prendono il predominio a Cuma, arrivando a Napoli e, nei decenni finali del secolo, sono già nella piana pestana e *Poseidonia* muta il suo nome nella *Paistom* lucana.

I Lucani, espandendosi verso le direttrici viarie segnate dai corsi fluviali, raggiungono le aree interne, diventano i nuovi signori del territorio. Mutano le forme strutturali dell'abitato pur rimanendo saldamente fissate sul pianoro del Monte Pruno, posizione troppo strategica di controllo delle vie di transito da poter essere abbandonata; il villaggio che si struttura sul pianoro, centrale per tutta la comunità, assume forme strutturali e modelli planimetrici nuovi con unità abitative articolate tra spazi coperti e spazi scoperti e con unità funzionali alla lavorazione artigianale; questo abitato

viene circondato e difeso da un possente muro fortificato. Tuttavia, l'occupazione di valle e vallette, fuori dalla cinta muraria, con strutture di tipo agricolo quali fattorie-ville rustiche, è ben estesa e si espande nella piana costeggiando un antico tratturo, "la trazzera degli stranieri", che da sempre costituisce l'arteria di collegamento verso il Vallo di Diano; va sottolineato come questa arteria svolga la sua funzione già con i *Peuketiantes* che, probabilmente, sono stati tra i primi a tracciarla, successivamente con i Lucani, i Romani, i monaci basiliani e, scorrendo il tempo della storia fino alla modernità, con i pastori che, lungo questo tratturo ancora alla metà del XX secolo portavano le greggi dall'alpeggio al fiume e al mare.

Con i Lucani, l'abitato di Roscigno assume la forma propria di un abitato d'altura, circondato da un'imponente fortificazione che lo racchiude e lo protegge; le mura, a doppia cortina con briglie di contenimento delimitano un'area molto più vasta rispetto all'abitato sul pianoro, funzionale ad accogliere, nei momenti di pericolo, le comunità che vivono sparse nelle campagne.

La cinta fortificata è organizzata con torri, porte difese da torrette, postierle. Costruita nei decenni finali del IV sec. a.C., viene restaurata e ristrutturata nel corso del III sec. a.C. e svolge la sua funzione difensiva fino, forse, ai primi decenni del II sec. a.C., quando un fenomeno, non sappiamo ancora se bellico o naturale, ne causa il crollo; le case sul pianoro registrano segni di crolli, grosso modo nello stesso arco di tempo e l'abitato d'altura perde la sua funzionalità; la vita della comunità assume un nuovo modello abitativo che si espande in spazi e luoghi alternativi al pianoro, come la ricerca archeologia ha testimoniato.

Nella valletta di Cuozzi, alle falde meridionali del Monte Pruno, la "villa rustica" costruita dai Lucani alla metà circa del IV sec. a.C. continua a vivere e produrre; intorno al nucleo padronale si aggregano altri vani e ambienti; la presenza di un *ambitus*, un vicoletto, suggerisce la strutturazione di un piccolo nucleo insediativo che, con la villa, va a coprire una superficie di circa 500 m^2 con affioramenti superficiali di cocciame e laterizi, tutto ancora da mettere in luce

Questa nuova realtà abitativa vive ancora nel corso del II secolo a.C., periodo al quale si data un livello di bruciato e crollo dei tetti che, ancora una volta, non siamo in grado di definire se dovuto a eventi naturali o bellici. Ciò che interessa sottolineare, in questa sede, è piuttosto la continuità di vita della comunità che, seppure con diverse conformazioni dell'abitato continua a popolare quel comprensorio territoriale, ben definito, da sempre, dalla sagoma del Monte Pruno e delle sue pendici.

Ville rustiche e fattorie

Con la romanizzazione e la distribuzione delle terre ai veterani, si trasformano, ancora una volta, sia l'organizzazione dell'insediamento che quello dello sfruttamento delle terre. L'impianto delle ville rustiche, funzionali ai grandi latifondi, segna nuove modalità dell'insediamento del quale ancora non conosciamo gli aspetti strutturali;

molti materiali raccolti in superficie, lembi di necropoli e di strutture in opera reticolata segnalano la vita nel territorio, in piena età romana. La comunità di genti che nel corso dei secoli ha popolato il territorio, pur nelle ovvie discontinuità e trasformazioni dei lenti processi storici, non abbandona mai questo territorio, ma sposta, modifica, ricostruisce il proprio abitato.

Una moneta di bronzo del regno di Costante (333-350) raccolta sul pianoro del Monte Pruno è una delle tante spie della presenza di un *vicus* ancora vitale nel periodo tardo antico, del quale non conosciamo ancora la dimensione e la forma. Muta, ancora una volta, il rapporto tra territorio e stanziamento della comunità; con la romanizzazione e la nascita dei latifondi e delle vaste proprietà terriere determinate dalla grande riforma agraria romana e, successivamente, dalla formazione dei feudi, il territorio e, in parallelo, le forme e i modi dell'abitare, si trasformano e assumono sempre più il carattere agricolo e pastorale che caratterizzerà la comunità di Roscigno, nel corso del tempo.

Da Cenobio a Casale, a Borgo rurale

Una comunità di monaci basiliani fuggiti dall'Oriente, si rifugia nel territorio del Monte Pruno; i documenti d'archivio, che portano la data 1052, segnalano la cessione di un cenobio da parte del monastero italo-greco di Santa Sofia di Salerno al monaco greco Nicola *villanu de monachi greci.* Non si conosce con precisione la località, ma l'area è nota con il toponimo di *piano* o *il piano* e uno dei corsi d'acqua torrentizi che vanno poi a sfociare nel fiume Ripiti porta il nome di Piano e scorre in una valletta dominata da un leggero rilievo collinare; è la configurazione peculiare di tutto il versante meridionale del Monte Pruno, lungo il percorso che porta alla costa tirrenica e alla piana pestana. Nel documento viene specificato che il monastero, di rito greco, era dedicato a Santa Venere; nella moderna toponomastica è nota una località Vallone di Santa Venera, leggermente a sud rispetto all'area dove si andrà sviluppando il Casale Russino.

Porta la data del 1086 un documento conservato negli archivi dell'Abbazia di Cava de' Tirreni, primo riferimento al Casale Russino appartenente alla famiglia del conte Giordano, signori di Corleto, che segnala un agglomerato abitativo sviluppatosi intorno alla chiesetta che, nel frattempo, era passata sotto la giurisdizione della Badia di Cava «*ecclesia sancte Vennere de Russigno*». I signori di Corleto, concedendo agli abitanti di Russino il diritto al pascolo, alla legna e alla coltivazione, affermano la loro podestà sul territorio dove impiantano casolari e stazioni di posta per le greggi, nella zona di passaggio, ricca di acque, segnata dai corsi del Ripiti e del Sammaro. Si sviluppa un abitato agro- pastorale che, nel 1457 viene assegnato da Ferrante d'Aragona alla famiglia dei Sanseverino; la struttura architettonica del borgo riflette le componenti proprie dei tanti villaggi rurali che popolano le campagne e conservano la loro millenaria funzione di transito e controllo delle vie di percorrenza tra aree interne e la costa.

Tra il 1500 e il 1600, il borgo passa nella disponibilità e proprietà della famiglia Caracciolo e già si hanno le prime notizie di frane e smottamenti con i primi trasferimenti degli abitanti. In un documento seicentesco il borgo è inserito nel ducato della famiglia Villani mentre si ha notizia, alla fine del 1700, dell'abbattimento della Chiesetta di San Nicola divenuta pericolosa per le troppe lesioni, che viene ricostruita appena più a monte, su una collinetta a Nord. Infine, nel Dizionario Geografico del Regno di Napoli, redatto da Giustiniani nel 1804, il paese è citato nella sua forma attuale: Roscigno viene descritto «situato su una collina, ove respirasi buona aria e il territorio produce frumento, vino, olio, ghiande per l'ingrasso degli animali; è abitato da circa 1000 individui».

Frane e smottamenti del terreno si susseguono con continuità nella vita del paese che comunque continua a vivere, adattando le proprie strutture alle variazioni di un terreno fragile, compreso tra due corsi d'acqua; già nel corso del 1600 si registrano rifacimenti e ristrutturazioni che continuano ancora nel corso del 1700. Il piccolo borgo si sviluppa nel corso del 1800 e consolida tratti urbanistici e architettonici propri dei tanti centri agro-pastorali del meridione d'Italia: lo schema allungato sul dolce pendio collinare è determinato proprio dalla continua ricerca di un terreno solido, seguendo le curve di livello; qualche palazzotto signorile con i portali e gli stemmi in pietra, semplici case con stalle e depositi, strette viuzze che portano alla chiesa settecentesca e alla grande piazza circolare con al centro la fontana che diventa il centro vitale del borgo, sono gli elementi strutturali che danno forma al paese.

È il sisma del 1857 ad arrecare notevoli danni all'abitato, avviando anche un lento processo di spopolamento che accomuna Roscigno a tante altre realtà diffuse nel nostro territorio; per altro, nei decenni finali del 1800 si infittiscono i sopralluoghi, le relazioni degli ingegneri inviati dal Genio Civile, i progetti di restauro a fronte dei tanti edifici pericolanti; in molti di questi progetti si comincia realmente a configurare la necessità di un trasloco degli abitanti. I tanti documenti di archivio raccolti da Maria Laura Castellano raccontano delle difficoltà abitative, dei disagi, delle difficoltà economiche e politiche; per altro è proprio in quegli anni che si deve registrare, anche a Roscigno, l'avvio di quel fenomeno migratorio alla base dello spopolamento di questi piccoli centri montani; numerosi sono i nuclei familiari di Roscignoli che partono per l'America o il Venezuela. Ma è agli inizi del '900 che la storia del paese conosce una svolta dirompente; la natura cretosa della collinetta, i corsi torrentizi che circondano la collinetta e che da sempre hanno contribuito alla instabilità del terreno e determinato continue micro frane rendendo sempre più fragili gli edifici, porta a un'ordinanza del Genio Civile che impone lo sgombero dell'intero villaggio, lo spostamento della popolazione e la costruzione di un nuovo centro su un'altura adiacente, a Nord, poco più a monte (Legge speciale per i paesi franosi del 7 Luglio 1902 n. 301 e del 9 Luglio 1908 n. 445).

Fig. 5 – Un angolo di Roscigno vecchia.

La frana non si è mai mossa; il villaggio si è svuotato; divenuto villaggio abbandonato è rimasto cristallizzato nel tempo con la grande piazza circolare, la chiesa con il basso e tozzo campanile; tutto fermo, soggetto a un lento degrado dove ancora oggi si coglie una dignitosa monumentalità. Un posto incantato, una città rudere, la "Pompei del Novecento", riconosciuta dall'Unesco patrimonio dell'Umanità.

In realtà, il villaggio non è mai stato abbandonato: tra passaggi di greggi e di contadini che lo attraversavano per raggiungere i propri poderi o utilizzavano la propria casa o la stalla per stipare il raccolto e custodire gli animali, il paese vecchio ha convissuto con il nuovo che si andava sviluppando appena più in alto, dove era stata ricostruita la Chiesetta di San Nicola, la prima a cedere alle frane.

In Figura 5 un angolo di Roscigno vecchia come si presenta oggi ai "viaggiatori".

Il villaggio abbandonato nella modernità

Il paese *che morì per sbaglio* vive, oggi, un'altra storia, tutta nella modernità; numerose équipe universitarie di architetti, antropologi, geologi e storici, italiani e stranieri, hanno scoperto le potenzialità di ricerca e conoscenza che il "paese fantasma" custodisce. Roscigno entra così a far parte di un filone culturale e di ricerca, sviluppatosi nei decenni finali del XX secolo, che studia l'architettura del paesaggio, le trasformazioni urbane e il recupero architettonico dei borghi abbandonati; l'attenzione è posta al territorio, alla rete viaria, alle rete produttiva, alle basi strutturali dell'organizzazione del territorio e delle dinamiche sociali.

La legge speciale per la salvaguardia dei Borghi (n.158 del 6 Ottobre 2017) e la Rete Regionale per i borghi abbandonati hanno focalizzato l'attenzione su queste realtà che vengono analizzate come veri e propri siti archeologici della contemporaneità e dunque indagate con quelle problematiche proprie del recupero e del restauro archeologico che, in parallelo, si stanno applicando nel più antico insediamento di Roscigno, sul Monte Pruno e che hanno portato all'elaborazione di progetti di recupero e fruibilità con la finalità di restituire nuova vita a questi abitati. Per Roscigno vecchia sono state avanzate tante diverse proposizioni progettuali con l'obiettivo dichiarato di preservare l'agglomerato architettonico come luogo della memoria, farlo diventare un parco rurale, una "città museo" dove poter studiare l'architettura contadina e la vita quotidiana di un insediamento agro-pastorale produttivo e ancora vitale fino alla prima metà del XX secolo.

Ma per cogliere appieno le dinamiche che portano alla definizione di Roscigno di *paese che cammina*, centrale è la lettura del territorio, la trasformazione del paesaggio e, parallelamente, un diverso modo di sfruttarne le risorse. La sua storia, contestualizzata e analizzata sulla lunga distanza storica, racconta una radicalizzazione profonda sempre nello stesso territorio dominato dal Monte Pruno; tra continuità e discontinuità, il popolamento delle valli e il controllo dei valichi hanno conformato le strutture dell'insediamento che, nel corso del tempo si è continuamente rapportato alle modificazioni naturali, al ridisegno del paesaggio agricolo- pastorale, ai percorsi, ai collegamenti, sfruttandone sapientemente le risorse; la capacità di adattamento al territorio diventa la vera natura identitaria del paese che, anche se cammina, cresce e prospera sempre nelle stesse valli e vallette. I fenomeni di spopolamento si registrano, come già detto, quando mutando i modi e gli stili di vita, cambiano anche radicalmente le esigenze di sfruttamento del territorio agricolo, ma soprattutto perdono vitalità le direttrici viarie; si rompe il fragile equilibrio tra antropizzazione e territorio; e non è tanto la frana a determinare un abbandono, quanto piuttosto la marginalità territoriale in rapporto agli sviluppi economici e sociali che più agevolmente si andavano affermando nelle piane costiere; nella realtà materiale, il comprensorio del Monte Pruno, non è mai stato abbandonato ma si è andato inesorabilmente spopolando. La continuità di vita tra paese vecchio e paese nuovo è ancora oggi costante e vitale. Il legame con il vecchio non si è mai realmente interrotto e la riscoperta di un abitato sul Monte Pruno, risalente ancora più indietro nel tempo, ha ancor più consolidato, nella comunità roscignola, la consapevolezza delle proprie radici ancorate fortemente al suo splendido territorio.

Bibliografia di riferimento

Notizie storiche

Ebner P. 1979. *Economia e società nel Cilento Medievale*. Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.

Ebner P. 1982. *Chiesa, baroni e popolo nel Cilento*. Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.

Roscigno Vecchia

Ciarallo A., Capaldo L. 1984. Roscigno Vecchia. Napoli nobilissima, XXIII, 212- 215.

Castellano M.L., Palmieri F. 2008. *Il paese vecchio e il paese nuovo. Storia di Roscigno e dei suoi trasferimenti.* Napoli: Giannini.

Il tema dei borghi abbandonati

Berizzi L., Rocchelli L. 2019. *Borghi rinati. Paesaggi abbandonati e interventi di rigenerazione.* Padova: Il Poligrafo.

Russo V., Pollone S., Romano L. 2020. Borghi storici, rovine, monumenti. Esperienze e prospettive di ricerca sui centri storici abbandonati in ambito italiano, ArcHistoR, Extra 7, 789-817.

Tarpino A. 2012. *Spaesati. Luoghi dell'Italia in abbandono tra memoria e futuro*. Torino: Einaudi.

Teti. V. 2017. *Quel che resta. L'Italia dei paesi, tra abbandoni e ritorno*. Roma: Donzelli Editore.

Scavi e scoperte a Monte Pruno di Roscigno

de La Genière J. 1964. Alla ricerca di abitati antichi in Lucania (prima ricognizione). In: *Atti e Memorie della Società Magna Grecia*, V, 129-138.

de La Genière J. 1961. Ambre intagliate del Museo di Salerno. Apollo, 1, 175-188.

Ferrara B. 2015. Ambre da Roscigno-Monte Pruno: per una revisione del "gruppo Roscigno". Analysis Archaeologica. An International Journal of Western Mediterranean Archaeology, 1, 137-161.

Ferrara B. 2014. Roscigno, Monte Pruno. Segni di trasformazione nell'insediamento tra la fine del V ed il IV sec.a.C. In: *Segni di appartenenza e identità di comunità nel mondo indigeno* (a cura di G. Greco e B. Ferrara), 183-233. Pozzuoli: Naus.

Greco G. 2002. *Roscigno, Monte Pruno. Un insediamento indigeno tra Paestum e il Vallo di Diano.* Pozzuoli: Naus.

Greco G. 2010. Tra Greci ed Indigeni: l'insediamento sul Monte Pruno di Roscigno. In: Grecs et indigènes de la Catalogne à la Mer Noire, Atti degli Incontri del Programma europeo "Ramses 2" (2006-2008) (a cura di H. Tréziny), 187-199. Aix-en-Provence: Publications du Centre Camille Jullian, Éditions Errance.

Greco G. 2016. Roscigno: tra la città rudere e i ruderi del Parco Archeologico del Monte Pruno. Territori della cultura, 23, 24-39.

Greco G., Tardugno M.L. 2018. Rituali di cremazione nell'insediamento indigeno di Rocigno. In: *Atti e Memorie della Società Magna Grecia*, V, III, 139-175. Pisa: Fabrizio Serra Editore.

Holloway R.R., Nabers N. 1982. The Princely Burial of Roscigno (Monte Pruno), Salerno. Revue des archéologues et historiens d'art de Louvain, 15, 97-163.

Romito M. 1993. Agli inizi della ricerca archeologica nel salernitano: entusiasmi e gelosie nell'esempio di Roscigno. In: s.a. *Archeologia e Arte in Campania*, 31-59. Salerno: Società Dante Alighieri.

THE STRAIT OF MESSINA BRIDGE

IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA

Giorgio Diana, Filippo Calamelli

The evolution of super-long span bridge decks, from Tacoma to Messina

L'evoluzione degli impalcati nei ponti di grandissima luce, dal Tacoma al Messina

Abstract
Suspension bridges are the only feasible solution to reach a span length higher than 1.100 m. The impact of turbulent winds on such structures is crucial and may lead to aeroelastic instabilities, i.e. one-degree-of-freedom instabilities or two-degree-of-freedom flutter instabilities. Following the well-known collapse of the Tacoma Bridge in 1940, the design of long-span bridge decks has evolved to address these challenges, resulting in the last decade in the development of the "Messina type" multi-box deck. This paper begins by outlining the primary challenges caused by turbulent wind on suspension bridges, followed by the presentation of the engineering solutions implemented to address them.

Sommario
I ponti sospesi sono l'unica soluzione praticabile per raggiungere lunghezze di campata superiori a 1.100 m. L'impatto dei venti turbolenti su tali strutture è significativo e può portare a instabilità aeroelastiche, in particolare instabilità a un grado di libertà o a due gradi di libertà, anche chiamata instabilità di flutter. Dopo il noto crollo del Tacoma Bridge nel 1940, la progettazione degli impalcati di ponti a grande luce si è evoluta per affrontare queste sfide ingegneristiche, portando nell'ultimo decennio allo sviluppo dell'impalcato multi-box di tipo "Messina". Il presente documento inizia delineando i problemi indotti dal vento turbolento sui ponti sospesi, in seguito vengono presentate le soluzioni ingegneristiche adottate per affrontarli.

Introduction
This work aims to describe how super-long span bridge decks have evolved over time, mainly from an aerodynamic point of view. In long-span bridges, the deck is a fundamental component that, with its aerodynamic shapes, influences the maximum span length. We will focus on suspension bridges which, for spans longer than 1.000-1.100 m, represent the only feasible solution. A historical overview regarding

the development of super-long span bridges is presented, mainly focusing on the aerodynamic solutions employed to overcome wind-induced issues.

In 1940, the famous collapse of the Tacoma Bridge led researchers and engineers to investigate the aeroelastic effects on long-span bridges, which before were not considered. The cause of the collapse was identified as a torsional one-degree-of-freedom, 1 d.o.f., instability, which is typical of deck sections characterized by a negative derivative of the moment coefficient with respect to the wind angle of attack. This problem was overcome by designing deck sections with a wing-like shape, i.e. the Humber Bridge or the Great Belt Bridge. Nevertheless, this solution, in the case of spans longer than 1.600 m, can lead to a two-degrees-of-freedom, 2 d.o.f instability, known as flutter instability. Specifically, as the wind speed increases, the frequency of the torsional vibration mode tends to decrease and overlap with that of the corresponding vertical one. When the motions are synchronized, flutter instability is triggered. Therefore, to solve the problem of the flutter instability in the Messina Strait Bridge, featuring a main span 3.300 m long, multi-box deck sections were introduced. These sections are characterized by a significantly lower derivative of the moment coefficient if compared to the single-box ones.

In this paper, wind-induced problems on long-span bridges are initially introduced. Subsequently, the design solutions employed to overcome the aeroelastic problems of suspension bridges are presented, starting with the Tacoma Bridge and ending with the Messina Strait Bridge.

Wind-induced problems on bridges

Turbulent wind blowing on a bridge produces static and dynamic actions. For shorter bridges, i.e. with the main span in the order of 100 m or less, wind-induced effects are typically not critical. However, as the span length increases, the bridge motion caused by wind becomes more and more significant. To deeply investigate the response of a long-span bridge subjected to turbulent wind, it is necessary to define the aerodynamic forces on all its components, i.e. deck, towers, cables and hangers. However, the deck is the most sensitive part to the wind action and consequently, this section will focus on analyzing the aerodynamic forces acting on this component. The static loads acting on a bridge deck are due to the mean wind speed. These loads are a function of the deck aerodynamic coefficients and of the wind angle of attack. On the other hand, the dynamic effects are related to the turbulence of the incoming wind, also known as buffeting response, and to the aeroelastic forces induced by the motion of the deck itself. The variation of these latter can modify the structural properties of the bridge, potentially leading to aeroelastic instability phenomena. Several kinds of instability may arise, including 1 d.o.f. instabilities in the vertical or torsional direction as well as 2 d.o.f. resulting from the coupling of vertical and torsional motions, commonly called flutter instability. Finally, also Vortex-Induced Vibrations-VIV can be crucial for the design of long-span bridges.

Static actions

As previously mentioned, the mean wind speed generates a static load applied to all the elements of the bridge, i.e. deck, towers, cables and hangers. For long-span bridges, the static force on the deck is the most relevant one. It is transmitted to the towers passing through the hangers and cables leading to a bending moment that can potentially affect the design of the structure. Therefore, to reduce the load at the top of the towers, the deck shape should be optimized to keep the drag coefficients as small as possible.

Dynamic actions: the Quasi-Steady Theory

The Quasi-Steady Theory-QST is a non-linear analytical method to predict the aerodynamic forces on a bridge deck as a function of its motion and wind turbulence. This approach correctly reproduces the wind action only if the reduced velocity is higher than 20-25. The reduced velocity is a key parameter to understand the physics of the interaction between the wind and the deck motion. It is defined as:

$$V^* = \frac{U}{f \cdot B} \tag{1}$$

with U mean wind speed, f vibration frequency and B deck chord. V^* can be interpreted as the ratio between the period of oscillation of the structure, i.e. $T = 1/f$, and the time B/U required for a fluid particle to cross the deck. High values of V^* mean that the aerodynamic forces are computed using the static aerodynamic coefficients and, as wind speed input, the relative velocity with respect to the deck motion as in Figure 1.

The "Corrected" Quasi-Steady Theory-CQST was introduced by Diana *et al.* (1995) to properly take into account the deck angular velocity. Referring to an iso-

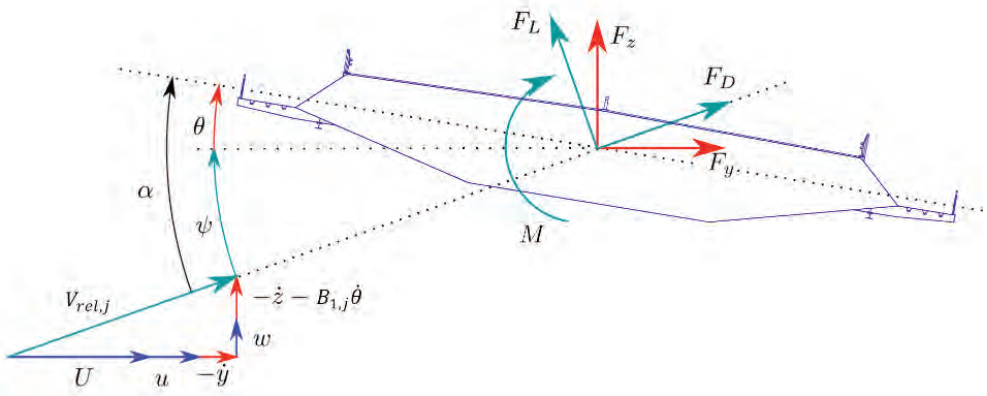


Fig. 1 - Sign convention.

lated deck section of length L characterized by three degrees of freedom, i.e. lateral y, vertical z and torsion θ, see Figure 1, the CQST formulation of the aerodynamic forces is as follows:

$$\begin{aligned} D(t) &= \frac{1}{2}\rho BL\left[V_{\text{rel},D}(t)\right]^2 C_D\left[\alpha_D(t)\right] \\ L(t) &= \frac{1}{2}\rho BL\left[V_{\text{rel},L}(t)\right]^2 C_L\left[\alpha_L(t)\right] \\ M(t) &= \frac{1}{2}\rho B^2 L\left[V_{\text{rel},M}(t)\right]^2 C_M\left[\alpha_M(t)\right] \end{aligned} \tag{2}$$

with C_D, C_L, C_M respectively drag, lift, and pitch moment coefficients ρ air density, $V_{\text{rel},j}$ instantaneous relative wind velocity and α_j instantaneous angle of attack. The j index, with $j = D, L, M$, is introduced in the notation since the CQST takes into account, in the formulations of the relative velocity and the angle of attack, different values of $B_{1,j}$ for the drag, lift and moment aerodynamic forces. Specifically:

$$\begin{aligned} V_{\text{rel},j}^2 &= \left(U + u - \dot{y}\right) + \left(w - \dot{z} - B_{1,j}\dot{\theta}\right)^2 \\ \alpha_j &= \theta + \psi_j = \theta + \tan^{-1}\left(\frac{w - \dot{z} - B_{1,j}\dot{\theta}}{U + u - \dot{y}}\right) \end{aligned} \tag{3}$$

with α_j angle of rotation of $V_{\text{rel},j}$ with respect to the horizontal. u and w are the longitudinal and the vertical components of the incoming turbulent wind. The values of $B_{1,j}$ are identified from the flutter derivatives at high V^* (Diana *et al*., 2015). From the formulation reported above it is possible to note that the aerodynamic forces on a bridge deck section are a function of the incoming turbulence, i.e. buffeting contribution, and of the deck motion, i.e. self-excited contribution. Moreover, it is necessary to define the static aerodynamic coefficients, which are typically identified with wind tunnel tests on deck sectional models, see Figure 2.

One-degree-of-freedom aerodynamic instabilities

As mentioned in the previous section, the motion of the deck generates aeroelastic forces which can modify the structural properties of the bridge, leading to potential aeroelastic instabilities. The latter are governed by the derivatives, with respect to the angle of attack α of the lift and moment coefficients. When the lift derivative is negative, aeroelastic forces tend to reduce the damping related to the structure's vertical motion. Therefore, when the total damping, i.e. structural damping + aero-

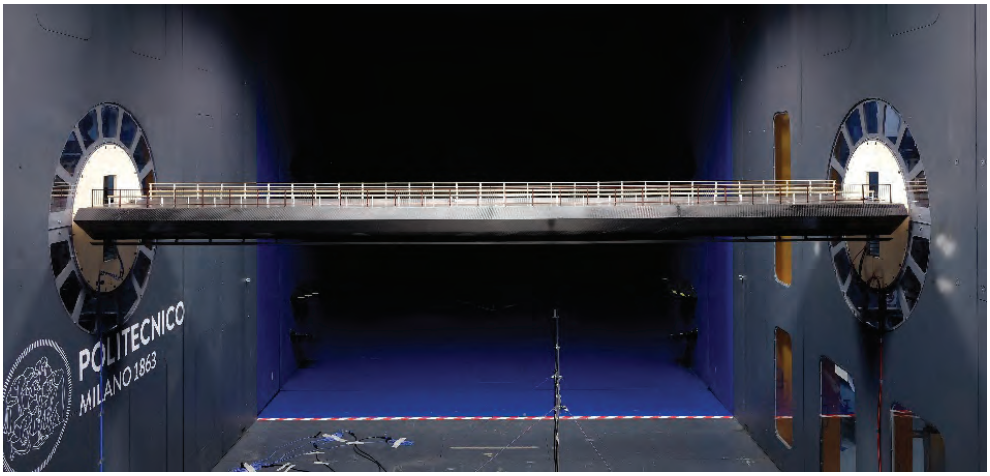


Fig. 2- Example of deck sectional model: Gjemnessund Bridge, Norway (Andersen *et al*., 2022) *in the high-speed test section of Politecnico di Milano*

dynamic damping, is negative, energy is introduced into the system and an instability condition is generated. The mean wind speed at which the system is unstable is called the critical velocity. The same 1 d.o.f. instability can occur torsionally if the derivative of the moment coefficient is negative.

Two-degrees-of-freedom aerodynamic flutter instability

Flutter instability is characterized by the coupling of the bridge's vertical motion with the torsional one. The frequencies of the latter, which in the absence of wind are greater than the vertical ones, tend to become equal due to the aeroelastic forces. The two motions become synchronized leading to the introduction of energy into the system, ultimately resulting in a flutter instability. Also in this case the phenomenon is governed by the derivative of the moment coefficient with respect to the effective angle of attack α. Specifically, in case of positive value, which is needed to avoid 1 d.o.f. instabilities as previously stated, the aeroelastic forces tend to reduce the overall torsional stiffness and thus, the related frequency of motion. Since in long-span bridges the torsional frequency is physiologically higher than the corresponding vertical one, when they become closer one to each other flutter instability is triggered.

Flutter instability is one of the most important problems that affect very long-span bridges since, increasing the span length, the ratio between the torsional modal frequencies and the corresponding vertical ones decreases, see Figure 3. Therefore, the wind speed at which the modes synchronize reduces significantly as the length of the span increases. The stability of a long-span bridge can be investigated experimentally in the wind tunnel employing an elastically suspended deck sectional

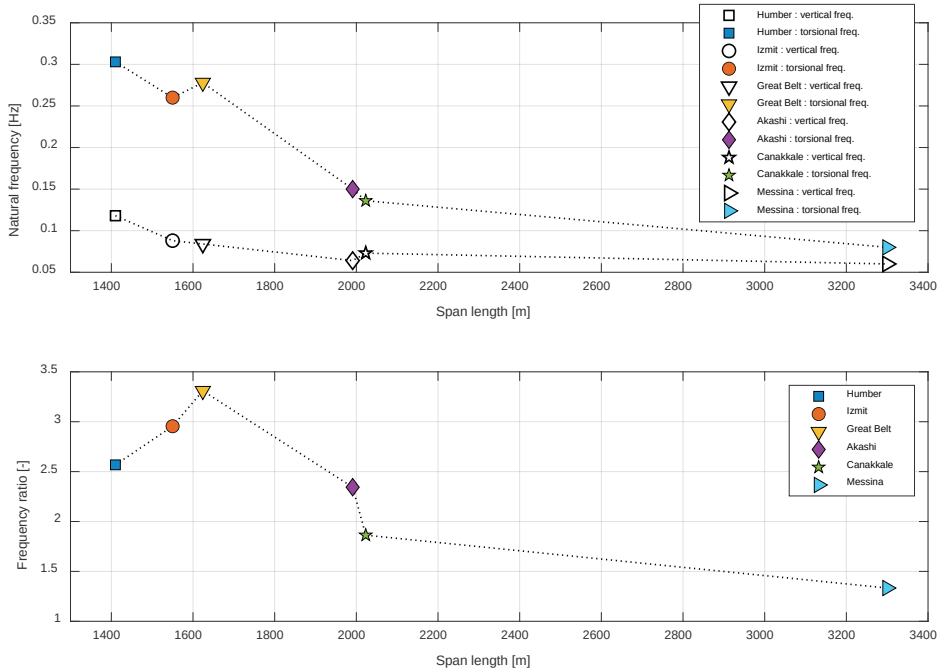


Fig. 3- Torsional and vertical frequencies of different suspension bridges as a function of the span length.

model. Alternatively, numerical methods based on finite element models of the structure can be employed (Diana *et al*., 2022). These algorithms require the knowledge of the aerodynamic properties of the bridge deck.

Vortex-Induced-Vibrations-VIV

Vortex shedding is a phenomenon wherein vortices are alternatively shed from a bluff body immersed in a fluid flow. The detachment frequency f_s is related to the body dimension, e.g. the chord B in the case of a bridge deck section, and the mean wind speed U by the Strouhal relation:

$$f_s = \mathrm{St}\frac{U}{B} \tag{4}$$

where St is the Strouhal number, which depends on the body shape. For a structure immersed in a wind flow, such as a long-span bridge, when f_s aligns with a natural frequency, resonance amplification of the motion can occur. Once the deck, which is the most sensitive part of the bridge to VIV, starts to vibrate, the value of f_s, in Eq.

(4), does not change even if the wind speed is varying. Specifically, vortex shedding becomes synchronized with the deck motion, increasing the amplitude of vibration even if the wind speed is changed due to turbulence. This effect is called lock-in. The vibration amplitude induced by vortex shedding depends on the structural damping or, more specifically, on the Scruton number Sc:

$$Sc = 2\pi \frac{m\xi}{\rho B^2} \tag{5}$$

where m is the linear mass of the structure and ξ is the damping ratio. An increase of Sc results in a decrease in the amplitude of oscillations. Concerning long-span bridges, VIV is an important issue for both towers and deck. In the first case, vortex shedding can induce high amplitudes of vibration during the construction stage, when the towers are standalone. As for the deck, VIV represents one of the most important aspects in the design of the section geometry. VIV is typically investigated by performing wind tunnel tests on elastically suspended deck sectional models (Diana *et al*., 2015).

Historical overview of suspension bridges

Bridges are classified as long-span bridges when the main span is longer than 1.000 m. Approximately up to 1.100 m a bridge can be realized using a "cable-stayed" technology while, for greater lengths, the only feasible solution is a suspension bridge. The development of suspension bridges was boosted in the first decades of the nineteenth century by an improvement in the materials properties and in the technological skills. Built in 1931, The George Washington Bridge has a main span 1.067 m long. This length made it one of the longest bridges of its time and a milestone in the history of these structures. After 6 years the iconic Golden Gate Bridge was built in San Francisco with a higher span length, i.e. 1.280 m. Subsequently, throughout the 19th century, several bridges with a span ranging from 1.200 m to 1.400 m were built. A significant step was made in 1998 with the construction of the Akashi Bridge, characterized by a length of 1,991 m. Currently, the longest suspension bridge is the Çanakkale Bridge with a main span of 2023 m, in Turkey. A third impressive jump in the span length increase is represented by the definitive design of the Messina Strait Bridge. The bridge is completely designed and ready to be built. It will be the longest suspension bridge in the world with a span length 1.5 times longer than the Akashi Bridge.

As mentioned in the previous sections, wind-induced effects on bridges are enhanced by increasing the span length. However, at the beginning of the 19th century, aeroelastic phenomena were not known. The well-known collapse of the Tacoma Bridge (1940), which occurred the same year as its inauguration, prompted designers to investigate the problem of aeroelastic effects on bridge decks, leading to the

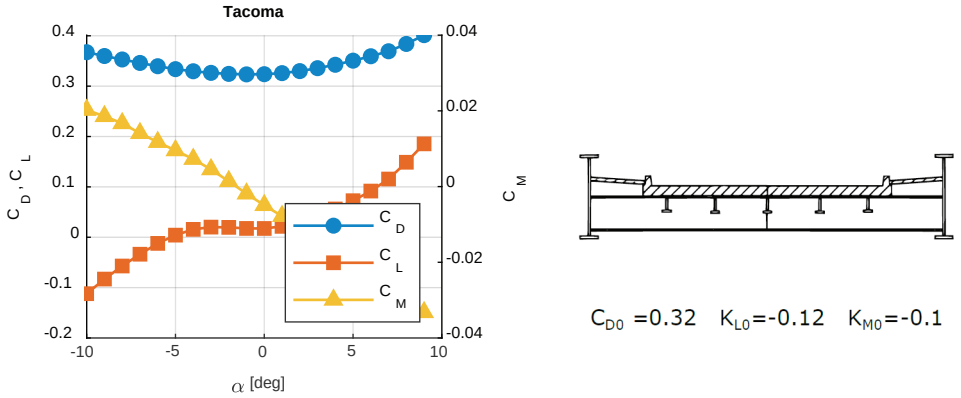


Fig. 4- Drag, lift and moment coefficient of the Tacoma Bridge as a function of the wind angle of attack, on the left, and the deck section profile of the Bridge, on the right.

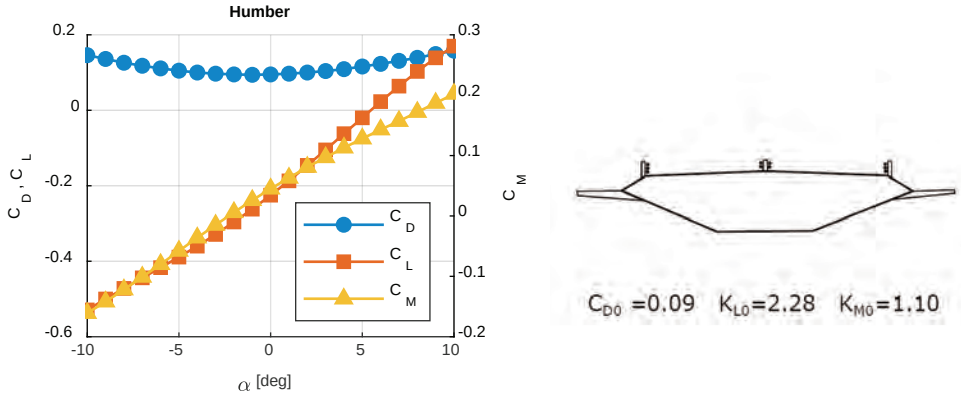


Fig. 5 - Drag, lift and moment coefficient of the Humber Bridge as a function of the wind angle of attack, on the left, and the deck section profile of the Bridge, on the right.

identification of the collapse cause as a one-degree-of-freedom instability, mainly torsional. As previously mentioned, this phenomenon is typical of bridge deck sections characterized by a negative derivative of the moment coefficient with respect to the effective angle of attack α. As shown in Figure 4, this is a feature of the Tacoma Bridge deck section.

To address the problem, deck sections were developed employing profiles resembling wings, see for instance the Humber Bridge, in Figure 5, or the Great Belt Bridge. This type of deck is still widely used for the design of suspension bridges with spans up to 1.600 m such as, for instance, the Hardanger Bridge in Norway (Fenerci *et al.*, 2017). In Figure 5 it can be seen that the lift and moment coefficients

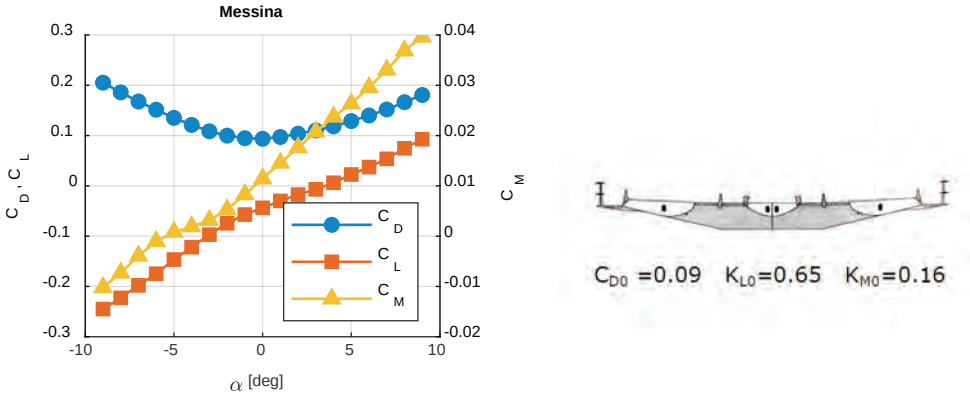


Fig. 6 - Drag, lift and moment coefficient of the Messina Strait Bridge as a function of the wind angle of attack, on the left, and the deck section profile of the Bridge, on the right.

of the Humber Bridge are characterized by positive lift and moment derivatives. In this way, it is possible to avoid 1 d.o.f. instabilities.

Nevertheless, these deck sections are subjected to flutter instability. As previously mentioned, the high value of the derivative of the moment coefficient with respect to the angle of attack acts as negative torsional stiffness, reducing the frequency of the first torsional mode. As this frequency approaches that of the corresponding vertical mode, it leads to flutter instability. As shown in Figure 3, increasing the bridge span length, the torsional frequency gets closer to the vertical one, and thus, aerodynamic forces need a lower wind speed to trigger the instability.

In the design of the Messina Strait Bridge, the key point to reach a span length of 3.300 m is the multi-box girder deck, internationally identified as the "Messina-type" (Brancaleoni *et al*., 2009). This section is characterized by significantly lower derivatives of the lift and moment coefficients with respect to those of a single-box section, as can be seen comparing Figure 6 and Figure 5. If a "Humber-type" deck were used for the Messina Strait Bridge, the critical flutter speed would be reduced to 40 m/s. Research conducted for the development of the multi-box girder deck solution contributed to the construction of the Çanakkale Bridge in Turkey.

Also, VIV represents one of the most important aspects in the design of the section geometry. Single-box decks generally show only one mechanism of vortex shedding, caused by the separation of the flow from the upstream edge. On the other hand, multi-box deck sections may present different vortex-shedding phenomena due to the interaction of the wake generated by the upwind box with the other boxes. The different mechanisms may excite the bridge's vertical and torsional modes. Furthermore, also wind barriers or other obstacles placed along the edge of the deck can trigger vortex shedding.

Conclusions

This paper presented a journey through the history of suspended bridges' aerodynamics. At first, the main wind-induced problems were introduced, including 1 d.o.f. instabilities, flutter instability and VIV. Subsequently, the most iconic suspension bridges were presented from the point of view of deck aerodynamics, starting with the famous collapse of Tacoma Bridge and ending with the Messina Strait Bridge, characterized by a main span 3.300 m long. The key point to achieve this length lies in the multi-box deck section, characterized by very low values of the derivatives of the lift and moment coefficients. The research on the "Messina-type" deck solution contributed to the construction of the Çanakkale Bridge in Turkey, which is currently the longest suspension bridge in the world and to the design of other long-span bridges that are under construction.

Bibliography

Andersen M.S., Isaksen B., Hansen S.O. 2022. Full-Scale Monitoring of the Wind Field, Surface Pressures and Structural Response of Gjemnessund Suspension Bridge. Structural Engineering International, 32, 43-54.

Brancaleoni F., Diana G., Faccioli E., Fiammenghi G., Firth I.P.T., Gimsing N.J., Jamiolkowski M., Sluszka P., Solari G., Valensise G., Vullo E. 2009. *The Messina Strait Bridge*. Boca Raton: CRC Press.

Diana G., Falco M., Bruni S., Cigada A., Larose G.L., Damsgaard A., Collina A. 1995. Comparisons between wind tunnel tests on a full aeroelastic model of the proposed bridge over Stretto di Messina and numerical results. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 54, 101-113.

Diana G., Falco M., Bruni S., Cigada A., Larose G.L., Damsgaard A., Collina A. 2015. Wind tunnel: a fundamental tool for long-span bridge design. Structure and Infrastructure Engineering, 11, 533-555.

Diana G., Stoyanoff S., Allsop A., Amerio L., Styrk Andersen M., Argentini T. 2022. IABSE Task Group 3.1 Benchmark results. Numerical full bridge stability and buffeting simulations. Structural Engineering International, 33(4), 623-634.

Fenerci A., Øiseth O., Rønnquist A. 2017. Long-term monitoring of wind field characteristics and dynamic response of a long-span suspension bridge in complex terrain. Engineering Structures, 147, 533-555.

Fengying Wu, Lin Zhao, Yaojun Ge, Claudio Borri

Most recent developments in large bridge aerodynamics (2013-2024)

Alcuni recenti sviluppi in aerodinamica dei ponti di grande luce (2013-2024)

Abstract

As follow-up to the historical perspective given at 6th EACWE in Cambridge [1], a review of bridge aerodynamics advancements within the latest decade is introduced. Within the perspective of evolution of long-span bridges, the paper shows how the cross-section developed (from the streamlined box girder or the truss girder to the slotted-box girders, owing to the demand of the larger spans and avoiding turbulence-induced phenomena), but it also presents the enormous challenge these long/super-long span bridges are facing by wind excitations, such as flutter, buffeting, VIVs, and galloping, etc. The phenomena of interest in bridge aerodynamics are discussed through the historical milestone papers published and/or presented on the various journals or at major conferences. A few examples of large-amplitude vibrations observed in real structures are also recalled, such as very recently observed VIVs of Humen Bridge in China. Moreover, the most recent development of AI tools was a totally emerging method for reproducing and forecasting wind effects and also for bridge engineering in this new decade.

Sommario

Quale sviluppo conseguente alla prospettiva storica presentata al 6th EACWE a Cambridge (Borri *et al*., 1993) [1] vengono qui illustrati i maggiori e più recenti sviluppi in aerodinamica dei ponti di grande luce dell'ultimo decennio. Nella prospettiva dell'evoluzione dei grandi ponti, l'articolo mostra non solo come la sezione trasversale di impalcato si sia evoluta dalla tipologia aerodinamicamente profilata del cassone singolo, o dell'impalcato reticolare, verso impalcati multi-cassone forati, o *bi/three-slotted*, a causa della larghezza sempre maggiore della sezione richiesta, e per evitare fenomeni indotti dalla turbolenza, ma esso mostra anche l'enorme sfida dei ponti di grandissima luce derivante dal dominare gli effetti del vento su dimensioni così importante. Fenomeni quali il flutter, il *buffeting*, le vibrazioni da distacco dei vortici o VIV-*Vortex-Induced-Vibrations* e il galoppo, che sono di interesse per l'a-

erodinamica dei ponti, vengono discussi attraverso una prospettiva storica dei principali lavori, considerabili come pietre miliari, presentati alle maggiori conferenze e pubblicati sulle principali riviste. Vengono ricordati alcuni esempi di grandi vibrazioni osservate in strutture reali, come quelle da distacco dei vortici dell'Humen Bridge in Cina. Inoltre, il recentissimo sviluppo degli strumenti di AI ha rappresentato un metodo totalmente nuovo per riprodurre e prevedere gli effetti del vento, anche nel caso dell'ingegneria dei ponti, nell'ultimo decennio.

Introduction

From the rapid development of the bridge aerodynamics within the last century, which was a very flouring branch of wind engineering, depended the tremendous contributions from the pioneers in this research field. With the revolution of science and technology, as well as material, a remarkable evolution has been achieved within this decade. This paper focuses on the advancements in this exciting sector in the latest ten years, after retrospect a large amount of literature, authors track developments in the various aspects of wind-induced vibrations, some outstanding achievements in bridge aerodynamic are highlighted after revisiting some milestones in bridge engineering projects, as well as papers and report on the various conferences. Moreover, the traditional research topic is still the opening subject to looking forward to receive more research findings, such as the wind-induced vibrations and non-synoptic wind environment; and the outstanding contributions are recalled and summarized as following parts. Notably, a very emerging method/tool applied in the wind engineering, especially progresses in the bridge aerodynamic are updated in the final part.

Evolution of long-span bridge structures

In recent decades, the development of both science, technology, and also material proceeded hand in hand with the need of creating structures of increasing size, an increasing number of long-span bridges have been built worldwide in many coastal areas to cross straits or seas, or built in mountain valley areas to cross canyons. Some of representative long-span bridges were built within last decade or under the construction stage were given in Table 1. From the analysis of the evolution of the major achievements of recent years, the cross sections used for the execution of bridge decks of large and very large spans can be subdivided into: 1) truss- girder sections, with high stiffness and poor aerodynamic performances; 2) box-girder sections with high aerodynamic efficiency; and 3) multi-cellular sections with very high aerodynamic performances. The truss-girder and the single box girder bridge ushered the middecades of last century, such as Great Belt East Bridge, Denmark (1,624 m), opened in 1998, also the Humber Bridge, UK (1,410 m), those two bridges were on behalf of single-box girder bridge. Miyata proved that the truss-stiffened deck configurations guaranteed the required safety level for flutter instability. Recently, a long-span bridge

Table 1 - Representative long-span bridges within last decade.

Bridges	Main span [m]	Year	Location	Cross-section	Structural type
Aizhai Bridge	1,414	2012	China	Truss-girder	Suspension bridge
Yi Sun-sin Bridge	1,514	2012	Korea	Twin-boxes	Suspension bridge
Russki Island Bridge	1,885	2012	Russia	Single-box	Cable-stayed bridge
Hardanger Bridge	1,310	2013	Norway	Single-box	Suspension bridge
Third Bosphorus Bridge	1,408	2013	Turkey	Single-box	Collaborative system bridges
1915 Canakkale Bridge	2,023	2022	Turkey	Twin-boxes	Suspension bridge
Braila bridge	1,120	--	Romania	Single-box	Suspension bridge
Shiziyang Bridge*	2,180	--	China	Truss-girder	Suspension bridge
Xihoumen Highway and Railway Bridge*	1,488	--	China	Triple-boxes	Collaborative system bridges
Messina Bridge*	3,300	--	Italy	Triple-boxes	Suspension bridge
* denotes the bridge still under construction stage.					

with main span of 2,180 m, Shiziyang Bridge in China was under the construction stage, the truss-girder section was chosen for same reason. However, a great challenge for the Shiziyang Bridge was to take over the strong-wind induced instabilities. Zhao *et al*. (2024b) investigated the critical wind speed for flutter and VIVs characteristics, a central stabilization plate was installed on the deck to mitigate soft flutter.

In order to improve aerodynamic stability of suspension bridges, the application of central vent in the box section was supported by previously researchers via theoretical and experimental methods. Thus, a novel cross-section, central-slotted box girder bridge, of long-span bridge was taken into designers 'considerations. In 2009, Xihoumen Bridge in China, a suspension bridge which adopted the central-slotted cross-section type for the first time, with main span of 1650 m, was opened to service stage. Yang *et al*. (2017) have presented a series of previously research investigations around the aerodynamic stabilization for this novel type of long-span suspension bridges, with box girders by employing central air vent, which leads to slotted box girders. They have investigated the critical wind speeds corresponding to slot widths and angles of attack through wind tunnel test first time. As a latecomer, Yin sun-sin Bridge was built in Korea and open to service stage in 2012 (Lee *et al*., 2012); the sensitivity of the Reynolds numbers on aerostatic force coefficient was investigated through

experimental results. The safety rail prevented the Reynolds number dependency of aerostatic force coefficients at negative angles of attack. A totally new type of section was instead the one proposed for the Messina Strait Bridge, Italy, a tri-cellular cross section, stiffened by several transverse beams; such an innovative solution was also due to the need of very high aerodynamic and aeroelastic performances because of the exceptional span of the bridge, whit the main span of 3,300 m. The chosen solution could allow for a strong reduction of the drag force, and then of the static deformation in the horizontal plane, while the improved stability was checked with a vast wind tunnel test campaign. Lately, this new cross-section type was adopted again in Xihoumen highway and railway Bridge, in China, with the main span of 1488 m, and a superior aeroelastic performances could be achieved due to the double-slotted girder; Wu *et al*. (2023) also pointed out the VIVs may the crucial problems for Xihoumen highway and railway Bridge, because of various additional facilities installed on the deck surface, such as wind barriers and balustrades. The highlight of this tri-cellular cross section bridge in China was the collaboration system adopted to provide sufficient stiffness in bending and torsion while achieving the large spans. However, in these last decades, so many important and challenging bridges have been built which are relevant for some of their characteristics, both from the technical and the aesthetic points of view. Just to mention two cases among the others, a reference can be made to the Millau Viaduct, France, and the Aizhai Bridge, China. The Millau Viaduct is the tallest bridge in the world, being the major masts as high as 340 m, that is more than the Eiffel Tower. Opened in 2004, it is a multi-span cable-stayed bridge, including six 342 m long central spans and two 204 m long lateral spans. The Aizhai Bridge is another spectacular example, built near Jishou, Hunan, China, and opened in 2012. The main span is 1,146 m long and it is probably the highest suspension bridge of the world, being placed 336 m above the underneath valley.

The phenomena of major concern in bridge aerodynamics

Vortex-induced vibration

Vortex-induced vibration-VIV is a phenomenon triggered by the resonance between the Kármán vortex shedding forces and one of the natural frequencies of the structure, which indeed presents strong nonlinearities and where a major role is played by self-excitation. A well-known phenomenon during VIVs is the frequency of vortex shedding that is no-longer governed by the Strouhal law but is synchronized or "locked" to the vibration frequency of the structure, that is, "lock-in". The state-of-the-art knowledge of VIV before 1963 was quite limited. Strouhal (1878), studying the tones produced by a wire immersed in a wind stream, had observed that they were directly proportional to the flow speed and inversely proportional to the wire diameter. Research work around how non-structural details impacted the VIVs' characteristics was published and a noticeable example is the experimental campaign for the proposed

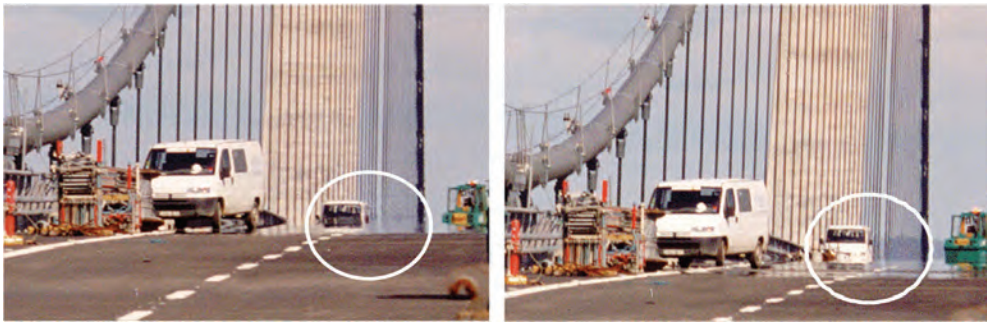


Fig. 1 - View along the deck of the East Bridge at crest, on the left, and trough of a large amplitude vertical oscillation, on the right.

Fig. 2 - Installation of spoiler on Humen Bridge.

Messina Bridge, Italy (Diana *et al*., 2007). The impacts of all non-structural elements on the vortex-related stability of a double-slotted box girder, Xihoumen Highway and Railway Bridge, were investigated by the latest research findings (Wu *et al*., 2023). Authors pointed that the most adverse impacts on the VIVs were wind barriers. Not occasionally, many researches spotlighted on this field, since the non-structural elements is essential for the long-span bridge, for ensuring driving safety of vehicles and requirements of maintenance while the bridge in the on-service state. At the early years, ten VIV events of the Storebælt suspension bridge were observed, as shown in Figure 1. Larsen presented the results of the on-site structural and wind monitoring program, correlation to wind-tunnel tests and the design and erection of guide vanes to the main span girder for mitigation of the oscillations. Another recent example is Humen Bridge, in Figure 2. Based on the fast results of field measurements, Ge *et al*. (2023) pointed out that the direct reason was that the water-filled barriers were placed

along the two edges of the bridge deck upper surface, which destroyed the streamlined aerodynamic shape configuration. The aerodynamic control spoiler was proposed to apply to suppress vortex-induced vibration based on systematic investigation.

Galloping

Galloping is a single-degree-of-freedom dynamic instability typical of slender structures with non-circular bluff sections, due to cross-flow motion-induced forces which produce negative aerodynamic damping. It is characterized by large oscillations at one of the transversal structural modal frequencies, usually the lowest, with amplitude indefinitely growing with the wind speed beyond a certain critical value. Galloping in the plunging degree-of-freedom is generally not a problem for bridge decks, as it may occur only in case of very bluff girders, which are usually too stiff to give rise to this type of instability. Nevertheless, it is an important phenomenon for bridge towers and noncircular hangers. Nevertheless, a significant boost to the research on this phenomenon was given by Parkinson and coworkers with the papers presented at the first international conferences on wind engineering, where the nonlinear quasi-steady theory to galloping was formulated and applied to the case of square and rectangular two-dimensional cylinders, showing successful qualitative and quantitative agreement with experiments. Examples of interference between VIV and galloping can be conjectured from their results. In a paper presented at the last ICWE conference in Amsterdam, Matsumoto and Laneville (2011) investigated the complicated problem of the relation between galloping and Kármán vortex shedding, highlighting that the former is able to appear when the latter is mitigated or suppressed. Recently, Mannini *et al*. (2013) studied the combined VIV-galloping instability with experiments on a 3:2 rectangular cylinder.

Flutter

Flutter is a dynamic instability basically involving a torsional and a vertical bending vibration mode of the deck with similar shapes. The flutter phenomenon is analytically approached by assuming that so-called "self-excited" forces stem from the motion of the body. The mechanism through which energy is extracted from the flow and feeds the structural oscillations is related to the variation of modal frequencies, that tend to approach due to fluid-structure interaction, and to the phase between the two degrees of freedom. At the time of the first international conference on wind engineering the theory of flutter for airfoils was already consolidated. The importance of flutter for long-span bridges was already in the minds of many pioneering delegates. A milestone in the history of bridge aerodynamics was set during the 1971 conference in Tokyo, where Scanlan (1971) reported flutter derivative results for a wide range of bridge deck geometries obtained by recording the free-decaying motion of elastically suspended section models from imposed initial conditions with

and without wind. More advanced identification techniques by this method have been used later on (Costa and Borri, 2007; Bartoli *et al*., 2009).

With the purpose of a clear insight into the flutter mechanism, to shed some light on the flutter mechanism, simplified formulas to calculate flutter critical wind speed have been proposed (Chen and Kareem, 2006). Mannini and Bartoli (2007) also investigated in the wind tunnel the probabilistic properties of flutter derivatives for a box-girder deck section and made a first attempt to evaluate the uncertainty propagation from the aeroelastic coefficients to the calculated flutter instability threshold. Some present research also dedicated themselves to this: Gao et.al. (2020) modeled the nonlinear oscillatory system during coupled post-flutter instabilities as a weak perturbation of the classical linear flutter theory. After that, Zhao et.al. (2024b) predicted the flutter critical wind speed of long-span bridges by utilizing a nonlinear optimization strategy based on the principle of instantaneous power balance-IPB of the flutter critical state. In retrospect, the passive aerodynamic control method was widely used to control flutter issues, but it was worth noted that passive aerodynamic countermeasures may not satisfy the design requirements. The latest research by Zhao *et al*. (2024b) proposed a high effective active control device, investigated the improvement of a pair of wind flaps on the critical wind speed, while flaps were installed on the wind fairing. A real-time feedback of active control strategy was adopted, and 25% improvement of critical flutter speed obtained finally.

Buffeting

Buffeting refers both to the excitation mechanism of a structure due to the wake of another structure and to the effect of turbulence naturally present in the atmospheric boundary layer. At the time of the first Conference on Wind Effects on Building and Structures the main contributions on buffeting were from the aeronautical field. The response of bridges to turbulent wind is usually calculated by assuming the linear superposition of buffeting and self-excited forces and possibly using the flutter derivatives measured in turbulent flow. Larose *et al*. (1992) compared full-scale measurements, results for full-aeroelastic and section wind- tunnel models and the prediction of a theoretical model based on the quasi-steady aerodynamic theory, neglecting aeroelastic coupling between the modes. Borri and Costa (2005) applied indicial functions as time-domain counterpart of aerodynamic admittances. If the effect of turbulence is accounted for not only in the buffeting forces but also in the self-excited forces, the dynamical system becomes time-variant and therefore the classical spectral analysis of random vibrations is no longer applicable. For this reason, a first attempt to do it was done by Xiang *et al*. (1995), who found a significant effect on the torsional response of the Shantou Bay Bridge, China. The nonlinear relation between self-excited and buffeting forces was also investigated by Diana *et al*. (2007). The same research group few years later proposed a time-domain rheological model to account for the depen-

dence of aeroelastic forces on reduced wind speed and angle of attack (Diana *et al*., 2007). Recently, the field measurement of buffeting research occupies an increasingly important position. Wang et.al. (2013) analyzed the cable-stayed Sutong Bridge with the wind spectra used in the design phase and those obtained experimentally from a long-term SHM system to compare the actual buffeting response with design predictions. Hu et.al. (2017) presented an enhanced nonstationary buffeting force model for calculating tropical storm-induced buffeting response of long-span bridges, pointed out that the time-dependent admittance function reduces the extreme responses.

Static instabilities

The former is an aerostatic instability caused by the vanishing of the torsional stiffness of the structure due to the negative aerodynamic contribution related to a positive slope of the moment coefficient. In the last ten years, studies on aerostatic instability dive deeper into the calculation and analysis methods with the consideration of nonlinearities and complex situations. Domaneschi *et al*. (2015) explored the wind-induced stability in different controlled (passive, semi-active dampers, TMD) and uncontrolled configurations by FEM. Montoya *et al*. (2021) developed an efficient modal-based method for nonlinear aerostatic stability. Zhang and Zhu (2021) elaborated the effect of asymmetric wind field on static torsional divergence of flexible suspension bridge, the structural stability of flexible suspension bridge becoming poor under asymmetric wind load. Nevertheless, multi-sources nonlinearity and multi-stability during the lateral-torsional buckling are still the research hotpots for the complex structural system, such as long-span bridges.

Cable vibration

Cable vibration often represents the major aerodynamic problem for cable-stayed bridges. The oscillations were attributed to the formation of a water rivulet on the upper windward surface of the cable, which renders aerodynamically unstable its apparent cross section. Another possible mechanism of cable excitation, along with conventional vortex-induced vibration, is due to intermittent two-dimensional Kármán vortex shedding at high reduced velocity. Over the past decades, the rain wind-induced vibration-RWIV on large span bridges has been widely reported. Numerous explanations and mechanisms for the RWIV are proposed and discussed. Jing *et al*. (2017) elaborated the main excitation mechanism of RWIV form the coupling of the upper rivulet and cable vibration. The oscillating upper rivulet induces the changes in aerodynamic forces, which produce a positive work and excite the cable to vibrate. Gao *et al*. (2020) revealed that the higher- and multiple-mode RWIVs can be excited by a local rivulet, even under a lower wind speed and compared the RWIVs with VIVs to uncover their underlying similarities and relationships. Chang *et al*. (2022) proposed a revised number to consider the aerodynamic damping du-

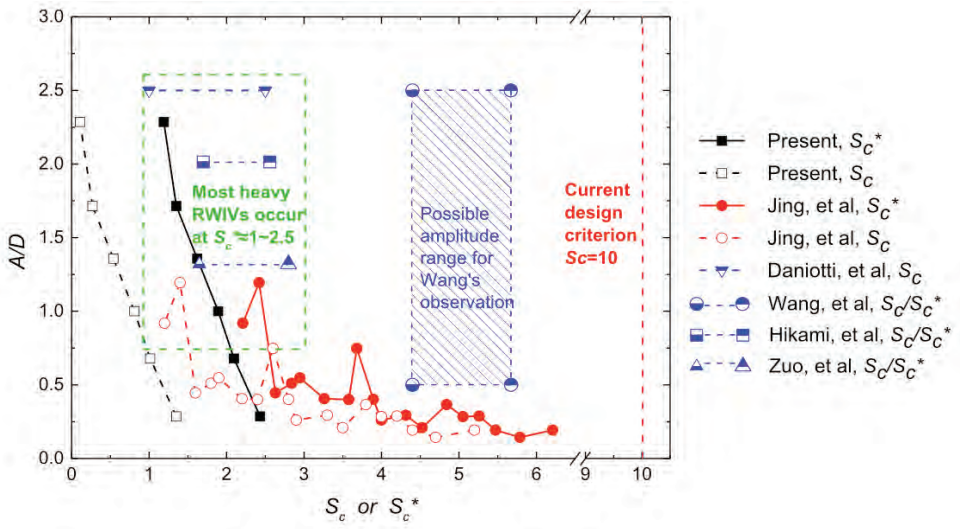


Fig. 3 - RWIV occurrence with Sc number and Sc number in wind tunnel experiments and field measurements.*

ring the RWIV, besides the impact of mass and damping in the original number, as shown in Figure 3. However, the discussions of the development mechanism of RWIV still need to go further in-depth and a consensus among the varied mechanisms proposed so far is still lacking.

Development on the creation of AI tools for reproducing and forecasting wind tunnel tests

Machine learning algorithms, deep learning algorithms and other AI tools were greatly boosted within recent decades, and AI tools have raised more attention of many scholars for reproducing and forecasting wind engineering problem in addition to traditional mathematical tools, weakening prior knowledge and manual intervention. In the field of wind tunnel test, Wu and Kareem (2013) first proposed an ANN based on embedded cellular automata optimization to represent nonlinear and unsteady aerodynamic forces. With the deepening of research on neural network architecture, networks used for complex time series mapping such as RNN and LSTM are also used for aerodynamic modeling, and scholars have verified its feasibility on numerical simulation and wind tunnel test data (Li *et al*., 2021). Ma *et al*. (2023) proposed a group sparse regression method which can identify the essential terms of nonlinear polynomial aerodynamic formula. After preliminary verification of the fitting performance of the machine learning algorithm, the research direction gradually

developed into prediction and identification problem for field measurement data. Li *et al*. (2020a) proposed a machine learning framework to the vortex vibration problem, using health monitoring as the data source, using a decision tree algorithm to classify vortex vibration events, and then established a vortex vibration response time domain model based on support vector machines. Liu *et al*. (2022) explored the probabilistic dependence between wind parameters and structural responses by explicit polynomial regression equations and proposed a Bayesian inference approach. Scholars also try to use machine learning methods to directly predict aerodynamic performance. Due to the complex shape of the bridge section and the strong nonlinear wind-induced effects, machine learning research involving geometric shapes is still in its infancy, and it is difficult to directly predict aerodynamic performance.

Conclusions

This review paper retrospect the advancement of the bridge aerodynamics within the last decade, many built or under construction stage long-span bridges were summarized world-widely. With the increasement of across ability, long and super long-span bridge became the bellwether in recent challenging projects, with a result of increasing sensitivity to wind-induced vibration. The evolution of long-span bridge was raked up at the beginning to deepen overall understanding of the development of bridge engineering in the last ten years. A clearly advance route could be observed that multi-box girder bridge increased since the demanding of across ability, that kind of cross-section type improved flutter performance greatly compared to the truss girder or single box girder bridge. However, VIVs were frequently reported. Indeed, the VIV performance of bridge structures still grasped the researchers' attention greatly within the recent decade, many researchers dedicated to promote development of this field on the basis of wind tunnel tests, simulations and field measurements. Besides the VIVs, the research topic around the buffeting, flutter, cable vibration, and static instabilities issues were still mentioned frequently. It worth noting that the non-synoptic wind-induced large amplitude vibration raised tremendous discussions, such as typhoon, downburst, and strong mountain valley wind, the strong turbulence, large wind angle of attack or gust wind resulted frequently wind-induced oscillations. What the most attractive trend in the latest decade was the application of the AI tools in the bridge aerodynamic subject. Many scholars used the novel tools for reproducing and forecasting wind engineering problem in addition to traditional mathematical tools, weakening prior knowledge and manual intervention. Overall, the trigger mechanism and reliable approach for not only modeling vortex-induced vibration but also for self-excited forces (likewise flutter and buffeting), and some other aspects as foregoing wind-induced vibrations are still needed further continuous efforts, providing theoretical foundation for the modern bridge engineering evolution towards to more flexible and lighter in the future. Finally, many impor-

tant issues in bridge aerodynamics are still today open problems (more reliable models of vortex-induced vibration, a reformulation of self-excited forces for flutter and buffeting analyses or a better understanding of wind-excitation of inclined cables are needed, just to mention a few examples) and they are supposed to become more and more pressing due to the present increase in the dimension, flexibility and lightness of modern bridge structures, so that in the near future a strong research effort in this branch of wind engineering is still needed and breakthrough studies are expected.

References

Borri C., Majowiecki M., Spinelli P. 1993. The aerodynamic advantages of a double-effect large span suspension bridge under wind loading. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 48, 317-328

Borri C., Bartoli G., Mannini C. 2013. The long way from Teddington (1963) to Cambridge (2013) through 50 years of bridge aerodynamics. In: Fifty Years of Wind Engineering –Prestige Lectures from the 6th EACWE (C.J. Baker, J. Owen, M. Sterling and D. Hargreaves Eds.). Nottingham: University of Nottingham.

Bartoli G., Contri S., Mannini C., Righi M. 2009. Towards an improvement in the identification of bridge deck flutter derivatives. Journal of Engineering Mechanics, 135(8), 771-785.

Borri C., Costa C., 2005. Time-domain buffeting simulations for bridges. In: *Proceedings of the 4th European and African Conference on Wind Engineering* (J. Náprstek and C. Fischer Eds.), 46.

Chang Y., Zhao L., Zou Y., Ge Y. 2022. A revised Scruton number on rain-wind-induced vibration of stay cables. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 230, 105-166.

Chen X., Kareem A. 2006. Understanding the underlying physics of multimode coupled bridge flutter based on closed-form solutions. In: *Proceedings of the 4th International Symposium on Computational Wind Engineering*. 145-148.

Costa C., Borri C. 2007. Full-scale identification of aeroelastic parameters for bridges. In: *Proceedings of the 4th International Symposium on Computational Wind Engineering*. 799-806.

Diana G., Fiammenghi G., Belloli M., Rocchi D., *et al*. 2007. Sensitivity analysis on the effects of different aerodynamic devices on the behavior of a bridge deck. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Wind Engineering*. 2191-2198.

Domaneschi M., Martinelli L., Po E. 2015. Control of wind buffeting vibrations in a suspension bridge by TMD: Hybridization and robustness issues. Computers & Structures, 155, 3-17.

Gao G., Zhu L., Li J., Han W., *et al*. 2020. A novel two-degree-of-freedom model of nonlinear self-excited force for coupled flutter instability of bridge decks. Journal of Sound and Vibration, 480, 115406.

Ge Y.J., Zhao L., Jinxi C. 2023. Case study of vortex-induced vibration and mitigation mechanism for a long-span suspension bridge. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 220(2), 104866.

Hu L., Xu Y.L., Zhu Q., Guo A., *et al*. 2017. Tropical storm–induced buffeting response of long-span bridges: Enhanced nonstationary buffeting force model. Journal of Structural Engineering, 143(6), 04017027.

Jing H., Xia Y., Li H., Xu Y., *et al*. 2017. Excitation mechanism of rain-wind induced cable vibration in a wind tunnel. Journal of Fluids and Structures, 68, 32-47.

Larose G.L., Davenport A.G., King J.P.C. 1992. Wind effects on long span bridges: consistency of wind tunnel results. In: *Progress in Wind Engineering, Proceedings of the 8th International Conference on Wind Engineering* (A.G. Davenport, N. Isyumov, J.P.C. King, M. Novak, *et al.* Eds.). 1191-1202.

Lee S., Yoon J., Kwon S. 2012. Yi Sun-sin Bridge: High Speed Wind Tunnel Tests of Twin Box Girder, IABSE Congress Report, 18(30).

Li W., Laima S., Jin X., *et al*. 2020. A novel long short-term memory neural-network-based self-excited force model of limit cycle oscillations of nonlinear flutter for various aerodynamic configurations. Nonlinear Dynamics, 100(3), 2071-2087.

Li T., Wu T., Liu Z. 2020. Nonlinear unsteady bridge aerodynamics: Reduced-order modeling based on deep LSTM networks. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 198, 104116.

Li S., Laima S., Li H. 2021. Physics-guided deep learning framework for predictive modeling of bridge vortex-induced vibrations from field monitoring. Physics of Fluids, 33(3), 037113.

Liu P., Chu X., Cui W., *et al*. 2022. Bayesian inference based parametric identification of vortex-excited force using on-site measured vibration data on a long-span bridge. Engineering Structures, 266, 114597.

Ma T., Cui W., Gao T., *et al*. 2023. Data-based autonomously discovering method for nonlinear aerodynamic force of quasi-flat plate. Physics of Fluids, 35(2).

Mannini C., Bartoli G. 2007. A probabilistic approach to bridge deck flutter. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Wind Engineering*. 2351-2358.

Mannini C., Marra A.M., Massai T., Bartoli G. 2013. VIV and galloping interaction for a 3:2 rectangular cylinder. In: *Proceedings of the 6th European and African Conference on Wind Engineering*.

Matsumoto M., Laneville A. 2011. Generation of galloping of bluff body in relation to Karman vortex. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Wind Engineering*.

Montoya M.C., Hernáandez S., Kareem A., Nieto F. 2021. *Efficient modal-based method for analyzing nonlinear aerostatic stability of long-span bridges*. Engineering Structures, 244, 112556.

Scanlan R.H. 1971. An examination of aerodynamic response theories and model testing relative to suspension bridges. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*. 941-951.

Strouhal V. 1878. U¨ ber eine besondere Art der Tonerregung. Annalen der Physik und Chemie, 216-251.

Wawzonek M.A., Parkinson G.V. 1980. Combined effects of galloping instability and vortex resonance. In: *Wind Engineering: Proceedings of the 5th International Conference on Wind Engineering* (J.E. Cermak Ed.), 673-684.

Wang H., Hu R., Xie J., Tong T., *et al*. 2013. Comparative study on buffeting performance of Sutong Bridge based on design and measured spectrum. Journal of Bridge Engineering, 18(7), 587-600.

Wu F., Y., Zhao L., *et al*. 2023. Aerodynamic Force Distribution Characteristics around a Double-Slotted Box Girder of a Long-Span Bridge during Vortex-Induced Vibration. Journal of Bridge Engineering, 28(1).

Wu T., Kareem A. 2013. Aerodynamics and aeroelasticity of cable-supported bridges: identification of nonlinear features. Journal of Engineering Mechanics, 139(12), 1886-1893.

Xiang H. 1995. Buffeting response analysis and control of long-span bridges. In: *A State of the Art in Wind Engineering, Proceedings of the 9th International Conference on Wind Engineering*. 295-319.

Yang Y., Zhou,R., Ge Y. *et al*. 2017. Flutter characteristics of twin-box girder bridges with vertical central stabilizers. Engineering Structures, 133, 33-48.

Zhao L., Cheng Y., Liu S., Fang G., *et al*. 2024a. Instantaneous Power Balance Algorithm for Flutter Critical Wind Speed Prediction of Bridge Girders. Journal of Engineering Mechanics, 150(2), 04023120.

Zhao L., Wang Z., Fang G., *et al*. 2024b. Flutter performance simulation on streamlined bridge deck with active aerodynamic flaps. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 13170.

Zhang Z., Zhu L. 2021. Wind-induced symmetric and asymmetric static torsional divergence of flexible suspension bridges. Journal of Fluids and Structures, 103, 103263.

Sitography

[1] https://flore.unifi.it/handle/2158/820280

Pietro Lunardi

L'evoluzione storica del progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, dalle idee primordiali al quinquennio decisivo, 2001-2006

The historical evolution of the project of the Strait of Messina Bridge, from the primordial ideas to the decisive quinquennium 2001-2006

Sommario
L'articolo vuole presentare l'evoluzione storica del progetto del Ponte sullo stretto di Messina, dalle idee primordiali sino alle azioni di Governo del quinquennio 2001-2006 diventato "decisivo" grazie al concorso di "due eventi straordinari" che hanno dato vita al vero e proprio iter attuativo dell'opera.

Abstract
The paper presents the historical evolution of the project of the Strait of Messina Bridge, from the primordial ideas up to the Government actions of the quinquennium 2001-2006 which became "decisive" thanks to the combination of "two extraordinary events" that gave rise to the actual achievement.

Introduzione
La storia della continuità territoriale tra Sicilia e Calabria è lunga almeno 2.300 anni. Una storia fatta di sogni, idee, tentativi, studi, dibattiti e progetti di ogni natura.

Per capire e avere un'idea di come questa lunga avventura si è articolata negli anni, è sufficiente richiamare, a grandi linee, le date e i contenuti dei momenti più importanti e significativi nella storia di ieri e di oggi del Ponte sullo Stretto che ora però, ci permettono di parlare di progetto definitivo, di progetto esecutivo e di apertura dei cantieri per la costruzione del collegamento stabile nello Stretto entro il 2024.

Volendo fare una sintesi, possiamo dire che dal 251 a.C. al 1981 ci sono state 150 proposte e dal 1981 al 2001 sono state definite le possibili soluzioni, ma è stata la legislatura dal 2001 al 2006 che ha fatto decollare il Progetto preliminare. Nel 2006, con l'entrata in carica di un Governo contrario alla realizzazione del Ponte, il progetto si ferma e resta fermo fino al 2008, anno in cui un nuovo Governo non solo lo fa ripartire, ma nel 2011 vara il Progetto definitivo. Gli anni a seguire vedono un ostruzionismo dilagante nei confronti dell'opera, ma il tentativo di messa in liquida-

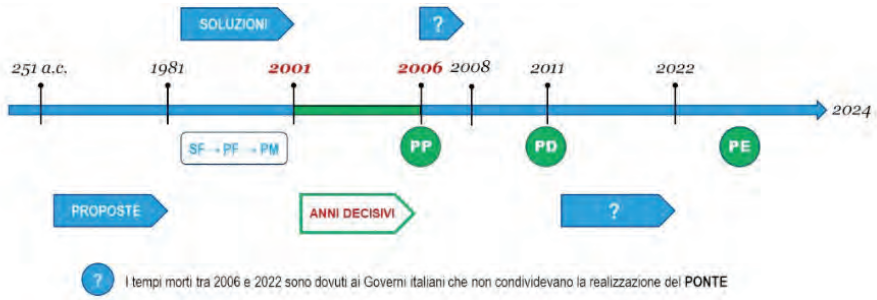


Fig. 1 - I duemilatrecento anni di continuità territoriale tra Calabria e Sicilia. SF: Studio di Fattibilità; PF: Progetto di Fattibilità; PM: Progetto di Massima.

zione della Società Stretto di Messina risulta vano e nel 2022 è possibile la ripresa del progetto. In Figura 1 è riportata la linea del tempo.

È poi indispensabile dettagliare come il quinquennio di Governo 2001-2006 diventi "decisivo" grazie al concorso di "due eventi straordinari" che hanno dato vita al vero e proprio iter realizzativo dell'opera.

La Storia

Le testimonianze più antiche sullo Stretto di Messina e sui problemi del suo attraversamento sono state tramandate da Strabone e da Plinio il Vecchio, che ci hanno raccontato di Lucio Cecilio Metello che, nel 251 a.C., al ritorno dalla vittoria durante la prima guerra Punica, fece costruire dall'esercito una sorta di ponte galleggiante, costituito da zattere fatte di barche e botti per trasportare il bottino di guerra, 140 elefanti. Carlo Magno nell'800 circa, Ruggero II nel 1130, Ferdinando II di Borbone nel 1840, si posero il problema della continuità territoriale tra Calabria e Sicilia. Nel 1870 l'ing. Carlo Navone propose un progetto di galleria ferroviaria per l'attraversamento dello Stretto, una specie di tubo di acciaio appoggiato sul fondo marino. Tra il 1900 e il 1950, furono fatte diverse proposte, ma ci fu scarso interesse per la continuità territoriale, anche per la mancanza di materiali idonei e tecniche costruttive adeguate.

Altra testimonianza degna di nota riguarda un'incisione francese del 1784 che riproduce il crollo del Faro di Messina, avvenuto in occasione di una drammatica bufera sullo Stretto, in Figura 2. L'incisione conferma, che, fin da allora, lo Stretto veniva rappresentato come un braccio di mare battuto da forti venti e da costanti correnti sottomarine che oggi misurano ancora 5-6 m/s, a fronte di un fondale di 140 m.

Fig. 2 - Crollo del Faro di Messina, incisione francese del 1784.

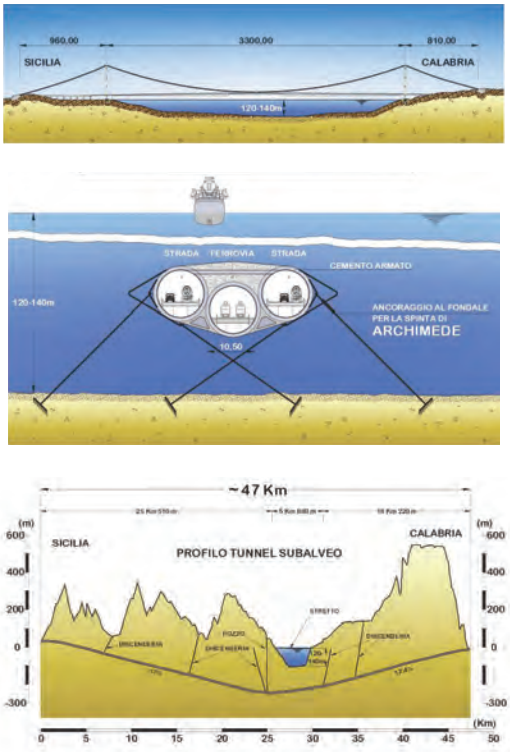


Fig. 3 - Studio di fattibilità: a partire dall'alto, soluzione aerea, soluzione subacquea e soluzione subalvea.

Nel 1981 nasce la Società Stretto di Messina S.p.A. - S.D.M., che sarà la grande protagonista del futuro, come Società Concessionaria di Stato partecipata, ancora oggi, da Anas, Ferrovie, Regione Sicilia e Regione Calabria.

Nel 1986 la Società presenta uno studio di fattibilità con tre soluzioni, riportate in Figura 3:

1) soluzione aerea: un ponte sospeso con una sola campata di 3.300 metri;
2) soluzione subacquea: un tunnel sommerso, flottante o ponte di Archimede, agganciato al fondo del mare;
3) soluzione subalvea: un attraversamento in galleria in subalveo, 47 km per 3.

Nel 1988 la S.D.M. tra le tre soluzioni sceglie quella del ponte a campata unica da 3.300 m, che costituisce la base per lo sviluppo di un primo Progetto di fattibilità, sul quale, nel 1992, S.D.M. produce un Progetto di massima, a cui farà seguito l'approvazione di tutti gli enti preposti.

Nel biennio 2001-2002, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, con il nuovo Governo, acquisisce il Progetto di massima del Ponte a campata unica nel proprio programma per le infrastrutture strategiche del Paese, inserendolo nella Legge Obiettivo, la 443 del 2001.

Il Progetto preliminare

Nel primo semestre 2003 la S.D.M. perfeziona il Progetto di massima predisponendo un Progetto preliminare, adeguato per essere messo alla base di una gara internazionale.

In Figura 4 è riportata la planimetria generale dello Stretto con la traccia del Ponte e l'indicazione degli accessi stradali e di quelli ferroviari.

Fig. 4 - Progetto preliminare 2003: planimetria generale dello Stretto; in grigio la traccia del Ponte.

Il Progetto Preliminare del 2003 prevede una struttura sospesa a campata unica da 3.300 m, in Figura 5.

Si tratta di un'opera strutturalmente semplice a tre componenti:

– 2 torri, di 400 m di altezza, con le loro fondazioni;
– 4 cavi portanti, di lunghezza pari a 5.400 m, con i propri blocchi di ancoraggio;
– l'impalcato, di larghezza, pari a 62 m, con campata unica di 3.300 m.

Le 2 torri di acciaio in Figura 6, a sostegno dei cavi portanti in Figura 7, poggiano su due plinti in calcestruzzo armato che insistono su fondazioni a pozzo, circolari, di terreno consolidato con trattamenti in *jet-grouting* a 400 atm, cinturate da un anello di terreno consolidato con maglie cellulari sempre di *jet-grouting*. I pozzi hanno una profondità di 60 m e un diametro di 51 m.

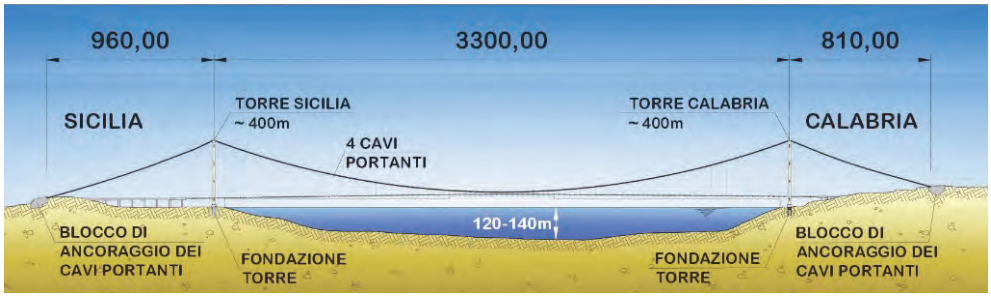


Fig. 5 - Progetto preliminare del 2003: ponte a campata unica.

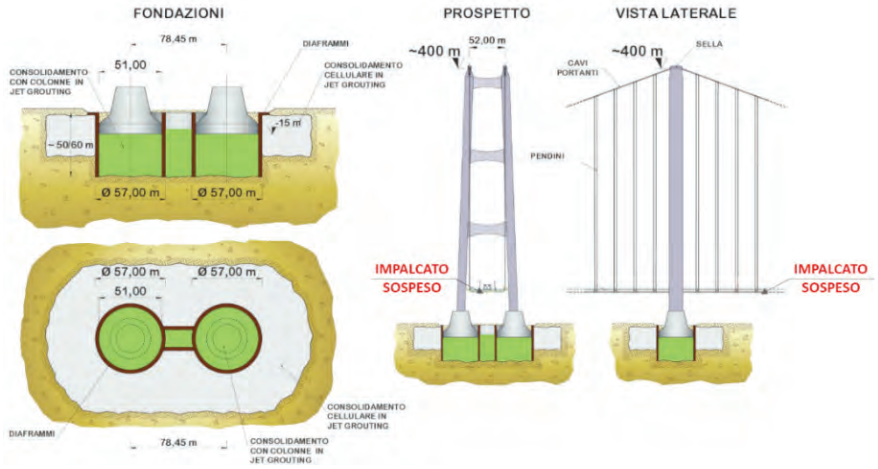


Fig. 6 - Le torri.

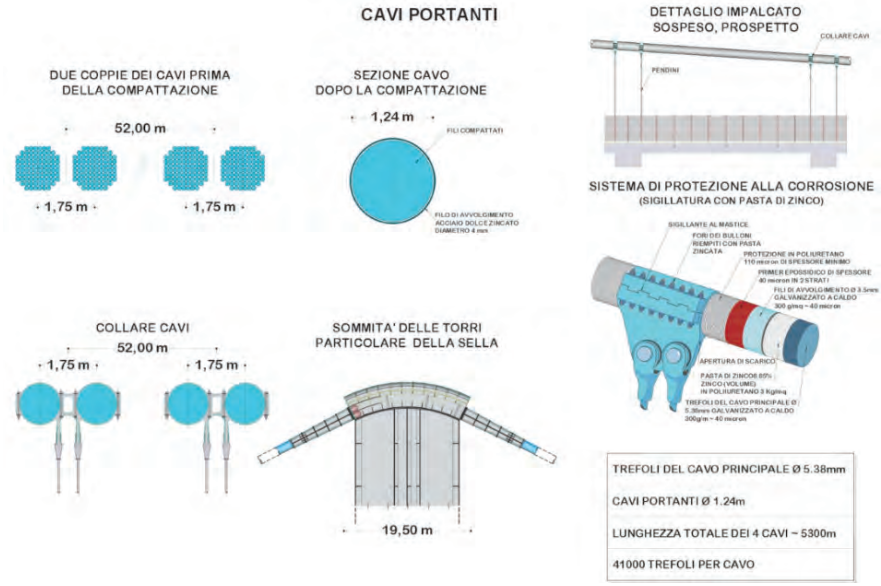


Fig. 7 - I cavi portanti.

Ognuno dei 4 cavi portanti ha un diametro di 1,24 m, contiene 41.000 trefoli da 5,38 mm di diametro ed è lungo 5.300 m. Ciascun cavo è dotato di un sistema di protezione alla corrosione che prevede una sigillatura a base di pasta di zinco, costituita da 4 diversi strati di materiale, nelle Figure 7 e 8.

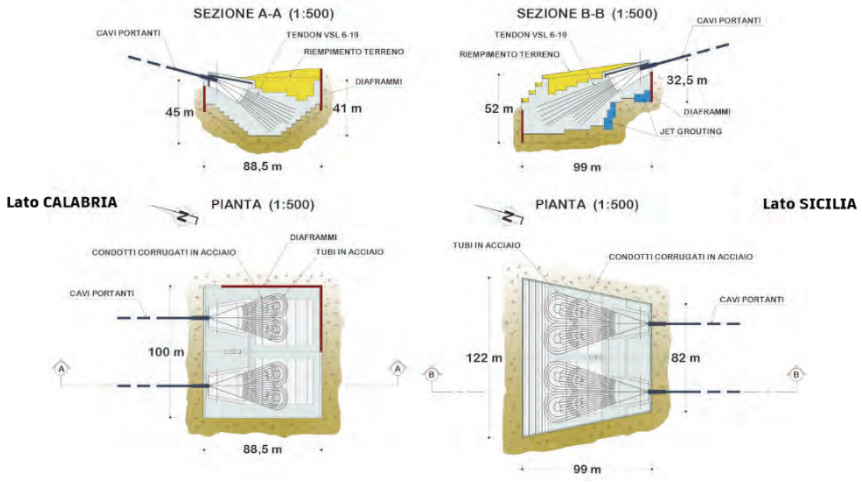


Fig. 8 - I blocchi di ancoraggio dei cavi portanti

Fig. 9 - Il modulo dell'impalcato.

Il modulo dell'impalcato, che ha una larghezza di 62 m, ospita una linea ferroviaria a doppio binario, tre + tre corsie autostradali e due corsie di servizio laterali.

L'impalcato, in Figura 9, sospeso ai quattro cavi portanti, è caratterizzato da una sagoma aerodinamica testata nella galleria del vento al Politecnico di Milano.

Gli sviluppi in Europa e la gara internazionale

Nel primo semestre 2003 la S.D.M. perfeziona il progetto preliminare; nel secondo semestre dello stesso anno, che vede la Presidenza italiana dell'Unione Europea, si discute tra gli altri il tema dei Corridoi stradali e ferroviari e il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - M.I.T. ottiene l'approvazione sia della Commissione sia del Parlamento Europeo per l'inserimento del Ponte sullo Stretto come opera strategica del Corridoio C1 Berlino-Palermo.

Nel 2004 viene bandita la gara internazionale sulla base del Progetto preliminare del 2003, che viene aggiudicata l'anno successivo al Consorzio Eurolink, cui segue la gestione dell'opera da parte di:

– M.I.T.: Concedente;
– S.D.M.: Concessionaria;
– Eurolink: Contraente generale;
– Parson: Project manager consulting.

Il Governo Prodi (XV Legislatura), contrario alla realizzazione del Ponte, nel 2006 sospende il progetto, ma nel 2008 il nuovo Governo (I della XVI Legislatura) riprende il progetto e il Consorzio Eurolink realizza il Progetto definitivo.

Nel 2013 il Governo Monti (II della XVI Legislatura) ferma tutte le attività relative al Ponte e mette in liquidazione la S.D.M. Fortunatamente la liquidazione della Società fino al 2022 non è andata in porto, per cui è stato possibile riattivare la Concessionaria di Stato recuperando sia il Progetto definitivo del 2011, che sarà perfezionato per renderlo esecutivo, sia il Consorzio Eurolink come Contraente generale.

Nel 2023 il Governo Meloni (XIX Legislatura) riattiva la S.D.M. e di conseguenza il Consorzio Eurolink riprende il Progetto definitivo, per poi realizzare il Progetto esecutivo prevendo per il 2024 l'apertura dei cantieri.

2001-2006: il quinquennio decisivo nella Storia del Ponte

Dopo aver ricordato le date e la cronologia degli eventi più significativi che hanno caratterizzato la storia del collegamento stabile tra Calabria e Sicilia, è opportuno fare una doverosa parentesi per evidenziare come i 5 anni dal 2001 al 2006 siano stati decisivi nella storia del Ponte. Decisivi, perché testimoni di due eventi determinanti che hanno visto il progetto del Ponte per la prima volta fortunato protagonista di un programma Comune di Opere strategiche per l'Italia e per l'Europa, grazie all'azione incisiva del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Il segreto di questa specie di miracolo sono stati due eventi e la loro concomitanza:

1) l'emanazione e l'approvazione della Legge Obiettivo nel 2001 e la sua applicazione al caso del Ponte sullo Stretto;
2) la gestione accurata da parte del M.I.T. della Presidenza Italiana della Comunità Europea nel secondo semestre del 2003.

I due eventi sopra citati sono stati determinanti e caratterizzati da un unico denominatore comune: la mobilità di persone e di merci garantita per legge, come diritto primario di ogni cittadino, quella mobilità che, dove manca, produce il ristagno dell'economia, la povertà e la corruzione. Due eventi per garantire e riorganizzare la mobilità in Europa e che, di conseguenza, hanno poi permesso di riorganizzarla in Italia e nel bacino del Mediterraneo. Due eventi che hanno indiscutibilmente creato i presupposti per la stesura del Progetto definitivo del 2011 e che permetteranno la redazione del Progetto Esecutivo nel 2023-2024.

Primo Evento

Nei primi cento giorni della legislatura 2001-2002, venne ideata ed emanata la Legge Obiettivo, caratterizzata da un impianto legislativo che consentisse tempi certi degli adempimenti burocratici e tecnici necessari ad accompagnare concretamente un'opera pubblica, dalla concezione alla cantierizzazione e quindi all'esercizio. In altre parole, come mostrato in Figura 10, fatto 100 il tempo per passare dalla concezione all'esercizio di un'opera pubblica, normalmente in Italia accade che si impiega un tempo che varia dal 60 al 70% per passare dalla concezione alla cantierizzazione e solo il 30-40% per la fase successiva.

Inoltre, solo riducendo i tempi è dimostrato nei fatti che si riesce a disarmare la corruzione e la malavita. Ricordiamo che l'eccessiva burocrazia e l'eccessiva lentezza decisionale, dovuta anche alle decine di adempimenti da soddisfare, sono infatti il miglior carburante per la corruzione.

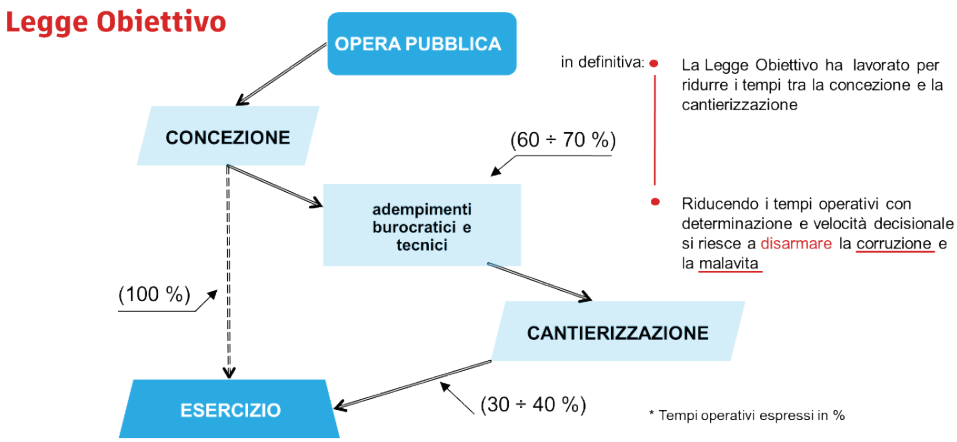


Fig. 10 - La Legge Obiettivo.

In altre parole, grazie alla cultura della mobilità, la Legge Obiettivo permise in soli tre anni, dal 2003 al 2005, di perfezionare il Progetto di massima del Ponte, di predisporre, istruire e finanziare il preliminare, di ottenere l'approvazione della Comunità europea, di metterlo in gara internazionale, di assegnarlo al Consorzio di imprese Eurolink e di avviare la variante ferroviaria di Cannitello, che avrebbe permesso di lasciare lo spazio per i blocchi d'ancoraggio dei cavi portanti dal lato della Calabria.

Secondo Evento

Nel secondo semestre del 2003 infatti, al Governo italiano, con il suo Ministro dei Trasporti, autore di questo contributo, toccò l'importante ma arduo compito di presiedere il Consiglio dei 26 Ministri dei Trasporti Europei, oltre al privilegio di fissare l'argomento da discutere e sviluppare durante il semestre. In tale occasione, proposi la completa revisione della intera rete europea dei corridoi ferroviari e autostradali transeuropei. La proposta fu accettata e, dopo un incessante lavoro all'interno del Consiglio dei 26 Paesi, venne approvata, in sei mesi e all'unanimità, una nuova configurazione della Rete TEN e delle Autostrade del Mare, che premiava l'Italia, con un risultato che può essere definito storico per il nostro Paese.

Per una gestione accurata del semestre italiano, ovviamente, vista l'occasione straordinaria, fu indispensabile porsi dei precisi obiettivi da raggiungere.

Il primo obiettivo, fu quello di agganciare l'Italia del Nord all'Europa, rendendo permeabile al traffico la barriera fisica delle Alpi e legando l'Italia al cuore dell'Europa attraverso i nuovi corridoi transeuropei con i nuovi trafori alpini, in Figura 11.

Il secondo obiettivo fu fornire alla nostra Penisola, con particolare riguardo al Sud, la possibilità di diventare protagonista all'interno della piastra logistica del Mediterraneo, come punta avanzata dell'Europa all'interno dei grandi traffici intercontinentali di uomini e merci, tra Suez e Gibilterra.

Il terzo obiettivo fu restituire all'Italia, con i suoi oltre ottomila chilometri di coste, la sua vocazione originaria di armonizzare, attraverso le autostrade del mare, i traffici di persone e merci, coniugando la funzione dei porti e dei retro-porti, come nodi intermodali, con il sistema arterioso e venoso di autostrade e ferrovie.

Fig. 11 - Opere transfrontaliere strategiche.

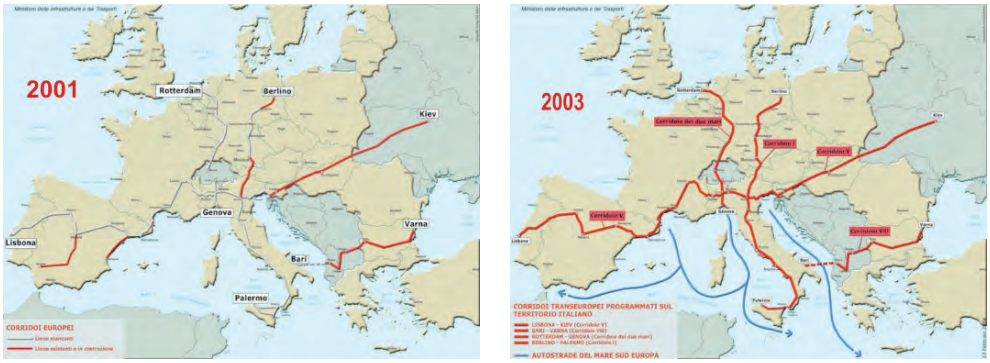


Fig. 12 - Le reti TEN: prima del 2001, a sinistra, e dopo il 2003, a destra.

Il quarto obiettivo fu quello di sbloccare, anche sotto il profilo dei finanziamenti europei, il riconoscimento delle delicate opere transfrontaliere strategiche, che avrebbero goduto dei contributi UE del 20% del loro valore:

– il Traforo ferroviario del Frejus sulla Torino-Lione, chiamato TAV, all'interno del Corridoio 5, Lisbona-Kiev;
– il Traforo ferroviario del Brennero sulla Verona-Monaco, all'interno del Corridoio 1, Berlino-Palermo;
– il Ponte sullo Stretto di Messina, all'interno del Corridoio 1, Berlino-Palermo.

I risultati che riuscimmo a portare a casa dalla Presidenza europea, nel seguito dettagliati, furono straordinari e sicuramente storici. Straordinari per aver dato vita allo scheletro portante del sistema trasportistico europeo, che ancora non esisteva. Storici, per avere regolato in termini definitivi, quindi intoccabili per il futuro, il flusso trasportistico di autostrade e di ferrovie, senza dimenticare il contributo indispensabile delle autostrade del mare, nate in quella occasione con i loro nodi intermodali. Questi risultati sono ben evidenziati nelle Figure 12 e 13. In particolare, la Figura 12 evidenzia il confronto tra la situazione delle Reti TEN Transeuropee prima del 2001, quindi prima della Presidenza Italiana del Consiglio dei Ministri dei trasporti dei 26 Paesi dell'UE, e quella dopo il 2003.

Il primo risultato vede il riconoscimento all'Italia di quattro corridoi transeuropei nell'ambito delle Reti transeuropee dei trasporti-TEN, che legheranno la nostra Penisola al resto dell'Europa: C1 Berlino-Palermo, C5 Lisbona-Kiev, C24 Genova-Rotterdam, C8 Bari-Varna, e le Autostrade del mare, in Figura 13.

Il secondo risultato testimonia come con la Presidenza Italiana della Unione Europea si ottenne lo spostamento del Corridoio 5 Lisbona-Kiev al di sotto delle Alpi, in corrispondenza della tratta Lione-Torino-Pianura Padana-Trieste, contrariamente

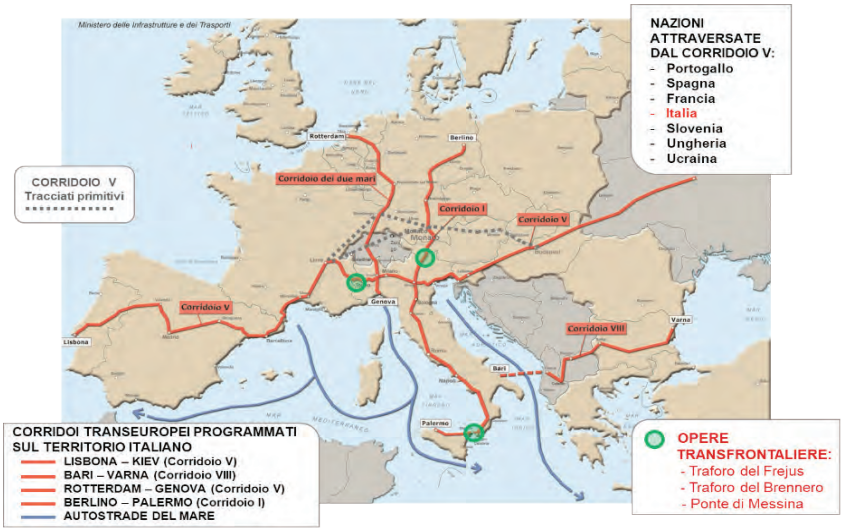


Fig. 13 - Rappresentazione grafica dei risultati raggiunti dalla Presidenza italiana dell'Unione Europea nel secondo semestre del 2003.

a quanto deciso dall'UE prima del 2003, che prevedeva il passaggio dello stesso Corridoio 5 a nord delle Alpi, come mostrato in Figura 13.

Come terzo risultato è stato ottenuto il riconoscimento dei due importanti trafori ferroviari Alpini del Frejus e del Brennero come "opere transfrontaliere", oggi in fase di avanzata costruzione, circa il 70%, dopo inutili e dannosi ritardi, sempre in Figura 13.

Come quarto risultato è stato ottenuto il riconoscimento di "opera transfrontaliera" anche al Ponte di Messina per dare la continuità indispensabile al Corridoio 1 Berlino-Palermo, ancora in Figura 13.

Il Ponte sullo Stretto, in Figura 14, sarà un'opera unica che, senza profanare il braccio di mare dello Stretto, ne conserverà la bellezza. Il mondo corre e non ci aspetta: esempio evidente è il ponte dei Dardanelli in Turchia, in Figura 14, inaugurato il 18 marzo 2022, che attualmente ha la campata più lunga al mondo, 2.023 m.

Conclusioni

L'area mediterranea è il vero baricentro dell'Europa, grazie al fatto che circa il 30% del traffico mondiale transita tra il Canale di Suez, recentemente raddoppiato, e lo Stretto di Gibilterra. Il Sud Italia, attivato il potenziamento portuale, trasportistico, stradale e ferroviario, rappresenterà la Porta di ingresso dell'Europa nel Mediterraneo, che avrà come grande calamita il Ponte sullo Stretto.

Fig. 14 - Rendering del Ponte sullo stretto di Messina, a sinistra, e del Ponte dei Dardanelli, in Turchia, a destra.

Oggi il Ponte è indispensabile all'Italia e alla Comunità Europea in quanto:

- la revisione delle Reti TEN-T, lo ha legato al Corridoio 1 Berlino-Palermo, che lega l'Italia all'Europa garantendo la continuità dei trasporti internazionali;
- contribuirà allo sviluppo socio-economico e turistico del Sud Italia diventando un collegamento stabile per 6.000.000 di persone;
- a oggi le Ferrovie hanno pianificato, finanziato e già affidato lavori per l'alta velocità ferroviaria, sia in Calabria sia in Sicilia, per un valore superiore ai 20 miliardi di euro;
- il completamento della rete trasportistica interna di Sicilia e Calabria permetterà il potenziamento strategico del sistema portuale al centro del Mediterraneo;
- a livello planetario, bloccherà la fuga dei trasporti mondiali dalla Rotta Gibilterra-Suez in favore della Rotta Baltica;
- libererà la Sicilia dall'insularità, il cui costo è stato quantificato in 6,5 miliardi di Euro all'anno e con due anni di Ponte in esercizio si potrà finanziare l'intera "Opera di Continuità Territoriale sullo Stretto".

Attualmente nel tempo medio che si impiega per attraversare lo stretto di Messina con qualsiasi mezzo, in autostrada si percorrerebbero almeno circa 290 km.

Bibliografia di riferimento

Legge 21 dicembre 2001, n. 443. Delega al Governo in materia di infrastrutture ed insediamenti produttivi strategici ed altri interventi per il rilancio delle attività produttive. Gazzetta Ufficiale n. 299 del 27 dicembre 2001, S.O. 279.

Decreto Legislativo 20 agosto 2002, n. 190. Attuazione della legge 21 dicembre 2001, n. 443, per la realizzazione delle infrastrutture e degli insediamenti produttivi strategici e di interesse nazionale. Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.199 del 26 agosto 2002, S.O. n. 174.

European Commission, Innovation and Networks Executive Agency. 2000-2006 project list.

Giovanni Mollica

Analisi storica della mancata realizzazione del Ponte sullo Stretto

Historical analysis of the failure to construction of the Messina Strait Bridge

Sommario
Negli ultimi decenni l'Italia ha perso terreno in Europa. A soffrire maggiormente è stato l'estremo Sud e l'emarginazione è stata sicuramente tra le ragioni più importanti di questa crisi, che è non solo economica ma anche sociale e culturale. Prometeia stima in 6,5 miliardi il costo che la sola Sicilia paga ogni anno per la mancanza di collegamenti efficienti con il resto del Paese e con la stessa Europa. In ogni epoca, e ancor più nell'era della globalizzazione che ancora condiziona pesantemente la distribuzione della ricchezza nel mondo, l'assenza di connessioni materiali e immateriali rallenta la crescita e mette in crisi il sistema sociale. Il Ponte sullo Stretto non svolgerà solo una fondamentale funzione di trasporto locale ma sarà anche un investimento sociale che innalzerà il livello di competenze del territorio, rallentando e invertendo un esodo di popolazione cresciuto a dismisura.

Abstract
In the last decades, Italy has lost ground in Europe. Mainly has been the extreme South who suffered and the marginalization has certainly been among the most important reason of these crisis, which is not only economic but also social and cultural. Prometeia estimated in 6.5 billion the cost that Sicily alone pays every year due to the lack of efficient connections with the rest of the country and Europe itself. In every era, and more in the age of globalization which still heavily influences the wealth distribution in the world, the absence of material and immaterial connections slows down growth and put the social system in crisis. The Strait Bridge will not only perform a fundamental local transport function but will also be a social investment that will raise up the level of skills in the area, slowing down and reversing an exodus of the population which has grown dramatically.

Introduzione

Un tempo la seta proveniente dal Catai era privilegio di pochissimi ricchi; oggi non c'è famiglia del mondo occidentale che non abbia un cellulare o un televisore a colori fabbricato in Estremo Oriente. È un modo un po' semplicistico ma anche significativo per descrivere una delle conseguenze della globalizzazione.

La data di nascita del termine non è nota, qualcuno sostiene sia nato poco prima della Seconda Guerra Mondiale, altri lo fanno risalire addirittura alla colonizzazione dell'America, ma acquista un significato preciso solo nei primi anni '80, quando la gente scopre che beni prodotti a migliaia di km di distanza sono facilmente disponibili a prezzi molto contenuti.

L'aspetto commerciale è, però, solo il più esteriore di una serie di trasformazioni che hanno inciso profondamente sugli assetti sociali del pianeta e continuano a evolversi in conseguenza di eventi geopolitici che si susseguono quasi senza interruzione. Agli effetti sociali, come l'accelerazione di un'urbanizzazione incontrollabile, centinaia di milioni di cinesi sono emigrati dalle campagne alle città, formando megalopoli pressoché ingestibili, si è aggiunto un radicale rinnovamento del trasporto a medio e lungo raggio, in particolare di quello via mare, dove la rapida diffusione dell'uso del container e il varo di navi sempre più grandi ha ridotto drasticamente i costi di spedizione per unità di prodotto.

Gli effetti

I governi più lungimiranti hanno compreso prima di altri come le nuove dinamiche avrebbero generato ricchezza e occupazione, grazie a una diversa e più raffinata concezione della logistica sulla base di nuovi modelli organizzativi e all'uso delle nuove tecnologie.

La constatazione che oltre il 75% dei trasferimenti di merci avviene via mare, prevalentemente tra l'Estremo Oriente, l'Europa e l'America, ha rivoluzionato la portualità e moltiplicato le attività che si svolgono nei retroporti, le cui dimensioni si sono ampliate a dismisura per gestire volumi sempre maggiori di merci in tempi sempre più ridotti. I binari ferroviari arrivano in banchina, così da consentire a gru sempre più grandi di caricare e scaricare le navi più rapidamente possibile.

Lo stesso accade col gommato mentre la vicinanza a un aeroporto è un fattore di preferenza per l'armatore.

Insieme alle "semplici" e tradizionali funzioni di scarico e scarico – ma movimentare migliaia di container lunghi una dozzina di metri e pesanti fino a 30 t. non è poi così facile – bisogna suddividere le merci, individuare la modalità di trasporto più conveniente e consegnarle al destinatario più rapidamente possibile e senza errori. Parametro fondamentale per giudicare l'efficienza di un sistema portuale è il *Transit time*, cioè il tempo che intercorre dal caricare le merci sul mezzo in partenza – qualunque esso sia – fino alla consegna all'utente finale. Un tempo che si somma a

quello del viaggio compiuto dal luogo di produzione e orienta le scelte degli armatori e degli agenti marittimi, determinando la fortuna di alcuni porti a danno di altri.

Se nel 2010 si calcolava in 10 giorni il tempo necessario per consegnare un carico sbarcato a Genova in una qualsiasi zona industriale del Nord Italia e in 12/13 giorni il *Transit time* verso la Svizzera o verso la Germania, è innegabile che l'efficienza dei porti liguri sia notevolmente migliorata [1] pur se è altrettanto vero che il sistema trasportistico legato agli scali del *Northern range*, l'arco portuale marittimo che parte da Le Havre, alla foce della Senna, e arriva ad Amburgo, alla foce dell'Elba, non ha tardato ad adottare contromisure [2]. Ebbene, lo stesso carico impiega sì 4/5 giorni in più per arrivare a Rotterdam[1], ma il porto olandese recupera ampiamente questo ritardo per portare le merci alla destinazione finale. Il vantaggio geografico derivante dalla relativa vicinanza del porto ligure a Suez si perde a causa della maggiore efficienza di quello sorto sul Rotte.

Il tempo diviene un fattore di costo [3], ne deriva che il trasporto via mare, certamente il più economico, sconta la maggiore lentezza rispetto al treno, al gommato e, ovviamente, al mezzo aereo. A complicare ulteriormente le scelte, interviene sempre più pesantemente la necessità di ridurre l'inquinamento che inverte i criteri di scelta in quanto la modalità più veloce, l'aereo, è anche la più inquinante. Analogamente, il gommato, indispensabile per l'ultimo miglio, produce una quantità maggiore di emissioni nocive rispetto al treno.

Gli scali che sono cresciuti di più e hanno prodotto maggiore ricchezza sono quelli che offrono tutte le modalità di trasporto, consentendo agli operatori del settore una scelta che si traduce in economia di costi, rapidità di consegna e minori prezzi dei beni sul mercato. Così accade che scali, pur strategicamente ben posizionati, non riescono ad attrarre i grandi flussi mercantili in quanto non sono in grado di fornire ciò che è richiesto dalla logistica moderna.

La marginalizzazione della Sicilia

Questa lunga premessa spiega come, in assenza di investimenti infrastrutturali – nei porti, nelle ferrovie, nella logistica – la globalizzazione abbia finito per penalizzare pesantemente il Mezzogiorno d'Italia. Quella che dovrebbe essere una formidabile rendita di posizione si è trasformata – per insipienza o calcolata difesa di interessi diversi – in dolorosa marginalizzazione. La Sicilia ne è un esempio lampante: unica isola al mondo con più di cento mila abitanti e distante dal continente meno di due miglia a non essere collegata stabilmente con la terraferma, movimenta una quantità di merci decisamente ridotta. In pratica solo quella che viene prodotta e consumata sul suo territorio. L'esatto opposto di Olanda e Belgio, come vedremo nel seguito.

Quella della Trinacria è un'anomalia planetaria che, invece di essere rapidamente sanata, è stata prorogata oltre il limite della ragionevolezza, a dispetto delle conseguenze negative causate all'intero Paese.

Una scelta essenzialmente "politica", consacrata da innumerevoli episodi apparentemente slegati che, lungi dall'essere casuali, hanno dimostrato di essere frutto di una coerente visione mirata alla difesa di interessi economici facilmente individuabili. Non vi sono valide ragioni economiche a sostegno della sospensione dell'iter dei lavori di costruzione del Ponte sullo Stretto, decisa dal governo Prodi nel 2006; né della cancellazione del suo finanziamento (2011) e dell'incredibile e definitiva caducazione dei contratti d'appalto già sottoscritti operata dal governo Monti nel 2012. Con il contorno di elementi meno noti che mostrano, da un lato, l'interesse del mondo nei confronti di un'opera tecnicamente straordinaria e, dall'altro, confermano la volontà di penalizzare la parte più fragile del Paese, a vantaggio di un'altra meglio rappresentata all'interno dei governi.

È stata ignorata dai media la proposta di due colossi cinesi come la *China Investment Corp*. e la *China Communication and Construction Co*. che, immediatamente dopo la definitiva interruzione dei lavori, si dichiararono disponibili a finanziare e realizzare l'opera. Così come è stato considerata ragionevole la proposta fatta dall'allora Premier Paolo Gentiloni e del suo Ministro dei Trasporti Graziano Delrio al Forum di Pechino del 2015 di offrire al Presidente Xi Jinping i porti di Venezia e Trieste quali terminali europei della *Belt and Road Initiative*, la Nuova Via della Seta. In spregio alla geografia, alle condizioni del Sud d'Italia e allo stesso buonsenso. Parafrasando Talleyrand, o Fouché[2], più che un crimine nei confronti del Sud, fu un errore strategico per il futuro del Paese. Gli stessi fallimentari risultati di quell'iniziativa avrebbero dovuto contribuire a un rapido cambio di strategia ma nulla di sostanziale è accaduto fino alla fine del 2021.

Le conseguenze per il Paese

Accantonata, o, meglio, mai presa seriamente in considerazione, l'idea di puntare sui porti più meridionali per captare i grandi flussi mercantili che attraversano il Mediterraneo lungo l'asse Est-Ovest, a un tiro di schioppo dalle coste di una Sicilia priva di scali competitivi e fortemente penalizzata dal *bottleneck* rappresentato dallo Stretto di Messina, la politica dei trasporti italiana proseguì nell'illogico tentativo di destinare gli investimenti in infrastrutture e logistica quasi esclusivamente alle «ascelle» (Spirito, 2022, p.90) tirreniche e adriatiche che hanno il loro punto di forza nei porti liguri e veneto-friulani. Ignorando la concorrenza di scali distanti solo poche decine di miglia come Marsiglia, a ovest, Koper (Capodistria) e Rijeka (Fiume) a est.

Quanto di preciso abbiano inciso queste scelte, autolesionistiche per il Paese, non certo per gli scali privilegiati, nel calo di competitività dell'Italia avvenuto nell'ultimo decennio del secolo scorso e nei primi due del XXI non è dato sapere, ma la perdita di posizioni del Paese è innegabile ed è stata rilevante: è impossibile negare che portualità e la logistica hanno giocato un ruolo determinante in un si-

stema economico mondiale globalizzato nel quale il ruolo della mobilità di merci e persone era decisivo.

È un fatto che il reddito pro capite dell'intero Paese è sceso «al di sotto della media comunitaria - nonostante essa ora comprenda anche i Paesi dell'Est; diventando inferiore a quello di inizio secolo» ed è altrettanto chiaro che buona parte delle sue difficoltà derivano «[…] proprio da una capacità assai modesta di adattamento alle nuove condizioni economiche e tecnologiche del nuovo quadro internazionale […]» (Viesti, 2021, p. 169).

Non è stato solo un problema del Sud: «Tutte le regioni italiane hanno perso terreno: il reddito pro capite del Piemonte e del Friuli Venezia Giulia era, nel 2000 il 131% della media comunitaria ma è sceso al 103% nel 2018; quello dell'Umbria è passato, nello stesso periodo dal 118% all'84%» (Viesti, 2021, p. 173).

Torna la domanda iniziale: come può crescere un Paese nel quale un terzo dei suoi abitanti non produce e non consuma?

Viene spontaneo chiedersi se queste decisioni siano state prese per incompetenza dei policy maker o siano derivate dai condizionamenti delle *lobby* che controllano la politica economica italiana e la stessa portualità. Fino al 2021, nessuna forza politica ha saputo giustificare questa mancanza di una visione strategica dettata dal buon senso e dalla geografia, ma è storia che, mentre la globalizzazione dispiegava tutta la sua potenza e alcuni Paesi – dentro e fuori l'Ue – si arricchivano grazie alla logistica, i governi italiani hanno ignorato con protervia i benefici ottenibili grazie alla collocazione dell'Italia e del suo Meridione al centro del Mediterraneo e dei grandi flussi mercantili intercontinentali. Significativo il caso dei Paesi Bassi: «Nel 2018, il commercio estero (esportazioni e importazioni di beni e servizi) rappresentava il 161% del PIL nei Paesi Bassi contro il 50% in Germania. Con i porti marittimi di Rotterdam, Amsterdam, Moerdijk, Terneuzen e numerosi aeroporti internazionali, i Paesi Bassi sono particolarmente ben attrezzati e rappresentano una piattaforma logistica indispensabile nel cuore dell'Europa» [4].

L'importanza di una logistica efficiente e al passo coi tempi

Ma è realmente così importante una rete logistica diffusa uniformemente sul territorio? AV e AC ferroviaria possono essere realmente determinanti per la crescita del Mezzogiorno? In termini di valore aggiunto e di contributo alla ricchezza del Paese, le infrastrutture contano così tanto da risollevare il depresso Pil italiano?

Per rispondere, usiamo il rozzo buon senso degli ingegneri senza perderci nelle raffinate analisi degli economisti: valgono di più centomila cellulari custoditi nei gli immensi stabilimenti di Dongguan o gli stessi centomila distribuiti capillarmente nei negozi di tutto il mondo?

La risposta è scontata e rende bene l'apporto dato da trasporto e distribuzione al Pil di un qualsiasi Paese in epoca di globalizzazione.

A conferma della grande importanza delle connessioni, è arrivato lo studio dell'Università Federico II di Napoli[3]che ha dimostrato come, nel decennio 2008-2018, le 12 città servite dall'AV ferroviaria hanno visto il Pil pro capite crescere del 10%, a fronte del 3% di quelle a distanza superiore alle due ore da una stazione AV. Non solo: un ulteriore approfondimento ha rivelato come la Tav conta più del reddito dal quale si parte: le prime, pur se situate in regioni "povere", sono cresciute dell'8%, a fronte di un misero 0,4% delle seconde.

Non è stato un fenomeno solo italiano: guardiamo cosa è accaduto negli altri Paesi dell'Ue, beneficiati dal disinteresse dell'Italia a rendere il Mezzogiorno competitivo. È del 3,1% il contributo dato dal Porto di Rotterdam al Pil dei Paesi Bassi. E sono oltre 90 mila i posti di lavoro generati da quel grande scalo. Il Porto di Anversa, a sua volta, partecipa al Pil belga, nettamente inferiore a quello olandese, per il 5% e 21 miliardi di valore aggiunto. In quegli stessi anni, Valencia e Algeciras hanno staccato Genova e Gioia Tauro, mentre il Pireo, in concessione alla Cina, è diventato il primo scalo del Mediterraneo. L'esempio più clamoroso è quello di Duisburg in quanto testimonia le sinergie che la logistica di sistema è in grado di creare tra porto e territorio circostante. Situata alla confluenza dei fiumi Ruhr e Reno, Duisburg era il cuore della grande e fortemente inquinante industria dell'acciaio tedesca; caduta in una profonda crisi una trentina d'anni fa, perse 6 mila ettari di aree industriali e 65 mila posti di lavoro, fino a quando venne scelta dalla Cina come terminale europeo della *Belt and Road Initiative*, la Nuova Via della Seta. Bruxelles non trovò nulla da obiettare e il grande porto fluviale fu rapidamente ammodernato per consentirgli di assolvere alle nuove funzioni.

Uno dopo l'altro, sorsero enormi *European Distribution Center*-EDC e *Distripark* nei quali trovarono lavoro qualificato e ben remunerato oltre 50 mila persone, per lo più dedicate alla gestione delle merci trasportate dalle stesse grandi navi che, uscite da Suez, erano passate a poche miglia dalla Sicilia. Senza toccarla.

In sintesi, la sola Rotterdam movimenta più container di tutti i porti italiani messi insieme ed è velleitario pensare che qualsiasi scalo italiano, da solo, possano farle concorrenza: troppo abissali sono le differenze orografiche con Genova, dove ogni sforzo volto a migliorare la competitività del porto costa miliardi su miliardi per generare benefici molto ridotti.

L'unica strategia possibile non è quella di trascurare alcuni porti a beneficio di altri o di competere con l'inavvicinabile Rotterdam, bensì di pianificare una portualità diffusa, cioè una rete di scali distribuiti strategicamente lungo i settemila km delle nostre coste e collegati con la rete TEN-T europea.

C'è una certa somiglianza tra portualità e turismo. Negli anni '50-'60 l'Italia era il Paese più visitato al mondo, negli anni seguenti ha perso una posizione dopo l'altra. Ora è al quarto o quinto posto, pur avendo tesori inestimabili distribuiti su tutto il territorio.

Venezia, Roma e Firenze, per nominare le prime tre città d'arte italiane, sono pressoché sature e non riusciranno a crescere in modo rilevante senza penalizzare la qualità dei servizi offerti, con costi notevolissimi. Hanno, invece, grandissimi margini di crescita le decine e decine di gioielli meno noti, sparsi in ogni angolo del Paese. Una situazione analoga a tanti porti italiani, a condizione di attrezzarli e specializzarli opportunamente dal punto di vista logistico e collegarli in rete.

È necessaria una visione politica a medio-lungo termine che non venga radicalmente modificata a ogni cambio di maggioranza. Una strada, un ponte, un porto non sono né di destra né di sinistra ma rappresentano, spesso, la precondizione per una crescita diffusa e sostenibile.

Il mondo è cambiato e continua a cambiare. Qualcuno l'aveva capito

A cavallo tra fine Ottocento e primi del Novecento, due grandi meridionalisti come Giustino Fortunato e Francesco De Sanctis predicavano, inascoltati, che non c'è sviluppo senza coesione, non c'è coesione senza mobilità e non c'è mobilità senza infrastrutture[4].

In altre parole, se non si recupera il ritardo infrastrutturale del Meridione, l'Italia intera resterà un Paese di serie B o C perché non potrà mai crescere un Paese nel quale un terzo dei suoi abitanti non produce e non consuma.

Il Mezzogiorno possiede una dotazione di infrastrutture e servizi di trasporto nettamente inferiore alla media italiana[5] ed europea[6]. Un terzo d'Italia manca dei requisiti indispensabili per crescere, trasformando un vantaggio geografico in una penalizzazione. Ma, contrariamente a quanto molti pensano, non sono le infrastrutture di base a essere carenti, bensì quelle più avanzate. «La sola Sicilia ha una dotazione di strade provinciali e regionali pari a quella dell'intero Nord Ovest» (Viesti, 2021, p. 382), una constatazione che rende ridicola e priva di significato l'obiezione più diffusa negli ultimi tempi: prima del Ponte pensiamo alle opere locali[7].

Una contestazione smentita dalla stessa Ue, che richiede che la Rete centrale, il *Core Network*, formata dai grandi Corridoi sovranazionali, sia completata entro il 2030; mentre per il completamento della prima a livello locale, il *Comprehensive Network*, c'è tempo fino al 2050[8].

Per altro, che siano le grandi arterie a creare ricchezza è ampiamente documentato dalla storia, oltre che dall'Economia dei trasporti. Samarcanda prosperò rapidamente quando, nel XIV secolo, divenne il crocevia delle carovaniere provenienti da Est e dirette all'Ovest, cariche di sete e spezie. Ma la sua ricchezza si squagliò come neve al sole solo pochi secoli dopo, allorché furono trovati itinerari più convenienti. Il declino di Samarcanda iniziò proprio perché fu resa marginale nei grandi flussi commerciali del tempo.

Al contrario, intere regioni sono diventate ricche quando, da lontane e difficilmente raggiungibili qual erano, entrarono a far parte di grandi "armature trasportisti-

che". Illuminanti, in tal senso, le parole con le quali il Presidente delle Ferrovie russe, Vladimir Yakunin, propagandò il progetto *Razvitie*, Sviluppo. Un modo simile a quello utilizzato da Xi Jinping per promuovere la *Belt and Road*, basato sul concetto secondo il quale «un grande asse infrastrutturale irradia sviluppo nei territori attraversati». Un principio che Yakunin vuole applicare alle immense distese della Siberia e Xi alla Cina sud occidentale. Entrambi con un occhio rivolto alla Mongolia, ma che è valido, su scala ovviamente molto minore, anche per il nostro Mezzogiorno.

Illuminante il caso dell'imponente crescita dell'Ovest americano nella seconda metà del XIX secolo. In un secolo e mezzo, il Pil dello Stato della California è arrivato a superare del 30% quello dell'intera Italia, pur con 20 milioni in meno di abitanti, e l'impulso iniziale non fu dato dai *Conestoga*, i carri coperti protagonisti di tanti western, o dalle Colt di John Wayne, bensì dal *Pacific Railroad Act* del 1862, col quale Abraham Lincoln prolungò la ferrovia fino alle rive del Pacifico. Era chiaro per tutti che l'America, per crescere rapidamente e in modo uniforme – allora la parola "sostenibile" non era ancora diffusa – doveva connettersi ai territori periferici e ridurre i tempi e i costi di trasferimento delle persone e delle merci da un lato all'altro del Paese. Nessuno ebbe il coraggio di sostenere che, prima della Omaha-Sacramento, il primo itinerario approvato dal Congresso nel 1862, andavano realizzate la Los Angeles–San Diego e la San Francisco-Seattle.

L'Italia ha pagato duramente errori strategici che hanno avuto e continuano ad avere conseguenze tragiche sulla qualità della vita e sullo spopolamento di una parte rilevante del Paese. Tra tutti i capoluoghi dell'Ue, Messina registra il calo maggiore del numero di abitanti. Reggio Calabria segue a ruota, come anche le altre città siciliane e calabresi. Brusca smentita della profezia secondo la quale la logistica sarebbe stata per l'Italia quello che era il petrolio per i Paesi arabi.

Il Ponte sullo Stretto come segnale di una nuova strategia

Tornando al Ponte, c'è chi chiede, provocatoriamente, se basterebbe a risolvere tutti i problemi del Paese. Ovviamente no, ma mostrerebbe l'attenzione dell'Italia e dell'Europa verso la sponda sud del Mediterraneo, assegnando alla prima un ruolo, un prestigio e un'autorevolezza che il Nord Europa non le ha mai riconosciuto.

C'è però un'altra funzione del Ponte che teniamo particolarmente a sottolinearne: quella di Opera territoriale. Un modello di «[…] approccio decentrato ed integrato alle politiche economiche, occupazionali e sociali. Decentrato perché il livello che rileva è quello sub-nazionale e, nella maggior parte dei casi, sub regionale» nel quale «[…] le azioni di sviluppo locale implicano un'attivazione più o meno accentuata degli attori locali pubblici e privati […] e tendono a essere valutate positivamente proprio perché insegnano agli attori locali, nei casi in cui essi non siano già capaci di farlo, a porsi obiettivi comuni e a cooperare per raggiungerli. [...] spingendo gli attori a creare dei veri e propri *policy networks*, che si caratterizzano per le relazioni

di fiducia e cooperazione tra attori provenienti da ambiti diversi, ma impegnati a perseguire gli stessi obiettivi di sviluppo della realtà territoriale in cui operano»[9]. Una visione straordinariamente interessante e adeguata alla dimensione epocale dell'opera in quanto spazia tra aspetti locali e continentali senza soluzione di continuità. Una visione che va valutata e tradotta in azioni concrete per non incorrere in abbagli o trascurare nessuna delle innumerevoli potenzialità.

Negli ultimi decenni, la principale iniziativa dell'Ue è stata la Politica di Coesione, che ha come obiettivi la crescita economica equilibrata, la creazione di posti di lavoro, la competitività delle imprese, lo sviluppo sostenibile e la protezione dell'ambiente. Con particolare riguardo ad aree arretrate. È paradossale che, almeno fino al 2021, siano stati proprio i governi italiani a disattendere queste indicazioni. Un rapporto[10] di Prometeia[11] indica in oltre 6 miliardi il danno causato alla sola Sicilia dalla mancanza di un collegamento stabile ed efficiente. Una somma enorme che ha inciso e continua a incidere sul bilancio di un Paese che non può permettersi questi errori.

Un Paese povero di materie prime; afflitto da un enorme debito pubblico; con un'agroalimentare mortificato dalle regole comunitarie; una Ricerca e Sviluppo che non decolla per mancanza di risorse adeguate e una grande industria trasferita dove il Fisco è più favorevole non ha altra strada che utilizzare i doni che Geografia e Storia gli hanno concesso.

Uno sguardo al domani

La globalizzazione, pur con i suoi inconvenienti, rappresenta un'opportunità e il Ponte è lo straordinario strumento che consente di coglierne gli aspetti più favorevoli: «[…] mentre il capitalismo è diventato completamente mobile – grazie alla estrema facilità di trasferimento del denaro da una parte all'altra del mondo in frazioni di secondo -, la mobilità è diventata compiutamente capitalistica» (Spirito, 2022, p. 11). Il Ponte sullo Stretto, come un'Expo della durata di alcune decine d'anni, può dare origine a un fenomeno *win-win*, determinato anche dalla complementarietà tra logistica meridionale e manifattura settentrionale, secondo il principio per il quale la realizzazione di una nuova connessione dischiude nuove opportunità e rappresenta l'elemento fondamentale per la creazione di ricchezza.

«Aprire nuove vie di comunicazione è tornato a essere non solo una priorità economica ma anche un assetto strategico – pensiamo a un Piano Mattei esteso alle infrastrutture – per il posizionamento degli Stati nello scenario della nuova politica internazionale» (Spirito, 2022, p. 14). La Blu Banana[12] ha colpevolmente ignorato le aree che si stanno rivelando decisive per determinare i nuovi equilibri nel Mediterraneo centrale. «L'intera portualità meridionale europea è rimasta un fronte scoperto, mentre la globalizzazione ha costruito una centralità marittima che è tale non solo per la costruzione delle catene del valore industriale, ma anche per la definizione delle sfere di influenza» (Spirito, 2022, p. 15) geopolitiche.

Appare paradossale che il ritardo nell'interpretare i cambiamenti avvenuti nel panorama euromediterraneo abbia finito per marginalizzare l'intera Europa ed esaltare la funzione del Ponte e del luogo ove deve sorgere, nonché di chi si accinge a costruirlo. Per altro, l'alternativa non può essere continuare a proteggere le lobby che ostacolano lo sviluppo degli scali e delle infrastrutture ferroviarie meridionali. «Dagli anni Settanta si assiste a una caduta tendenziale del saggio di crescita medio annuo del prodotto effettivo e del prodotto potenziale della nostra economia. Negli anni Settanta il saggio di crescita effettivo è stato del 3,6%; negli anni Ottanta il saggio di crescita effettivo è stato del 2,4% e quello potenziale del 3%; negli anni Novanta: effettivo 1,5%; potenziale 2%; nel 2001-2003: effettivo tra 0 e 1%, potenziale tra 1 e 2%» [5]. Lo stesso accorciamento delle catene di approvvigionamento, preconizzato da più parti, rafforza ulteriormente tale visione: solo 140 km dividono Capo Bon da Mazara del Vallo, dove interi quartieri vedono convivere serenamente siciliani e arabi, secondo l'antica tradizione di tolleranza e di ospitalità siciliana.

In definitiva, a nostro parere, la realizzazione immediata del Ponte sullo Stretto rappresenta l'unica vera speranza di rilancio di un Sud e di un'Italia anagraficamente sempre più anziani e sfiduciati dalla mancanza di prospettive per i loro giovani. Non c'è altra scelta.

Bibliografia

Corrado G. 2021. *Giustino Fortunato e le due Italie*. Calvello: Villani Editore.
Fortunato G. 1927. *Le strade ferrate dell'Ofanto: 1880-1897*. Firenze: Vallecchi.
Spirito P. 2022. *Il nuovo capitalismo della mobilità*. Napoli: Guida Editori.
Viesti G. 2021. *Centri e periferie*. Bari: Editori Laterza.

Sitografia

[1] https://www.shippingitaly.it/2022/10/27/sfatato-da-pitto-fedespedi-il-mito-dei-5-giorni-di-navigazione-a-vantaggio-dei-porti-italiani/
[2] https://www.lastampa.it/cronaca/2017/01/02/news/span-id-u11005470353784ef-i-600-mila-container-span-perduti-di-genova-1.34662296/
[3] https://it.readkong.com/page/time-is-money-una-valutazione-alternativa-dei-diva-ri-8033029
[4] https://www.asefibrokers.com/notizie/i-segreti-del-commercio-olandese-secondo-coface
[5] https://www.italianieuropei.it/it/la-rivista/archivio-della-rivista/item/610-le-cause-del-declino-italiano.html
[6] https://www.shippingitaly.it/2022/10/27/sfatato-da-pitto-fedespedi-il-mito-dei-5-giorni-di-navigazione-a-vantaggio-dei-porti-italiani/
[7] https://www.shippingitaly.it/2022/10/30/cozzani-psa-la-media-dei-transit-time-conferma-i-5-giorni-di-vantaggio-per-litalia/
[8] https://www.ilsole24ore.com/art/italia-divisa-due-tav-pil-7percento-citta-collegate-ACCZKIFB?refresh_ce&nof
[9] https://www.italianisti.it/pubblicazioni/atti-di-congresso/letteratura-e-scienze/TAVELLA.pdf

[10] https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/collana-seminari-convegni/2022-0025/n-25_mezzogiorno.pdf
[11] https://www.astrid-online.it/static/upload/ance/ance6.pdf
[12] https://www.stradeanas.it/it/le-strade/la-rete-anas
[13] https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/135/reti-transeuropee-orientamenti
[14] https://pti.regione.sicilia.it/portal/pls/portal/docs/152367673.PDF

Note

[1] Non tutti sono d'accordo con questa tesi. C'è chi la nega [6] e chi la conferma [7].

[2] L'origine della frase è controversa: c'è chi l'attribuisce al primo, chi al secondo. Indubbiamente, però, entrambi erano sufficientemente cinici per pronunciarla.

[3] Il prof. Ennio Cascetta, professore ordinario di Pianificazione dei Trasporti ed ex capo della Struttura Tecnica di Missione del Ministero delle Infrastrutture, ha diffuso questi dati sul Sole 24ore del 30 Gennaio 2020 sotto il significativo titolo: Italia divisa in due dalla Tav: Pil a +7% nelle città collegate [8].

[4] Concetto facilmente deducibile dalla lettura delle opere dei due grandi meridionalisti. Del primo citiamo (Fortunato, 1927, p.331) e l'approfondimento (Corrado, 2021, p. 214); mentre del grande storico irpino basta citare la frase: «Venga la ferrovia e in picciol numero di anni si farà il lavoro di secoli», acutamente evidenziata da Chiara Tavella nella presentazione del suo lavoro su De Sanctis [9].

[5] «Nel caso delle reti di trasporto stradali e ferroviarie le difficoltà di accesso più rilevanti riguardano le isole, la Calabria e le aree appenniniche interne in ragione della loro maggiore distanza dalle direttrici autostradali e dagli snodi delle linee ferroviarie ad alta 56 velocità, in Figura 5.1; un maggiore ritardo delle regioni meridionali si riscontra anche per i collegamenti aerei e quelli marittimi, in particolare in relazione al traffico merci».

[6] «[…] le infrastrutture per la competitività diventano un fattore di crescita non soltanto in virtù di un necessario e non rinviabile recupero del gap che divide sempre più il Sud dal resto del Paese e dell'Europa, ma, soprattutto, in un'ottica di integrazione e di sviluppo delle attività economiche. Solo così si comprende come il ritardo nella dotazione infrastrutturale diviene, sempre più, un freno alla crescita del Paese, in generale, e del Mezzogiorno, in particolare» [11, p. 5].

[7] La rete stradale della Sicilia ha uno sviluppo complessivo di 3.915,318 km; quella del Piemonte di 1.607,739 km; quella del Lazio di 1.255,749 km; quella della Campania di 1.465,454 km; quella della Lombardia di 1.923,578 km; quella del Veneto di 729,383 km; quella della Calabria di 1.975,482 km.

[8] Sono decine i documenti della Commissione europea dei Trasporti che inducono gli stati membri a completare le due Reti entro i tempi assegnati. Per brevità segnaliamo le Note tematiche del Parlamento europeo che, relativamente alla Revisione della RETE-T del 2021, così recita: «In particolare, la rete di alta qualità deve essere gradualmente completata in tre fasi: 2030 per la rete centrale, 2040 per la rete centrale estesa, introdotta di recente, e 2050 per la rete globale. Gli assi più importanti della rete centrale e della rete centrale estesa che rappresentano il più elevato valore aggiunto dell'UE sono raggruppati in nove corridoi di trasporto europei» [13].

[9] Fondazione Marco Biagi, Scheda che fornisce un quadro comparato delle politiche di sviluppo locale nei 25 Stati membri dell'Unione europea.

[10] «A causa della condizione di insularità, negli ultimi vent'anni, ogni singolo residente in Sicilia (neonati compresi) avrebbe pagato una sorta di tassa occulta quantificabile, annualmente, in 1.308 euro. Un costo che si traduce in circa sei miliardi e 540 milioni di euro (pari al 7,4 per cento del Prodotto interno lordo regionale) ogni dodici mesi. Tenendo, invece, in considerazione i costi dei trasporti e le conseguenze sugli operatori economici e i vari settori di attività, la stima dell'impatto della riduzione dei prezzi sul Pil risulterebbe pari al 6,8 per cento: il risultato è che l'Isola è gravata di una penalità quantificabile in sei miliardi di euro all'anno» [14]. Con queste parole il Vicepresidente della Regione siciliana e assessore all'economia, prof. Gaetano Armao ha presentato lo studio Stima dei costi dell'insularità siciliana del 2020, aggiungendo: «Gli effetti dell'insularità sulla Sicilia sono stati stimati attraverso due differenti approcci metodologici: il modello econometrico definito dall'Istituto Bruno Leoni e il modello multisettoriale della Regione. Si è tenuto conto di svariati fattori che spaziano dalla dotazione infrastrutturale ai costi di trasporto».

[11] Associazione per le previsioni econometriche con sede a Bologna, fondata da P. Onofri, R. Prodi e A. Tantazzi nel 1974, specializzata nei servizi di *risk management, wealth management, asset management* e consulenza finanziaria

[12] Così sono state chiamate le aree con le maggiori probabilità di sviluppo economico e demografico dell'Europa occidentale.

Mario Di Paola, Giuseppe Muscolino

Evolution of viscoelastic dissipative models for structural systems crossed by moving loads

Evoluzione dei modelli dissipativi viscoelastici per sistemi strutturali attraversati da carichi mobili

Abstract
An excursus on various models developed to represent viscoelastic materials from the end of the 19th century until the last decades is presented. To do this, the force-displacement relations for both the classical and fractional models are described. The former leads to integer-order differential equations, while the latter leads to fractional differential equations. Finally, some considerations are made on the effects of these models on the dynamic behavior of the "Messina Strait Bridge".

Sommario
Viene eseguito un excursus sullo sviluppo di vari modelli per rappresentare i materiali viscoelastici dalla fine del XIX secolo fino agli ultimi decenni. A tal fine, vengono descritti i legami forza-spostamento sia per il modello classico che per quello frazionario. Il primo porta a equazioni differenziali di ordine intero, mentre il secondo a equazioni differenziali di ordine frazionario. Infine, vengono effettuate alcune considerazioni sugli effetti di questi modelli sul comportamento dinamico del Ponte sullo Stretto di Messina.

Introduction
A suspension bridge is basically a simple structure, with a "serial type" static behavior in carrying permanent loads. In particular, the loads are applied to the deck, conveyed to the main cable through the hangers and transmitted to the ground through the tower and the anchor blocks.

Since for suspended bridges the size of cables increases with the span it follows that for the "Messina Strait Bridge", main span length 3,300 m, the cable becomes the heaviest and most expensive component of the superstructure (Muscolino, 2014). It follows that limiting the cable weight is the most fundamental design target to be achieved (Brancaleoni *et al*., 2010). In particular, it has been shown that the final design, in Italian *Progetto definitivo*, for the "Messina Strait Bridge" has a structural deck weight of about 25 t/m, with an average cable weight of 32 t/m. Moreover, one

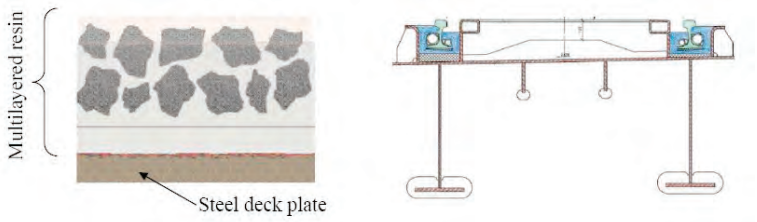


Fig. 1 - Schematic view: roadway pavement, on the left, and embedded rail system, on the right.

extra ton of the deck weight implies more than one and a half tons in the main cable (Brancaleoni *et al*., 2010).

In the "Messina Strait Bridge" to limit dead loads, the multiple box solution has been chosen for the deck. Furthermore, to reduce the weight of roadway pavement, a thin three-layer resin, composed of a lower primer layer of 0.3 mm (pure resin), a central membrane layer of 2.0 mm (pure resin) and a wearing course layer of 8-9 mm (resin with sand and chippings), has been provided for the roadway, in Figure 1. The weight of the described multilayer resin is much lower than the weight of more traditional asphalt-based pavement systems (Polk *et al*., 2011). To reduce the weight of the railway equipment, an embedded rail system, in Figure 1, originally developed for tramways and light rail systems, was proposed. This embedded rail system is 15-20% lighter than conventional systems. The application of embedded rail systems on long-span steel bridges is quite new and only limited experience is presently available (Polk *et al*., 2011).

Another non-secondary aspect is the reduction of vibrations induced by road and railway moving loads that cross the bridge; for this reason, the viscoelastic materials that make up road pavements and railway pads must be appropriately modeled.

Recently, the interest of researchers has been devoted to the evaluation of the dynamic response of beams crossed by moving loads and resting on elastic or viscoelastic foundations (pads). In this paper, various rheological models used over the years to model both road pavements and railway pads are described starting from the crudest Winkler model (Younesian *et al*., 2019). Subsequently, the fractional viscoelastic models that best approximate the experimental behavior of the materials, recently used in the construction of both road pavements and railway pads will be described, see Figure 2.

Finally, it is worth mentioning that the compresence of three different materials (steel, pure resin, resin with sand and chippings) not only locally reduces the induced vibrations due to moving loads, but also modifies the entire behavior of the bridge deck. It follows that the viscoelastic phenomenon has to be taken into account during the structural monitoring for capturing the reduction of vibrations due to the viscoelasticity of the multilayer resin.

Fig. 2 - Schematic view of a load p moving with velocity v: roadway system, on the left, and rail system, on the right.

Classical models of viscoelastic materials

In materials science and continuum mechanics, viscoelasticity is the property of materials that exhibit both viscous and elastic characteristics when subjected to deformation. In the 19th century, physicists James Clerk Maxwell (1831-1879), Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906), Woldemar Voigt (1850-1919), and William Thomson, alias Lord Kelvin, (1824-1907) studied the phenomena of creep and relaxation of various materials, including glass, metals, and rubbers. It is useful to remember that creep is the evolution of the displacement that increases when a constant force is applied to the material, while relaxation is the evolution of the internal force that decreases when a constant displacement is applied (Kelvin, 1865; Boltzmann, 1876; Voigt, 1892).

Viscoelastic materials are those materials that exhibit a mechanical behaviour intermediate between those of elastic solids and viscous fluids. Elastic solids are solids which experience deformations proportional to externally applied loads through a material parameter, the modulus of elasticity, and that return to their initial configuration once the loads are removed. The elastic behaviour is represented by a spring, and the relation between the restoring force and displacement is referred to in the literature as Hooke law, see Figure 3. Any force $F(t)$ applied to a purely elastic material immediately causes a correspondent displacement $u(t)$, and when the force is removed the displacement immediately disappears, as shown in Figure 3. This also

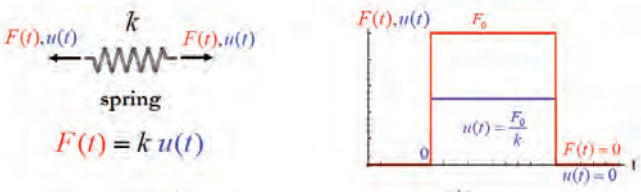


Fig. 3 - Hooke law: force-displacement relationship, on the left, and force and displacement variation over time, on the right.

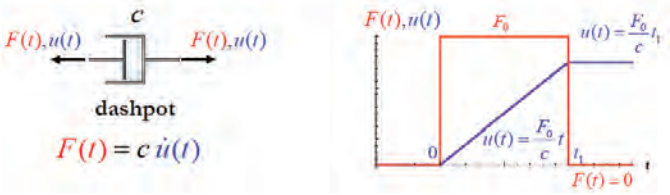


Fig. 4 - Newton-Petroff law: force-velocity relationship, on the left, and force and displacement variation over time, on the right.

means that the Hooke material is able to store the work done by external loads and give it back when the loads are removed, without any loss of energy.

Viscous fluids, instead, do not possess their own shape and are characterized by the fact that the internal stress is proportional to the displacement rate through the so-called viscosity, a parameter of the fluid itself; in particular, for Newtonian fluids the viscosity is a constant that does not depend on the velocity of deformation. The viscous behaviour is represented by a dashpot, and the relation between the applied force and displacement is referred to in the literature as Newton-Petroff law, see Figure 4. Notice that even if the relations between the force and displacement of the spring and the dashpot are similar, they describe very different behaviours. In fact, Hooke law does not depend on time. On the contrary, the Newton-Petroff model is not able to store energy and all the work done by the external load is transformed into heat. As a consequence, the viscous fluid flows and does not return to the initial configuration when the loads are removed. For this reason, this model is usually used to represent the damping or dissipation of materials, in Figure 4.

The energy dissipation that occurs during the cyclic deformation of real structures can be described within the framework of the linear theory of viscoelasticity.

In the context of beams crossed by moving loads, Emil Winkler (1835-1888) first modelled an Euler–Bernoulli beam on an elastic foundation (Winkler, 1867). This model of foundation soil is based on the hypothesis that every reaction point is proportional to the point's displacement, and the springs are linear and independent. The main shortcoming of the Winkler model is the lack of viscoelastic behaviour and the inability to dissipate energy.

Afterwards, several models have been proposed in the literature to represent the foundation soil/pad of beams as a viscoelastic material. The first rheological models of viscoelastic materials were made up of the combination of a spring and a damper. Due to the presence of the viscous part, the mechanical behaviour of viscoelastic materials is time-dependent. Two phenomena related to the viscosity of the material which exerts its effects over time are creep and relaxation. These phenomena can be described by the creep and relaxation functions. Such functions are able to com-

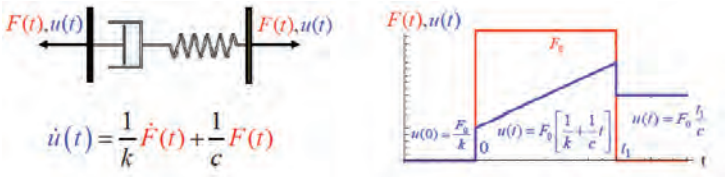


Fig. 5 - Maxwell model: force-velocity relationship, on the left, and force and displacement variation over time, on the right.

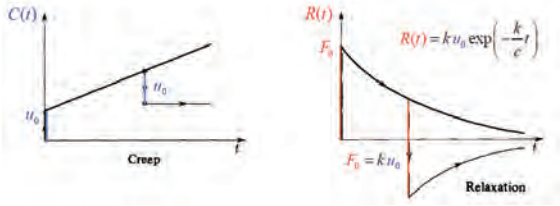


Fig. 6 - Maxwell model: creep function, on the left, and relaxation function, on the right.

pletely describe the time-dependent behaviour of viscoelastic materials and are also involved in their relation between force and displacement.

The simplest classical viscoelastic models are: the Maxwell model (spring and dashpot in series) and Kelvin–Voigt model (spring and dashpot in parallel). The Maxwell model, depicted in Figure 5, is characterised by the fact that both the spring and the dashpot experience the same force/stress, while the displacement/strain is the sum of the displacement of the spring and of the dashpot. The physical behaviour of this model is shown in Figure 5. In particular, if a displacement is applied at the initial instant t=0, the spring deforms instantaneously while the dashpot behaves like a rigid element since the incompressible fluid does not have the time to flow inside. Subsequently, the fluid inside the dashpot flows from one chamber to another of the dashpot. Since the total displacement must remain constant, the elastic deformation of the spring tends to decrease, and at the end the spring unloads. In the final state, a residual displacement remains.

In Figure 6, the creep function, $C(t)$, and relaxation function, $R(t)$ for the Maxwell model are depicted. The first describes the evolution of the displacement over time, when a constant force is applied to the material; while the second represents the evolution of the internal force over time when a constant displacement is applied. Although the relaxation function, depicted in Figure 6, is acceptable to fit experimental data (but it is not the best possible fitting for many viscoelastic materials), the creep function disagrees with experimental evidence, because the strain increases linearly indefinitely, as it may be observed in Figure 6. For this reason,

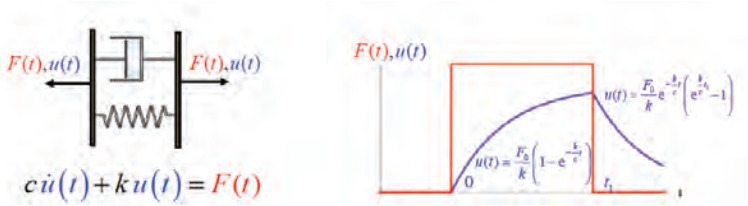


Fig. 7 - Kelvin-Voigt model: force-displacement relationship, on the left, and force and displacement variations over time, on the right.

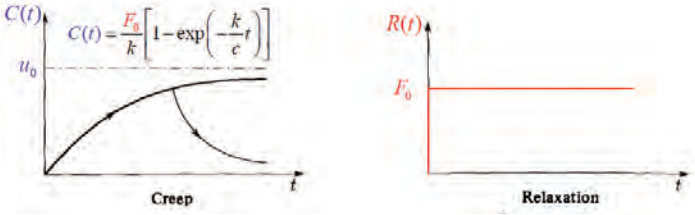


Fig. 8 - Kelvin-Voigt model: creep function, on the left, and relaxation function, on the right.

this model is not suitable to reproduce the mechanical behaviour of real viscoelastic materials.

The Kelvin Voigt model, see Figure 7, is the dual of the Maxwell one since the elements are connected in parallel. However, the physical behaviour is totally different compared to the Maxwell model. Indeed, for the Kelvin Voigt model the force in the spring and that in the dashpot are different from each other but the displacement of the two elements must be the same, as shown in Figure 7. It follows that when a force is applied the resulting displacement is not linear, and it slowly decreases to zero once the force is removed.

Differently from the Maxwell model, in this case, the creep function, depicted in Figure 8, can be considered acceptable to fit experimental data, although it is not the best choice for correct fitting. The relaxation function, instead, is totally in disagreement with experiments, because it is constant, see Figure 8.

The Maxwell and the Kelvin-Voigt models are not able to reproduce both the creep and relaxation behaviours. For this reason, other viscoelastic models composed of more elements have been developed. Indeed, by using more than two simple elements, it is possible to define viscoelastic mechanical models that are able to reproduce both the creep and the relaxation behaviour. Changing the way the springs and the dashpots are linked, different viscoelastic behaviours may be represented. The most common of these models are the three parameters Standard Linear Solid-SLS and Zener model, shown in Figure 9.

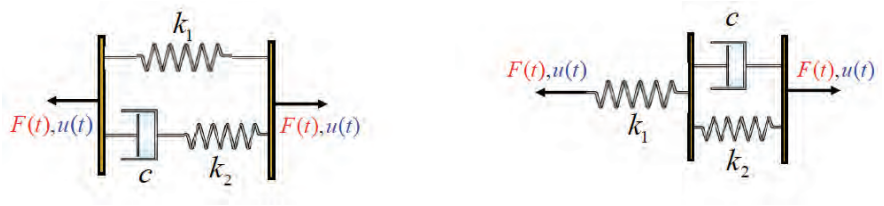


Fig. 9 - Relation between the restoring force and displacement: Standard Linear Solid model and Zener model.

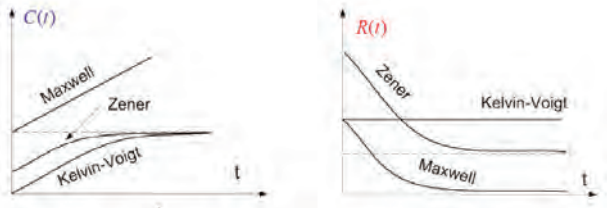


Fig. 10 - Schematic view for three models of creep function, on the left, and relaxation function, on the right.

For completeness, Figure 10 qualitatively compares the creep and relaxation functions pertaining to the Zener model with those of Maxwell and Kelvin-Voigt. Similar results are obtained for the case of the Standard Linear Solid model.

More complex models have been proposed in the literature that combine more than three elements between spring and dashpot. A complete description can be found in the paper by Younesian *et al*. (2019), where a comprehensive review of different theoretical elastic and viscoelastic foundation models in oscillatory systems is presented. Note that all classical mechanical models including various combinations of linear springs and dashpots always lead to differential equations of the integer-order. Moreover, these models show inconsistency in time-dependent properties, and also for the strong frequency-dependent of the loss factor (Praharaj and Datta, 2020).

Fractional models of viscoelastic materials

In engineering, mathematical models must describe a physical reality. In capturing viscoelastic behaviour, experimental tests play a fundamental role, since they allow to build up theoretical constitutive laws very useful for simulating their own behaviour. Therefore, the viscoelastic models must be able to capture the creep and relaxation functions obtained from laboratory tests, even more so when new materials must be used. Around the twenties of the 20th century, Nutting (1921) focused his attention on the study of the viscoelastic behaviour of materials. He conducted

several experiments which led him to assert that the two equations used to describe perfectly elastic solids and perfectly viscous fluids, apparently completely different, were in reality particular cases of a single general law. Furthermore, from the best-fitting of the experimental data, he realized that the deformation-time relationship was not well described by laws in which the dependence on the time variable was given by an exponential type function, as obtained by classical models, but rather the curve that interpolated the points well for every material (steel, concrete, polymers, glass etc.) must necessarily be a power law, and proposed the following law:

$$u(t) = a\, t^n F^m \tag{1}$$

This equation expresses the law of variation of the displacement as a function of time as the applied force varies. The constants n and m, characteristic of the individual material, vary as the temperature varies. The constant a depends on the type of test. For n=0 and m=1, the Hooke law is obtained, while for n=1 and m=1 the Newton-Petroff law is obtained. Furthermore, from the experimental results, Nutting observed that values of n ranged between 0.2 and 0.91, while those of m between 0.75 and 3.5. Values of n close to zero were characteristic of materials with solid behaviour, while values close to unity denoted behaviour more similar to the liquid state. Nutting's experiment and his observation showed how the classical models, even the most complex and elaborate ones, obtained as a combination of Maxwell and Kelvin-Voigt models, in which the relationship between the response and the time variable is of exponential type, are not adequate to simulate the real behaviour of the materials (Alotta, 2016; Colinas-Armijo, 2017). Indeed, equations involving the integer order derivative, for very long times, always lead to constant values for both the unit force and displacement imposed at the initial time. This contrasts with the physical phenomenon where the creep and relaxation functions are always monotonically increasing and decreasing, respectively.

Starting from the observation by Nutting, it can be proved that the creep function, $C(t)$, and relaxation function, $R(t)$, for unitary initial load and displacement, can be written respectively as:

$$C(t) = \frac{t^{\beta}}{C_{\beta}\,\Gamma(1+\beta)},\; R(t) = \frac{t^{-\beta}}{C_{\beta}\,\Gamma(1-\beta)};\quad 0 \le \beta \le 1 \tag{2}$$

where $\Gamma(\cdot)$ is the Euler's gamma function interpolating all factorials. In Figure 11, the creep and relaxation functions for different values of β are depicted. It should be emphasized that the creep and relaxation functions given in Eq. (2) do not violate the fundamental law of linear viscoelasticity (Mainardi, 2010):

$$C(s)\, R(s) = s^{-2} \tag{3}$$

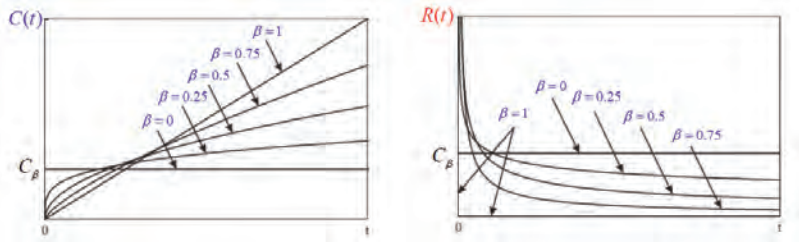


Fig. 11 - Creep, on the left, and relaxation functions, on the right, for $C_\beta = 1$ and different values of β (Alotta, 2016).

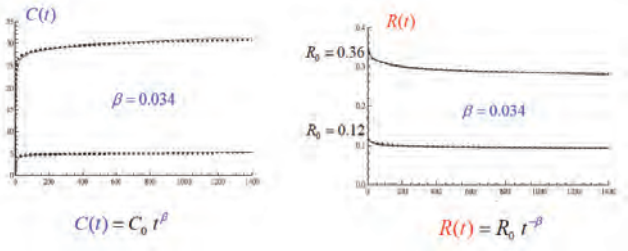


Fig. 12 - Comparison between experimental data for an elastomeric material: creep function, on the left, and relaxation function, on the right (Di Paola *et al*., 2011).

where $R(s)$ and $C(s)$ are the Laplace transforms of $R(t)$ and $C(t)$, respectively. On the contrary, all models that combine springs and dashpots (including the Prony series) violate it.

Di Paola *et al*. (2011) performed experimental tests for different kinds of elastomers evidencing the validity of relationships in Eq. (2). Some of these results are reported in Figure 12.

In order to derive the force-displacement relationships associated to the creep and relaxation functions given in Eq. (2), fractional calculus must be introduced (Mainardi, 2012; Alotta, 2016; Colinas-Armijo, 2017). Indeed, according to the Boltzmann superposition principle, it can be easily proved that, in the framework of linear viscoelasticity, the following force-displacement relationships are obtained:

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{C_\beta}\,{}^{RL}_{0}\mathrm{I}^{\beta}_{t}\left\langle F(t)\right\rangle = \frac{1}{C_\beta}\left[\frac{1}{\Gamma(\beta)}\int_0^t (t-\tau)^{\beta-1} F(\tau)\,\mathrm{d}\tau\right], \quad \forall \beta \geq 0 \\ F(t) &= C_\beta\,{}^{C}_{0}\mathrm{D}^{\beta}_{t}\left\langle u(t)\right\rangle = \frac{C_\beta}{\Gamma(1-\beta)}\left[\int_0^t (t-\tau)^{-\beta}\,\dot{u}(\tau)\,\mathrm{d}\tau\right], \quad 0 \leq \beta \leq 1; \end{aligned} \tag{4}$$

where ${}^{RL}_{a}\mathrm{I}^{\beta}_{t}\langle\bullet\rangle$ and ${}^{C}_{0}\mathrm{D}^{b}_{t}\langle u(z,t)\rangle$ denote the Riemann-Liouville fractional integral and the Caputo fractional derivative, respectively.

In these equations, the coefficient C_β possesses anomalous dimensions $[F\,t^{\beta}L^{-1}]$. This fundamental intuition is attributed to Gemant and Scott Blair. In particular, based on further experimental data, Gemant (1936; 1938; 1950) suggested using fractional derivatives for the accurate description of the behaviour of some viscoelastic materials. Scott-Blair (1944; 1947; 1949) used the fractional calculus approach to analytically model the observations made by Nutting that the relaxation phenomenon could be described by fractional powers of time. He also noted that time derivatives of fractional order would simultaneously model the observations of Nutting on stress relaxation and those of Gemant on frequency dependence. Scott Blair and Caffyn (1949) introduced a force-displacement relationship containing the fractional derivative. Moreover, they introduced the element corresponding to this law, called springpot, which exhibits a behaviour intermediate between the spring and the dashpot, see Figure 13.

It is worth noting that, for the two limit values of β, $\beta = 0$ and $\beta = 1$, since the second term of Eq. (4) leads to ${}^{C}_{0}\mathrm{D}^{0}_{t}\langle u(z,t)\rangle = u(t)$ and ${}^{C}_{0}\mathrm{D}^{1}_{t}\langle u(z,t)\rangle = \dot{u}(t)$, it follows that the purely elastic and the purely viscous behaviours are recovered, respectively. Thus, when $0 < \beta < 1$, both elastic and viscous phases are present simultaneously, and the viscoelastic behaviour is captured.

For multilayred viscoelastic materials, like the roadway pavement designed for the "Messina Strait Bridge", the entire cross section is composed by three different viscoelastic materials, see Figure 1: steel, pure resin and resin with sand and chipping. Even if the pure resin, due to its reduced thickness, plays a secondary role in the statics of the whole bridge it is a crucial component for the dissipation of energy when moving loads cross the bridge and when the bridge oscillates subjected to the action of wind. In the latter case, in fact, the entire volume of resin along the span of the bridge is involved.

It follows that to define the viscoelastic behaviour of the entire bridge, the various parameters C_β and β for all materials involved in the construction must be evaluated through creep and relaxation tests performed at different temperatures. These parameters, indeed, strongly depend on the temperature; in particular, for the sub-ballast, theoretical and experimental studies on refurbished asphalt showed that β increases with temperture, while $1/C_\beta$ decreases significantly (Di Paola and Zingales, 2012; Colinas-Armijio, 2017). Since experimental tests at different temperatures are necessary for a correct modelling of roadway pads, the study of the dynamics of the deck and the comfort of passengers can be carried out via interval analysis by describing material parameters as interval variables bounded by the values pertaining to the maximum and minimum of the temperature.

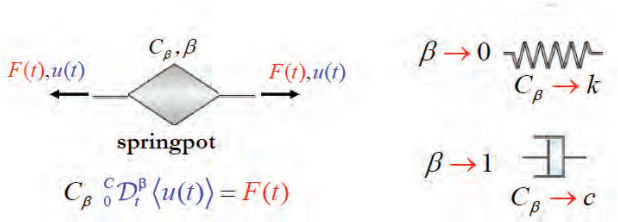


Fig. 13 - Fractional model: force-displacement relationship, on the left, and spring and dashpot elements as limit cases of the springpot, on the right.

Conclusions

An excursus on various models to represent viscoelastic materials developed from the end of the 19th century until the last decades has been presented. In particular, it has been evidenced that the classical models, even complex ones, involving integer order derivative, are governed by exponential functions, that ensure acceptable approximation of the creep and relaxation functions, only for short times. For very long times, they always lead to constant values of creep and relaxation functions, in contrast to the physical phenomenon. It has also been highlighted that the force-displacement relationships based on fractional derivatives give a very good fitting of experimental tests even for long-time tests. Finally, it has been underlined that temperature has a fundamental role in characterizing viscoelastic materials.

References

Alotta G. 2016. *3D fractional viscoelasticity with applications to structural engineering*. Ph.D. thesis. University of Palermo, Italy.

Boltzmann L. 1876. Zur Theorie der elastischen Nachwirkung. Annalen der Physik und Chemie. 7, 624–657.

Brancaleoni F., Diana G., Faccioli E., Fiammenghi G., Firth I.P.T., Gimsing N.J., Jamiolkowski M., Sluszka P., Solari G., Gianluca Valensise G., Vullo E. 2010. *The Messina Strait Bridge, A challenge and a dream*. Boca Roca: CRC Press/Balkema.

Colinas-Armijo N. 2017. *Mechanical characterisation and 3D fractional viscoelastic modelling of railway sub-ballast rubberised asphalt*. Ph.D. thesis. University of Palermo, Italy.

Di Paola M., Pirrotta A., Valenza A. 2011 Visco-elastic behavior through fractional calculus: An easier method for best fitting experimental results. Mechanics of Materials, 43, 799-806.

Di Paola M., Zingales M. 2012. Exact mechanical models of fractional hereditary materials. Journal of Rheology, 56, 983-1004.

Gemant A. 1936. A method of analyzing experimental results obtained from elastiviscous bodies. Physics 7, 311–317.

Gemant A. 1938. On fractional differentials. Phil. Mag., Ser. 7, 25, 540-549.

Gemant A. 1950. *Frictional Phenomena*. New York: Chemical Publishing Company.

Kelvin (Thomson W.). 1865. On the elasticity and viscosity of metals. Proceedings of Royal Society of London, 14, 75, 289-297.

Mainardi F. 2010. *Fractional Calculus and Waves in Linear Viscoelasticity: an Introduction to Mathematical Models*. London: Imperial College Press.

Mainardi F. 2012. An historical perspective on fractional calculus in linear viscoelasticity. Fractional Calculus and Applied Analysis, 15(4), 712-717.

Muscolino G. 2014. Engineering Aspects of the Bridge. In: *A bridge to somewhere-The Tragedy of the Messina Strait Bridge* (E.P. Trani and D.E. Davis Eds.). 127-158. Manakin-Sabot: Library of Congress.

Nutting P. G. 1921. A new general law of deformation. Journal of the Franklin Institute, 191, 679-685.

Polk H., Jensen L., Serzan K.P., Yamasaki Y., *et al*. 2011. Messina Strait Bridge - Suspended Deck. In: *Taller, Longer, Lighter-Meeting growing demand with limited resources*, *IABSE-IASS London Symposium*.

Praharaj R.K., Datta N. 2020. On the transient response of plates on fractionally damped viscoelastic foundation. Computational and Applied Mathematics, 39, 1-20.

Scott Blair G.W., Caffyn J.E. 1949. An application of the theory of quasi-properties to the treatment of anomalous strain-stress relations. The Philosophical Magazine, 40 (300), 80-94.

Scott-Blair G.W. 1944. Analytical and integrative aspects of the stress-strain-time problem. Journal of Scientific Instruments 21(5), 80-84.

Scott-Blair G.W. 1947. The role of psychophysics in rheology. Journal of Colloid Science, 2, 21-32.

Scott-Blair G.W. 1949. *Survey of General and Applied Rheology*. London: Pitman.

Voight W. 1892. Uber innere reibung fester korper, insbesondere der metalle. Annalen der Physik, 47, 12, 671-693.

Younesian D., Hosseinkhani A., Askari H., Esmailzadeh E. 2019. Elastic and viscoelastic foundations: a review on linear and nonlinear vibration modeling and applications. Nonlinear Dynamics, 97, 853-895.

Winkler E. 1867. *Die Lehre von der Elasticitaet und Festigkei*. Prag: Dominicus.

Alberto Prestininzi, Gianluca Valensise

L'area dello Stretto di Messina: analisi dei rischi geologici dopo il terremoto del 1908

The Messina Straits area: an overview of geological risks following the 1908 earthquake

Sommario

Lo Stretto di Messina non è un luogo qualunque; basti pensare alla sua collocazione al centro del Mediterraneo. Oggi sappiamo che i fenomeni geodinamici attivi nello Stretto sono coerenti con quanto accade intorno a esso:

a) la subduzione, il processo attraverso il quale la placca litosferica africana scorre sotto a quella europea;
b) il vulcanismo attivo dell'arco delle isole Eolie, effetto della subduzione;
c) il veloce sollevamento a cui è sottoposto tutto l'Arco Calabro;
d) l'estensione della crosta superiore, resa possibile da grandi faglie come quelle che hanno generato i grandi terremoti del 28 dicembre 1908 e del 5 febbraio 1783.

Oltre all'attività sismica, i fenomeni geodinamici a lenta evoluzione producono importanti effetti geomorfologici, come quelli presenti nell'area vasta dello Stretto; noti come "eventi idrogeologici", sono connessi all'azione della gravità e delle acque correnti superficiali e sono responsabili di movimenti franosi e diffusa erosione. In particolare sono diffuse le "colate rapide di fango" o "di detrito", note anche come *Mud Flows* e Debris Flows, le "valanghe di roccia", o *Rock Avalanche*, e le esondazioni di corsi d'acqua, fenomeni spesso innescati dai forti terremoti. Il rischio associato a questi eventi è ancora oggi elevato, a causa della scarsa applicazione dei principi della prevenzione. Viceversa, le continue devastazioni causate dai terremoti, con migliaia di morti ed estese distruzioni, hanno spinto la conoscenza e le normative antisismiche, creando maggiore attenzione sia alle attività di pianificazione che a quelle di edificazione. Allo stato delle conoscenze, l'evento scelto come riferimento per il Progetto Definitivo del Ponte sullo Stretto, approvato nel 2011, è il terremoto del 1908 (Fiammenghi *et al*., 2009). Per questo evento e per quello del 1783 i numerosi studi effettuati stimano una ricorrenza anche superiore al millennio. Per gli altri eventi, l'analisi del rischio dovrebbe garantire la necessaria sicurezza, attraverso lo strumento della prevenzione. Saranno discussi casi storici reali, ampiamente noti e discussi nella letteratura scientifica.

Abstract

The Straits of Messina are not just any place; just think of its location in the center of the Mediterranean. Today we know that the geodynamic phenomena affecting the Straits are coherent with what happens around it:

a) subduction, the process through which the African lithospheric plate slides beneath the European plate;
b) the active volcanism of the Aeolian Islands arc, an effect of the subduction;
c) the rapid uplift of the entire Calabrian Arc;
d) the extension of the Calabrian upper crust, accommodated by large faults such as those that generated the 28 December 1908 and 5 February 1783 earthquakes.

In addition to earthquake activity, slowly evolving geodynamic phenomena cause very evident geomorphological effects, such as those seen in the Straits and surrounding areas. They are known as "hydrogeological events", are largely gravitational, involve the action of surface running waters and are responsible for landslides and widespread erosion. In the Straits area they include mud flows, rapid debris flows, and rock avalanches, often triggered by strong earthquake shaking. The risk associated with these hydrogeological events is still rather high, due to the lack of effective prevention measures. Conversely, the recurrent devastation of buildings and infrastructures caused by earthquakes, along with thousands of casualties, have promoted earthquake studies and anti-seismic regulations, fostering greater attention to both planning and construction activities. Based on the current state of knowledge, the typical recurrence interval of a 1908-type earthquake, assumed as the design earthquake of the Calabria-Sicily stable connection, exceeds a millennium; the same goes for 1783-type earthquakes. For other events, the prevention systems are managed by consolidated knowledge supported by scientific literature. We will discuss some real cases, all well-known and discussed in the scientific literature, which allow us to outline the current level of the associated risk.

Introduzione

A partire dalla fine del 1800, l'accelerazione dello sviluppo delle attività promosse dall'uomo e rese possibili dalla sempre crescente disponibilità di energia ha portato in primo piano il crescente conflitto tra la presenza antropica, con le sue opere e le sue attività economiche, e la naturale dinamica morfo evolutiva del territorio, legata da sempre al "patrimonio genetico" del nostro pianeta. In passato, fatta eccezione per una *élite* di uomini di cultura, quali Eratostene da Cirene, Plinio e Humboldt, il limitato livello delle conoscenze scientifiche cercava di risolvere tale conflitto con una sorta di teoria fatalista, causa di fenomeni scatenati da forze oscure e spesso promosse dalla malvagità degli uomini. Ma solo a partire dagli anni Settanta del secolo scorso i livelli di conoscenza raggiunti hanno consentito all'*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*-UNESCO e, in particolare,

all'*Office of the United Nations Disaster Relief co-Ordinator*-UNDRO, di definire un percorso analitico che, finalmente, entra nel cuore del problema attraverso la netta separazione tra la presenza dell'Uomo, con le sue attività, e gli eventi e i processi naturali, come frane, alluvioni, terremoti, maremoti e attività vulcaniche. l'UNDRO-UNESCO propone un'analisi semplice, ma molto efficace, perché consente di definire e quantificare in via preventiva i danni economici dovuti alle probabili perdite del sistema antropico innescate dagli eventi naturali. Questo nuovo paradigma porta alla consapevolezza che le conseguenze economiche sono da circoscrivere al fattore antropico, rappresentato dall'Uomo, dai suoi beni e dalla vulnerabilità delle sue opere, mentre gli eventi sono da attribuire alla dinamica naturale del pianeta Terra.

In Italia, un paese geologicamente giovane dove accadono frane, alluvioni, terremoti, maremoti ed eruzioni vulcaniche, tutti eventi causati da processi naturali, la riduzione del rischio naturale, così come proposto dall'UNDRO-UNESCO, avviene attraverso attività di prevenzione e rappresenta lo strumento fondamentale per garantire la sicurezza, riducendo i danni e la Perdita di vite umane.

È in questo ambito che si inquadrano i rischi geologici che pesano sull'area dello Stretto di Messina: tutti, direttamente o indirettamente, legati all'evoluzione geologica di quest'area, che rappresenta un punto focale per la geodinamica presente e passata del bacino mediterraneo. È su questa importante porzione di territorio, del resto, che si è concentrata l'attenzione di naturalisti e geologi fin dalla fine dell'800 e, per alcuni aspetti eclatanti, anche da epoche più antiche. In effetti lo Stretto di Messina da sempre evoca scenari leggendari e soprannaturali; dal mito di Ulisse, insidiato da Scilla e Cariddi mentre tenta di attraversare lo Stretto per tornare a Itaca, al cataclisma che, secondo gli antichi, avrebbe trasformato la Sicilia in un'isola staccandola in modo violento dalla penisola: «*Zancle quoque juncta fuisse dicitur Italiae, donec confinia pontus abstulit et media tellurem reppulit unda*», che si traduce «Si dice che anche Zancle [l'odierna Messina] fosse unita all'Italia, fino a quando il mare ruppe i confini e le onde respinsero la terra in mezzo» (Ovidio, Metamorfosi, 15). Dopo due millenni di relativa tranquillità, durante i quali lo Stretto è apparso al massimo come un posto molto pericoloso per i naviganti, in epoca moderna la leggenda negativa è stata alimentata dal catastrofico terremoto di Reggio e Messina del 1908, visto da molti come una autentica dannazione biblica piuttosto che come un fenomeno naturale, ancorché raro.

Lo Stretto di Messina è dunque un luogo maledetto, come suggerisce ad esempio la Figura 1?

Proveremo a capirlo con una sintesi dei fenomeni geodinamici in atto nello Stretto, essenzialmente la tettonica attiva e la sismicità: le due cause, dirette o indirette, di tutte le criticità geologiche dello Stretto. Inizieremo dalla tettonica attiva, che a sua volta si declina in lungo due direttrici distinte.

Fig. 1 - Lo Stretto di Messina in una rappresentazione del francese Jean-Pierre Houel, celebre pittore e architetto francese oltre che uno dei più famosi viaggiatori del Grand Tour. Si noti l'enfasi che viene data alle correnti che attraversano lo Stretto, tanto poderose e importanti da essere entrate nel mito.

Criticità geologiche dello Stretto di Messina: il sollevamento e le sue conseguenze

La prima direttrice è il lento sollevamento regionale cui è sottoposto tutto l'Arco Calabro-Peloritano, insieme al settore assiale dell'Appennino verso nord e alla porzione settentrionale della Sicilia verso sud-ovest e ovest; si noti che l'Arco Calabro include anche il settore dei Monti Peloritani, alle spalle dello Stretto. Questo sollevamento è uno degli effetti della subduzione, quel processo che attraverso molti milioni di anni sta portando la litosfera dell'area ionica a scorrere al di sotto di quella tirrenica e che ha come uno dei suoi caratteri ricorrenti la creazione di archi vulcanici insulari, come quello delle Eolie. Il sollevamento è iniziato circa un milione di anni e procede a una velocità dell'ordine di 1÷2 metri per millennio: basta da solo a giustificare la produzione di circa 2.000 m di topografia, che, forse non casualmente, è la massima quota dei rilievi aspromontani.

Il sollevamento ha fatto emergere, e poi portato a quote collinari, rocce e forme tipiche dell'ambiente marino, appoggiate a corona sul nucleo granitico-metamorfico dei rilievi principali; ma il suo effetto principale, soprattutto ai fini della descrizione dei rischi naturali, è la dinamica geomorfologica superficiale. Un sollevamento così veloce, quantomeno alla scala geologica, determina una altrettanto vigorosa risposta morfologica, resa ancora più evidente dal fatto che le rocce marine, di età post creta-

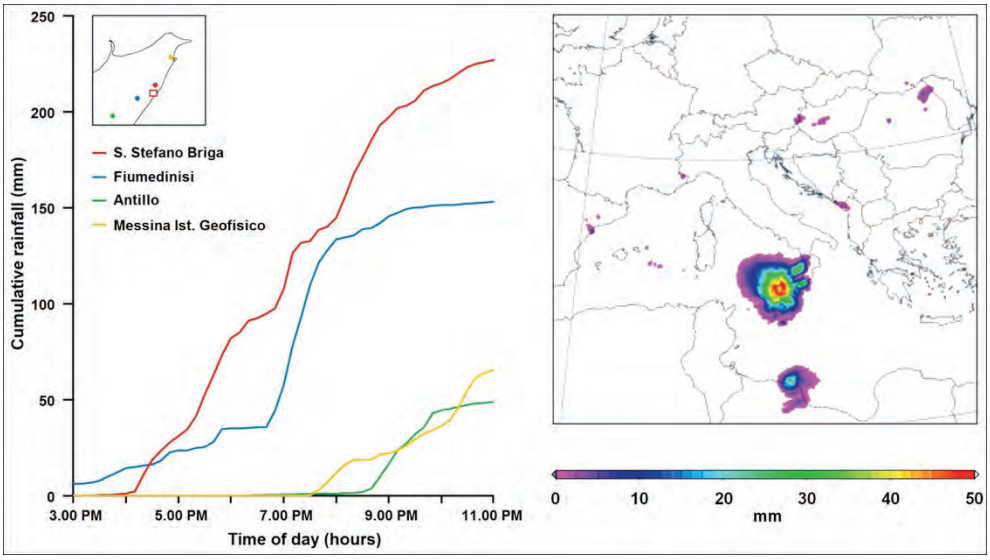


Fig. 2 - Pioggia cumulata tratta da dati radar, satellitari, a sinistra, e immagine radar satellitare registrata in occasione dell’evento dell’1-2 febbraio 2009, a destra: si nota chiaramente la formazione del cumulonembo (Schilirò et al. 2015).

cica, caratterizzate da alternanze di differenti litologie, spinte velocemente verso la superficie e disarticolate assumono, attraverso l’interazione con gli eventi meteorologici, una condizione di *“*scadente stabilità*”*.

Ed è sempre il veloce sollevamento, sempre se visto alla scala dei fenomeni geologici, insieme alle particolari condizioni meteorologiche mediterranee, a spiegare la creazione di aste fluviali caratteristiche, note con il nome di “fiumare”: corsi d’acqua con ampio letto, con scarsa o nulla portata nei periodi estivi, importante spessore dei depositi alluvionali del subalveo, caratterizzati da una grande variazione delle loro portate. Accanto alle fiumare è presente un reticolo idrografico costituito da fossi poco evoluti, a elevata acclività. La presenza di una coltre detritica significativa, gli alti valori di piovosità locale, l’elevata “energia di rilievo”, che determina una forte acclività dei versanti, e il disordinato sviluppo urbano, concentrato lungo la stretta fascia costiera, sono tutti elementi che generano livelli elevati di rischio. Se a queste condizioni si aggiunge la presenza di infrastrutture stradali e ferroviarie quali ponti e sottopassi, progettate e realizzate agli inizi del secolo scorso con inadeguate sezioni idrauliche, si intuisce perché eventi piovosi di una certa intensità inneschino spesso fenomeni di flussi detritici e di fango.

Come mostra la Figura 2, tra l’area costiera a sud di Messina e Favazzina (RC), poco a nord dell’estremità settentrionale dello Stretto, si registrano eventi piovosi

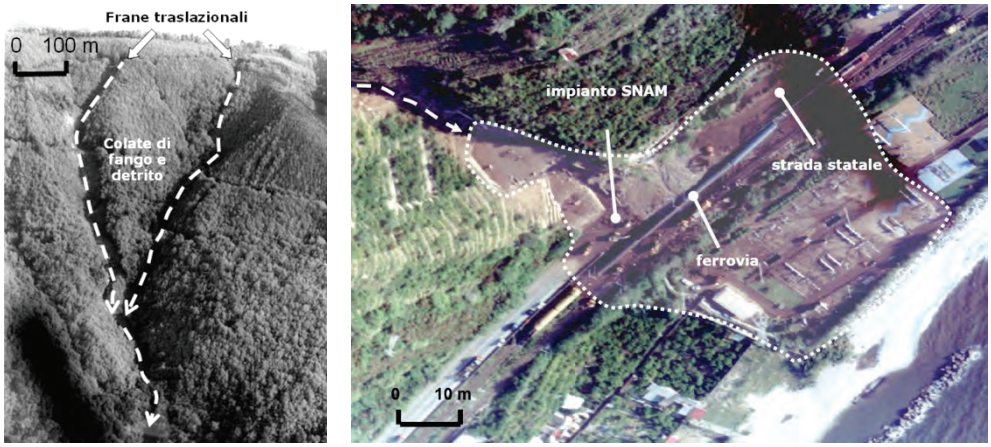


Fig. 3 - Favazzina (RC): colata di fango del 2001 del Vallone Favagreca, ripetuta con identico meccanismo e intensità nel 2005, a sinistra, e il flusso di fango, ostacolato dalle insufficienti sezioni idrauliche della Statale 18 e della linea ferroviaria, che ricopre l'impianto SNAM del gasdotto Mazara del Vallo-Nord Italia, a destra (Bonavina *et al*. 2005).

che periodicamente innescano flussi di fango e/o detriti molto intensi e dotati di elevata energia cinetica. Eventi di questo tipo, che si ripetono con cadenza decennale e con picchi di piovosità sempre simili a sé stessi, sono correlati alla formazione di un cumulonembo che, seppur circoscritto, può causare nubifragi che a loro volta generano gravi effetti locali, sia nei disordinati centri abitati costieri, sia in corrispondenza di infrastrutture, soprattutto nell'area calabrese, dove la ridotta sezione idraulica dei ponti stradali e ferroviari ostacola il flusso di fango attivato lungo i fossi poco evoluti presenti sui retrostanti versanti. Le Figure 3 e 4 mostrano esempi di letteratura di due eventi che hanno colpito l'area di Favazzina (RC) nel 2001 e 2005, e l'area di Messina-Giampilieri nel 2009.

Il livello di rischio associato a questi "eventi idrogeologici" è ancora oggi elevato a causa della scarsa applicazione dei principi della prevenzione. Lo sviluppo della conoscenza, a partire dalla Commissione Interministeriale De Marchi del 1967, che ha stimolato la Legge sulla Difesa del Suolo n. 183/89, nonché l'istituzione delle Autorità di Bacino, aveva creato le condizioni per un drastico abbattimento del rischio idrogeologico attraverso la pianificazione territoriale. Nonostante l'accelerazione creata dall'emanazione del D.L. Sarno n. 180/98, nell'ultimo decennio la virtuosa attività delle Autorità di Distretto è sembrata volgere lo sguardo verso iniziative che allontanano la via della prevenzione.

Un'importante conseguenza dei descritti caratteri geologico-evolutivi dell'area dello Stretto è l'ingente produzione di sedimenti strappati all'Aspromonte, che includono grandi ciottoli di rocce granitiche e metamorfiche, ma anche provenien-

Fig. 4 - Gravi danni registrati in occasione degli eventi dell’1-2 febbraio 2009 lungo la costa a sud di Messina. In alto, immagina aerea della genesi dei flussi di detrito e fango che non sono stati ostacolati dalla presenza della infrastruttura autostradale, di progettazione moderna e con sezioni idrauliche adeguate; in basso, immagini di edifici interessati dagli eventi (Schilirò *et al*. 2015).

ti dalle serie terrigene mioceniche. Questi depositi, noti come “ghiaie di Messina” e “conglomerato di Pezzo, sono diffusamente presenti sia sul lato messinese dello Stretto, sia nell’area di Villa S. Giovanni, dove sono ubicate le fondazioni delle torri e delle zone di ancoraggio dei cavi del Ponte.

Criticità geologiche dello Stretto di Messina: estensione crostale e sismogenesi

Nella sezione precedente si è parlato di movimenti tettonici lenti ed essenzialmente verticali. Ma tutta la catena appenninica, e lo Stretto con essa come sua estremità peninsulare, è sottoposta anche a una estensione trasversale alla catena stessa, un

processo che viaggia a una velocità variabile tra 1 e 2 metri per millennio. Se il sollevamento può essere distribuito con relativa facilità da una curvatura con raggio più o meno ampio della superficie terrestre, per estendere la porzione di crosta "bisogna romperla"; questo è ciò che avviene in corrispondenza delle faglie, grandi piani di frattura che interessano i primi 10÷20 km della crosta terrestre e che, a seconda dei casi, possono estendersi fino a centinaia di km di lunghezza.

Una faglia soddisfa quindi una richiesta di deformazione di un blocco continentale, ma non lo fa in modo continuo, in virtù dell'attrito che esiste tra le due masse rocciose poste sui due lati della faglia stessa. È solo quando lo sforzo accumulato è estremo che la resistenza allo scorrimento viene superata; si crea una frattura iniziale che via via si propaga per tutta l'estensione della faglia stessa, producendo scuotimento: il terremoto. L'area di faglia messa in movimento è proporzionale alle dimensioni del terremoto: quello che ha colpito Amatrice il 24 agosto 2016, di magnitudo 6.0, è stato causato da una faglia lunga 10÷15 km, mentre il terremoto del 1908, di magnitudo 7.1, è stato generato dal movimento di una faglia lunga circa 40 km, i cui due lembi si sono mossi in modo relativo in media per circa 2 metri: la Faglia dello Stretto di Messina. Si tratta di una faglia orientata circa nord-sud e pendente verso est; si tratta di una importante discontinuità nella struttura crostale dell'Arco Calabro, elemento più meridionale di un sistema di faglie che ha determinato terremoti italiani, grandi e piccoli.

Questa grande faglia estende lo Stretto in senso est-ovest, aumentando progressivamente la distanza netta tra la cresta dei Peloritani e quella dell'Aspromonte e producendo uno sprofondamento nella sua zona assiale. Dal punto di vista degli effetti la faglia produce anche terremoti disastrosi, come quello del 1908, ma, paradossalmente, lo scuotimento sismico produce minori effetti, passando inosservato alla scala del tempo geologico; quello che fa evolvere la geomorfologia, ovvero il paesaggio, è il movimento di estensione lungo la faglia, non lo scuotimento in sé.

Da questo punto di vista, il terremoto del 1908 ebbe alcuni effetti tangibili anche alla scala umana. Un tempestivo rilievo condotto nel 1909 dal glorioso Istituto Geografico Militare mostrò che il terremoto aveva prodotto sprofondamenti, fino a 70 cm tra Messina e Ganzirri, 50 cm a Reggio Lido e 25 cm nella zona di Villa San Giovanni, ma anche che l'entità della dislocazione si riduceva verso nord e verso sud fino ad azzerarsi a Scilla e a Lazzàro. Queste deformazioni erano state *in nuce* durante tutto il periodo di preparazione del terremoto, il quale non è altro che una improvvisa accelerazione della tettonica, che restituisce in un attimo lo sforzo accumulato sulla faglia dal giorno successivo al terremoto precedente. Visto alla scala geologica, quindi, il singolo terremoto scompare, ma resta evidente l'accumulo delle deformazioni prodotte da ogni singolo evento sismico.

Il movimento di una faglia estensionale come quella dello Stretto di Messina induce sprofondamento in superficie lungo una zona allungata nella direzione della faglia stessa, in questo caso lungo l'asse dello Stretto, con una entità massima pari

a circa un terzo dell’estensione tettonica che “carica” la faglia. L’entità dello sprofondamento si riduce allontanandosi perpendicolarmente alla faglia stessa, fino ad azzerarsi a 15-20 km da essa.

Come mostra sinteticamente la Figura 5, nello Stretto si sovrappongono quindi due segnali tettonici confrontabili dal punto di vista della velocità di deformazione, ma di segno opposto e diversissimi per origine: lo sprofondamento indotto dalla Faglia dello Stretto, e il sollevamento a grande scala che opera nella regione. Lo Stretto di Messina è anzi uno dei pochi posti al mondo dove è possibile separare così efficacemente segnali tettonici così diversi. La loro separazione e quantificazione consente anche di proiettare il passato e il presente nel futuro, per anticiparne i tratti essenziali. Trascurando i dettagli, è facile ad esempio prevedere che, se l’attuale andamento degli sforzi tettonici continuerà uguale a se stesso per almeno 200.000 anni, come ci aspettiamo che avvenga, il fondo dello Stretto dovrebbe emergere definitivamente, separando così per sempre lo Ionio dal Tirreno.

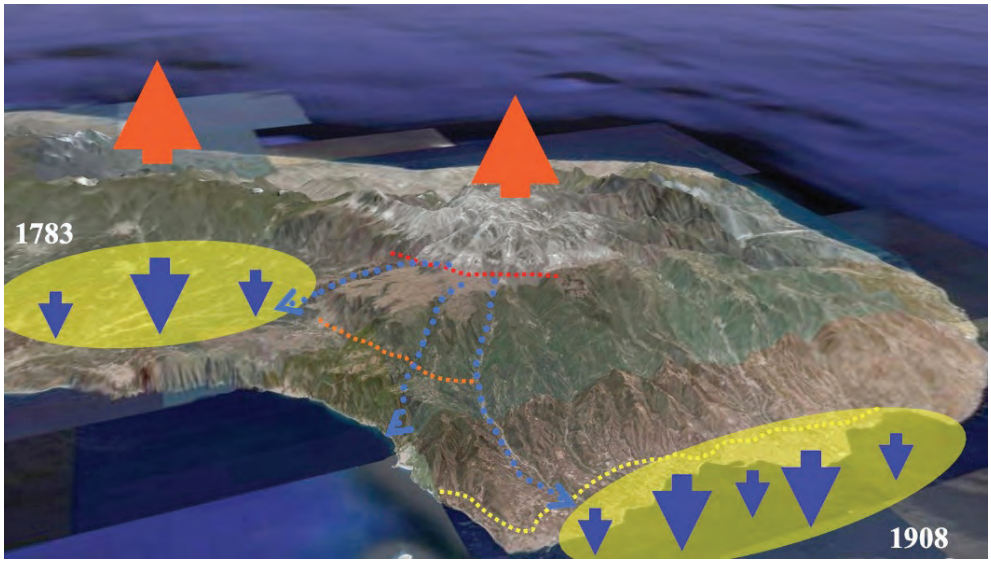


Fig. 5 - Modello evolutivo complessivo dell’area dello Stretto. Al sollevamento complessivo della catena (frecce rosse), con velocità stimate fino a 2,0 mm/anno, si contrappone localmente lo sprofondamento causato dall’attività della Faglia dello Stretto, a destra, e della Faglia della Piana di Gioia Tauro, a sinistra. È mostrata schematicamente anche l’evoluzione del reticolo idrografico, attraverso la progressiva rotazione di tre fiumare che originano in punti vicini tra loro sul fianco NW dell’Aspromonte, ma sfociano in punti molto diversi della costa, rispondendo al richiamo prodotto dal progressivo approfondirsi di due grandi bacini attivi, lo Stretto e la Piana di Gioia Tauro, a loro volta controllati dalle due principali faglie attive della zona (Valensise, 2021).

Criticità geologiche dello Stretto di Messina: le faglie attive di superficie

La presenza di numerose faglie attive sul fondale dello Stretto e sulle sue sponde è uno dei temi più ricorrenti nel dibattito sulla fattibilità del Ponte. In questo dibattito si sono fronteggiate due visioni molto differenti della Geologia, che non è una scienza esatta ma una disciplina che utilizza la Terra come laboratorio, ed è quindi soggetta alla inaccessibilità tipica delle manifestazioni della vita del pianeta e alla variabilità delle loro scale cronologiche. La Geologia, quindi, è disciplina che apparentemente avanza con lentezza, ma in effetti lo fa a grandi balzi, seguendo le grandi acquisizioni scientifiche come quella della Tettonica delle Placche o indagando i grandi fenomeni naturali avversi come le frane e le alluvioni, i terremoti e le eruzioni, man mano che essi accadono.

Il concetto di "faglia" e il meccanismo di generazione dei terremoti sono esattamente due aspetti del pianeta difficili da indagare. Le faglie si osservano comunemente in natura come discontinuità che hanno permesso il moto relativo di due masse rocciose adiacenti. Ma le faglie che vediamo in superficie sono spesso antiche e dunque inattive, ovvero incapaci di generare terremoti, mentre quelle attive si trovano immerse nella crosta terrestre, a una profondità che le rende quasi del tutto inaccessibili direttamente. Se una faglia attiva è rappresentata da un'ampia superficie ci sono buone possibilità che arrivi a interessare anche la superficie terrestre, così da farsi osservare da chi "legge il territorio", il geologo: al quale però resterà spesso il dubbio di quale sia la geometria profonda di quella faglia e la sua reale dimensione.

Sappiamo che nelle aree vulcaniche esistono faglie molto superficiali, anche a solo un kilometro di profondità, che possono dar luogo a terremoti distruttivi, anche se i loro effetti sono molto localizzati. Ma, come si è già detto, nelle altre aree i forti terremoti sono necessariamente generati da faglie profonde e lunghe da un kilometro ad alcune decine di kilometri. I sistemi di faglia attive sono fortemente gerarchizzati, per cui una grande faglia profonda in grado di generare un terremoto distruttivo è sempre accompagnata da altre faglie minori, in genere più superficiali, generate nel suo stesso sistema di sforzi tettonici, come l'estensione est-ovest che domina nello Stretto. A questo va aggiunto il fenomeno per cui il movimento improvviso di una grande faglia sismogenetica può generare spostamenti relativi delle faglie minori che attraversano il volume di roccia in cui si trova, incluse quelle ormai inattive: un fenomeno da considerare con grande attenzione, per gli effetti che producono, se queste arrivano a interessare la superficie topografica.

La dimensione e la profondità delle grandi faglie sismogenetiche, la loro gerarchizzazione, la possibilità che arrivino a interessare la superficie topografica, la loro capacità di interagire con altre faglie non sismogenetiche e non attive: questi importanti aspetti della sismogenesi sono acquisizioni recenti della ricerca mondiale, e si collocano nell'alveo della sismotettonica, la disciplina che studia i rapporti tra

tettonica e sismicità. In Italia queste acquisizioni sono state favorite dalle indagini sul terremoto dell'Appennino meridionale del 23 novembre 1980 e dagli altri, fortunatamente pochi, forti terremoti che lo hanno seguito: si tratta, quindi, di conoscenze recenti del vasto campo disciplinare della sismologia.

Tornando allo Stretto, la grande faglia che ha generato il terremoto del 1908 è ormai riconosciuta come una faglia "cieca", ovvero una faglia che non arriva a interessare la superficie topografica se non attraverso gli effetti deformativi secondari, che peraltro non furono descritti dai numerosi osservatori dell'evento catastrofico: qualcosa si sarebbe forse potuto rilevare sui fondali dello Stretto, se la tecnologia di allora lo avesse permesso. Non è certamente l'unica faglia attiva della zona, ma è certamente la più grande. Studi di dettaglio delle due sponde dello Stretto e dei suoi fondali mostrano anche che questa faglia è coerente e in grado di giustificare buona parte della geologia recente e della geomorfologia dell'area. In altre parole, lo Stretto di oggi è il risultato del lavoro progressivo e combinato del sollevamento cui tutta la regione è sottoposta, da un lato, e della ripetuta attivazione della faglia che ha generato il terremoto del 1908, dall'altro. Ne consegue che eventuali altre faglie sismogenetiche presenti nello Stretto devono essere di un ordine di grandezza più piccole della faglia principale e quindi capaci solo di terremoti di dimensioni limitate, probabilmente entro un valore di magnitudo massima intorno a 5.5: una conclusione coerente con la storia sismica dell'area, che certamente avrebbe registrato eventuali terremoti più forti almeno durante gli ultimi cinque secoli.

Conclusioni

Lo Stretto di Messina è certamente un luogo unico, sotto il profilo geografico, storico, geologico e geomorfologico. Ma i fenomeni che lo interessano sono sostanzialmente ben compresi e non molto diversi da quelli che si osservano in altre aree attive del Mediterraneo centrale. Va poi rilevato che l'area dello Stretto, come tutta l'Italia, non brilla dal punto di vista della prevenzione degli effetti dei fenomeni naturali avversi. In altre parole, alcuni dei recenti fenomeni estremi, inclusi veri e propri disastri come l'alluvione e la frana di Giampilieri dell'ottobre 2009, sono stati in buona misura causati da una gestione non sempre accorta del territorio, più che dalla severità o imprevedibilità degli eventi stessi.

Per quello che riguarda l'aspetto più temuto, quello della tettonica attiva e della sismicità, si può oggi affermare che il terremoto del 1908 è ormai noto ben al di là di quello che sarebbe immaginabile per un evento di 116 anni fa, sia per quanto riguarda i suoi effetti sul costruito e sull'ambiente, sia con riferimento alle sue cause. In particolare, è ormai acquisito che quel terremoto diede luogo a numerosi fenomeni essenzialmente gravitativi di limitate dimensioni, ma non al temuto fenomeno della "fagliazione superficiale", ovvero alla creazione di una dislocazione della superficie topografica che, a seconda dei casi, può raggiungere e superare anche un metro di

altezza. Difendersi dallo scuotimento è sempre possibile, ma salvaguardare una infrastruttura critica dalla fagliazione superficiale è decisamente più arduo.

Quello che vale per la faglia che ha causato il grande terremoto del 1908 vale ovviamente per tutte le faglie minori che si osservano sulle sponde e sui fondali dello Stretto: anche in caso di ripetizione di quel terremoto, queste faglie potrebbero dar luogo solo a modeste riattivazioni di portata centimetrica, come mostrano i rilievi effettuati con il metodo del radiocarbonio su campioni prelevati attraverso sondaggi a differente profondità sulle due sponde dello stretto.

Quanto alla sismicità nel suo complesso, è ormai acquisito, anche attraverso lo studio dei terrazzi marini, che il terremoto del 1908 è decisamente il *big player* nell'area dello Stretto, ma anche che si tratta di un terremoto che ha ricorrenza millenaria. Nel frattempo nello Stretto possono certamente accadere terremoti abbastanza forti, ma di dimensioni tali da non impensierire particolarmente il costruito residenziale e infrastrutturale; ovviamente a patto che questo sia realizzato in accordo con le norme antisismiche vigenti.

Bibliografia

Bonavina M., Bozzano F., Martino S., Pellegrino A., *et al*. 2005. Le colate di fango e detrito lungo il versante costiero tra Bagnara Calabra e Scilla (Reggio Calabria): valutazioni di suscettibilità. Giornale di Geologia Applicata.

Bozzano F., Martino S. , Montagna A. , Prestininzi A. 2012. Back analysis of a rock landslide to infer rheological parameters. Engineering Geology, 131-132, 45-56.

Fiammenghi G., Vullo E., Brancaleoni F., Diana G., *et* al. 2009. *Messina Strait Bridge - The Challenge and the Dream*. Milton Park: Taylor & Francis.

Schilirò L., De Blasio F.V., Esposito C., Scarascia-Mugnozza G. 2015. Reconstruction of a destructive debris-flow via numerical modeling: the role of valley geometry dynamics. Earth surface Processes and Landforms, 40(14), 1847-1861.

Valensise G. 2021. Navigando tra Geologia, Storia, Sismologia e Archeologia: i terremoti del 1783 e 1908 come chiavi di lettura dell'evoluzione recente dello Stretto di Messina. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 108, 395-410.

Piero D'Asdia, Fabio Rizzo

Interaction between structural model and aerodynamics effects in the aeroelastic stability of suspension bridge

Interazione fra modello strutturale e aerodinamica nella stabilità aeroelastica dei ponti sospesi

Abstract
The toughest challenge in the suspension bridge design is to ensure the safety under the aeroelastic phenomena due to the wind action. The most severe phenomenon is the SDOF or MDOF flutter instability. It is well known that the bridge deck aerodynamics affects the flutter instability and that twin and multiple-box bridge deck represents a sure advantage to increase the critical flutter velocity. This paper discusses the aerodynamics of twin and multiple-box deck. In particular, some results obtained changing the boxes spacing are given. In addition, two proposals to modify the ratio between torsional and flexural natural frequencies are discussed. The first one consists of the hangers crossing in order to increase the ratio between torsional and flexional natural frequencies. The second one consists of the torsional frequency reduction to be smaller than flexural one.

Sommario
Nei ponti sospesi di grande luce la sfida più rilevante è assicurarne la stabilità sotto l'azione del vento per quanto riguarda i fenomeni aeroelastici. Il fenomeno più pericoloso è l'instabilità dovuta al *flutter* ad uno o più gradi di libertà. È ben noto il ruolo dell'aerodinamica dell'impalcato nella possibilità di insorgere del *flutter*. Altrettanto ben noto è il vantaggio che da tale punto di vista presentano gli impalcati bi e multicassone per aumentare la velocità critica di *flutter*. In questo articolo viene discussa la variabilità dell'aerodinamica dell'impalcato bi e multi-cassone modificando la distanza fra i cassoni. Infine, si discute il comportamento strutturale che si ottiene con l'introduzione nello schema statico di pendini incrociati fra i due lati del ponte, ovvero rendendo la frequenza torsionale inferiore a quella flessionale.

Introduction
Suspension bridge is a type of bridge in which the deck is hung below suspension cables on vertical suspenders. The basic structural components of a suspension bridge

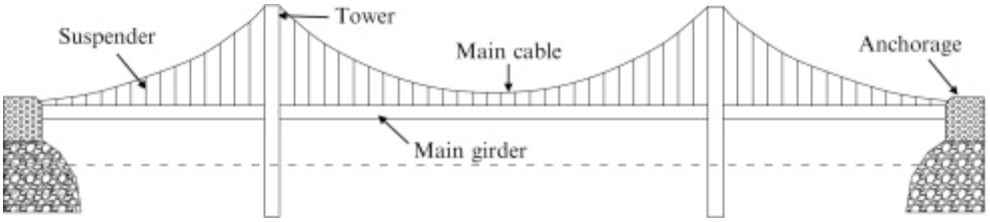


Fig. 1 - A typical suspension bridge architecture.

system include stiffening girders/trusses, the main suspension cables, main towers, and the anchorages for the cables at each end of the bridge. The main cables are suspension between towers and are finally connected to the anchorage or the bridge itself, and vertical suspenders carry the weight of the deck and the traffic load on it.

The whole cross-section of the main cable is highly efficient in carrying the loads and buckling is not a problem. Therefore, the dead weight of the bridge structure can be greatly reduced and longer span becomes possible. In addition, the esthetic appearance of suspension bridges is another advantage in comparison with other types of bridges (Lin and Yoda, 2017).

Suspension bridges, see. e.g., Figure 1, typically consist of two and sometimes four parallel cables separated by a distance approximately equal to the roadway deck width that they support. These cables act as tension elements and extend from anchors at each of their ends over the tops of the intermediate towers. The deck is suspended by strong ropes running from the deck level to the main cables. The main cables can consist of parallel strong wires that are aerially spun in place or prefabricated wire ropes.

The deck can be stiffened by a truss or by girder elements. The purpose of the stiffening element is to ensure aerodynamic stability and to limit the local angle changes in the deck. The bridge can be erected without any ground-based towers. The resulting bridge is very elegant in appearance, and its form clearly expresses its function. As the existing inventory of suspension bridges have aged, inspections have revealed active corrosion and stress corrosion cracking in many of the wires comprising the main cables.

A typical suspension bridge is a continuous girder suspended by suspension cables, which pass through the main towers with the aid of a special structure known as a saddle, and end on big anchorages that hold them. The main forces in a suspension bridge are tension in the cables and compression in the towers. The deck, which is usually a truss or a box girder, is connected to the suspension cables by vertical suspender cables or rods, called hangers, which are also in tension. The weight is transferred by the cables to the towers, which in turn transfer the weight to the anchorages on both ends of the bridge, then finally to the ground.

The pylons of suspension bridges, in Figure 2, can be steel structures, as is usually the case for U.S. and Japanese bridges, or concrete structures, like the Store-

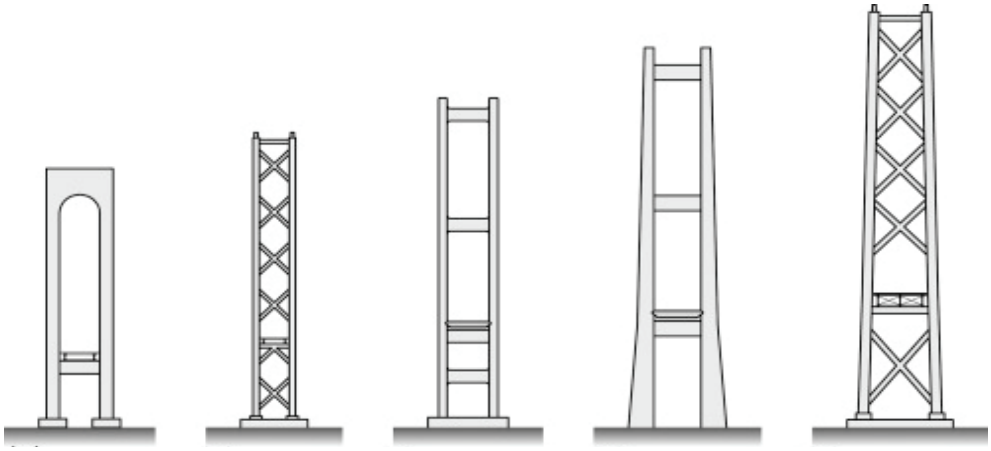


Fig. 2 - Typical layouts of suspension bridge towers, ordered in ascending size. From the left: simple frame, trussed. multiple frame, stain lined frame, and stain lined truss.

baelt Bridge. Concrete structures are typically more economical, at least in areas of low seismicity and with good soil conditions (De Miranda, 2016). The tops of pylons have to accommodate the cable saddles, where practically all the load of the half bridge is concentrated. The anchor blocks, always set in concrete, have the purpose of transmitting both vertical and horizontal forces to the soil, transferred by the cable anchorages. They are massive structures, which contribute to much of the total cost of the bridge, as well as lengthening construction time.

Three-dimensional modeling is closely recommended for suspension bridges. This includes the following items:

1. Main cables and saddles: if truss elements are used, cables are meshed at the hanger locations. Otherwise, specific catenary cable elements are included in the FEM solutions. The modeling and analysis should account for saddles' role in the various erection and exercise phases: moveable/fixed, according to the type of bridge. Considering saddles' relevant role in the whole bridge structure, a 3-D sub model should be considered;
2. Hangers: Truss elements can be used except for the principal rigid connection between the girder and the main cables, at midspan, where beam elements are preferred, together with a specific sub model of the structure, including solid elements, to account for hot spot stress checks;
3. Pylons and Girders by FEM modelling (Pipinato, 2022).

The dynamic response prediction for long-span bridges, exposed to wind loads, is a complex task. The study of bridge flutter has attracted the attention of the scien-

tific community because of the susceptibility to flutter-induced catastrophic bridge failure. Over the years, analytical and numerical methods have been developed and successfully applied to the quantification of the loads and the simulation of the response (De Miranda, 2016; Ge and Xiang; 2009, Katsuchi *et al*., 1999; Khalil *et al*., 2016). However, it remains necessary to perform physical experiments to gain critical information for the analysis of the fluid-flow forces on bridge decks.

For the case of large span suspension bridges the most significant challenge is to ensure their stability under the wind action, not only in relation to the tensions and deformations induced by the static component of the wind actions but also and above all with regard to the aeroelastic phenomena or the self-excited oscillations due to aeroelastic instabilities. The most relevant aspect during the design process is to avoid the flutter at one or more degrees of freedom. This phenomenon is the most relevant because the correct structural sizing for live loads, i.e. traffic or walking, is enough to prevent static aeroelastic phenomena such as torsional divergence or phenomena such as buffeting and galloping and also those linked to the lock-in of the vortex shedding of deck elements, towers and cables. Several studies on the flutter instability carried out during the Messina bridge design process have provided results that are generalizable for very large spans.

It is well known that the deck aerodynamics affects the bridge vulnerability to the one or more degrees of freedom flutter instability, i.e. instability associated to one or more modes of vibration of the structure depending on the positive or negative value assumed by the lift and torque derivatives corresponding to the angle of attack zero between the wind flow and the deck and with wind speed values corresponding to the onset of flutter instability dependent on the magnitude of the absolute value of these derivatives.

The torsional vibration mode frequency is bigger than the corresponding vertical bending mode frequency for wind speed equal to zero. However, when the wind speed increases, structural frequencies change and the torsional one tends to decrease. It can occur that the two frequencies became equal, and couple under the wind speed that provides the instability.

Therefore, the flutter speed can increase, i.e. in order to avoid the flutter instability, both with the decrease in the value of the derivatives, i.e. acting on aeroelastic parameters, and by spacing frequencies without wind, i.e. acting on structural parameters.

Multiple-box decks, as for example the Messina bridge deck, reduce the flutter instability risk compared to other typologies. In this paper some results on the interaction between the boxes spacing and the elasticity is discussed. Secondly, the paper discusses two solutions to improve the bridge structural behavior:

i) crossed hangers between the two sides of the bridge;
ii) inverting the initial frequencies making the torsional one lower, rather than higher, than the flexural one.

Structural background

Extremely large structures, such as long-span bridges, must be designed for a life longer than ordinary constructions and safety verification cannot usually be completely derived from instructions and codes made for smaller constructions. At the same time, the cost of long-span bridges should not be uselessly increased requiring excessive or irrational performance. Adequate structural response to environmental actions for earthquake and wind. The seismic action affects anchorages and towers and it influences the overall costs of the structure. The wind action almost affects the deck design because phenomena as for example flutter static divergence, vortex-shedding, and buffeting. Long-span bridge deck must be as light as possible to limit cables weight. Wind actions on deck should be minimized to contain the horizontal actions on the towers. Decks are the most important structural elements in designing long span bridges, although is a secondary structural element. In addition, it is unneglectable an adequate structural response to anthropogenic actions. Wind forces can grouped in three categories: 1. static forces, that change slowly in relation with structural characteristics and they induce static deformations/tensions; 2. aerodynamic forces, that change with frequencies near the natural structural frequencies and can induce aerodynamic phenomena as for example the forced oscillations and resonance; 3. aeroelastic forces, that are generated by the motion of the structure and can induce auto-excited oscillations and aeroelastic instability. Aeroelastic phenomena can be grouped, in turn, in static and dynamic phenomena. Static phenomena are the torsional divergence and the static instability. Dynamic phenomena are the dynamic instability given by the flutter, the vortex shedding, the lock-in and the galloping, and the buffeting.

Twin-box deck

Twin box decks are becoming increasingly adopted in long span bridges due to their good aerodynamic performance with respect to the flutter instability. For small gaps between the decks they behave as a whole continuous body while, increasing the gap, strong dynamic interaction between the two occurs: the windward deck causes a turbulent wake that impinges on the leeward girder inducing unsteady aerodynamic forces. Figure 3 shows some examples. Sato *et al*. (2002), discusses some results for a suspension bridge with a central-span length equal to 2800 m and a twin-box deck with the ratio between the main cables spacing and the deck thickness equal to 8.6. They have estimated the critical flutter velocity equal to 85 m/s. Aerodynamic stabilization for two box-girder suspension bridges in China with super long span is introduced hereafter, including the 1490 m spanned Runyang Yangtze River Bridge with a central stabilizer and the 1650 m spanned Xihoumen Sea-Crossing Bridge adopted twin-box girder, and followed by the aerodynamic feasibility study of a box-girder suspension bridge with a main span of 5000 m. Ge and Xiang (2009), discussed two examples of twin-box deck suspension bridges with central-span length equal

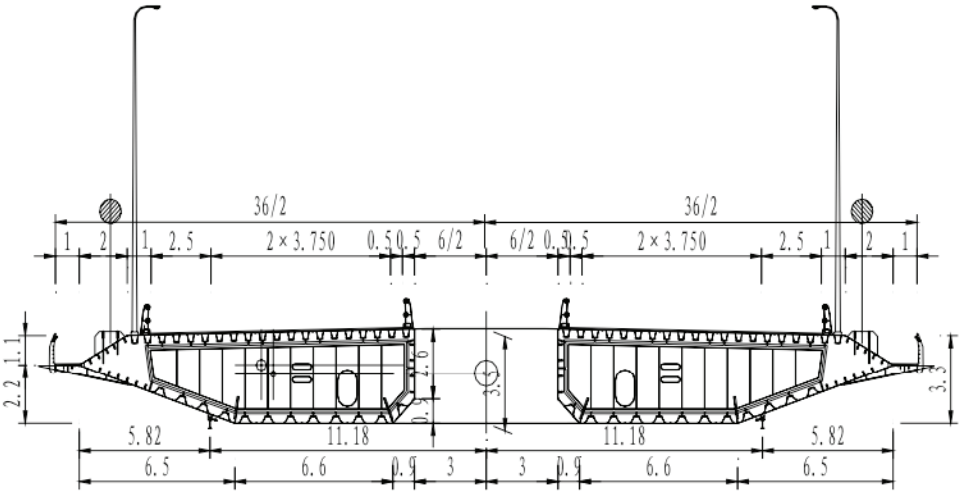


Fig. 3 - Proposed box girder sections for Xihoumen Bridge, Unit: m (Ge and Xiang, 2009).

to 5000 m and with *B/D* =17 and 32, respectively. They have estimated the critical flutter velocity equal to 74.7 m/s and 82.9 m/s, respectively.

Multiple-box deck

Multiple-box decks are inherently stable against aeroelastic instability due to classical flutter. Figure 4 shows an example of multiple-box deck bridge designed to cross the Strait of Messina. The bridge stability with multiple-box decks is entrusted to the suspension system. Figure 5 shows a comparison between single a multiple-box section deck in term of Lift and Moment coefficient.

Fig. 4 - Multiple-box decks examples: Chongming bridge in Shanghai, cable-stayed bridge with central-span length equal to 730 m, on the left, and Messina bridge '92, in Italy, suspension bridge with central-span length equal to 3.300 m, on the right.

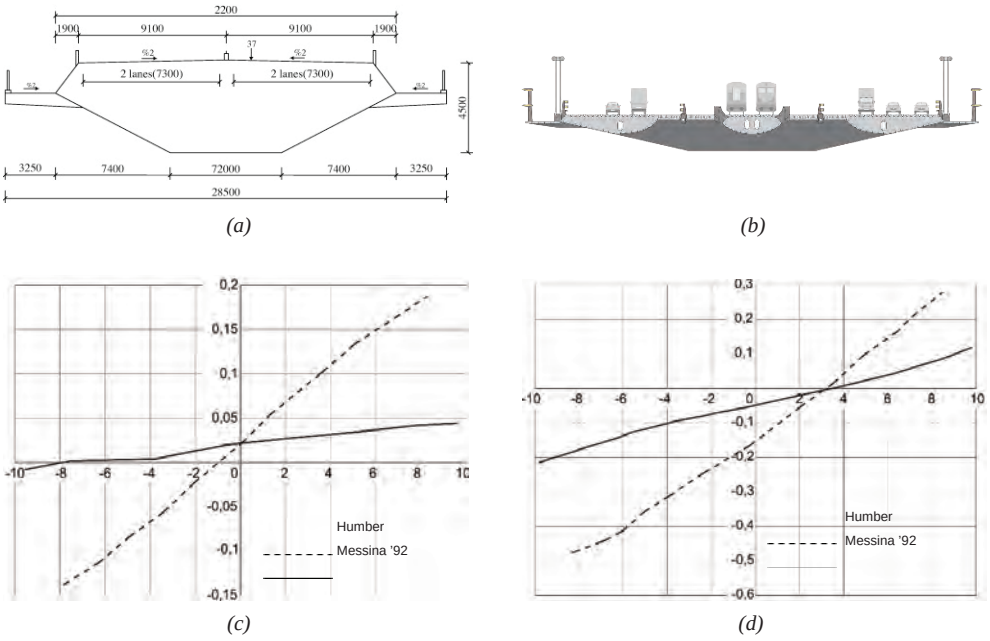


Fig. 5 - Humber bridge deck (a), Messina bridge deck (b), Lift coefficient (c) and Moment coefficient (d).

Theoretical overview

The dynamic response of a long-span bridge due to wind excitation can be modeled through the multi-mode approach in the frequency domain. The dynamic component of the wind loading, causing deck vibration, can be represented by superposition of turbulence-induced, aerodynamic, forces and motion-induced, aeroelastic, forces. Self-excited forces, acting on a unit-length section of the deck are defined as lift, L_h, drag, D_p, and moment, M_α. These forces are commonly based on a first-order linear expansion of the h vertical displacement and α torsional rotation of the generic deck cross section, first introduced by Scanlan and Tomko (1971). The effects of the lateral DOF and D_p, usually important in special cases only (Katsuchi *et al*., 1999), were not considered.

Even though this model is strictly valid for simple-harmonic vibration of the deck, it is usually acceptable for small-amplitude random vibration.

Consequently, the aeroelastic lift and moment forces of the generic cross section, per unit deck span or longitudinal model length, were determined as reported in Eq. (1a) and Eq. (1b).

$$L_h = 0.5\rho U^2 B\left[KH_1^*(K)\frac{h}{U} + KH_2^*(K)(B\alpha/U) + K^2H_3^*(K)\alpha + K^2H_4^*\left(\frac{h}{U}\right)\right] \quad (1a)$$

$$M_\alpha = 0.5\rho U^2 B\left[KA_1^*(K)\frac{h}{U} + KA_2^*(K)(B\alpha/U) + K^2A_3^*(K)\alpha + K^2A_4^*\left(\frac{h}{U}\right)\right] \quad (1b)$$

In the previous equations ρ is the air density, U the mean wind speed perpendicular to the bridge, or model, longitudinal axis, B is the deck width; the "over-dot" symbol denotes derivation with respect to time t. The quantities H_i^* and A_i^*, with i = 1,..., 4, are given by Scanlan and Tomko (1971). These functions are experimentally found in wind tunnel by testing a section model of the full-scale girder at a reduced scale. The flutter derivatives depend on the reduced frequency $K=\omega B/U$ or, equivalently, reduced velocity $U_r=U/(nB)=2\pi/K$, with ω being the angular vibration frequency of the deck in rad/s and $n=\omega/(2\pi)$ the frequency in Hz. The dynamic equilibrium equations of the 2-DOF system, which is tested in the wind tunnel, reproduce the vertical, h, and torsional, α, aeroelastic vibration of a representative finite-length section of the full-scale bridge deck. The lift force L_h and overturning moment M_α per unit length of the deck are measured over the span length λ of the experimental model. The dynamic equations Eq. (2) of the 2-DOF system, reproducing the vibration of the apparatus tested in wind tunnel, can be derived as shown below, following the original formulation by Scanlan and Tomko (1971), reported in Simiu and Scanlan (1986):

$$M\left[\ddot{h} + \ddot{\alpha}\left(\frac{s}{M}\right) + 2\xi_h\omega_h\dot{h} + w_h^2 h\right] = L_h\lambda I_\alpha\left[\ddot{\alpha} + \ddot{h}\left(\frac{s}{I_\alpha}\right) + 2\xi\alpha\omega_\alpha\dot{\alpha} + \omega\alpha^2\alpha\right] \quad (2)$$

In Eq. (2) M is the total mass of the model over the length ℓ, which also accounts for the mass of the moving components of the experimental rig; I_α is the total mass moment of inertia; is the static mass unbalance about the elastic axis, equal to the product of mass M and the distance, with appropriate sign, between the elastic center, center of stiffness, and the center of mass; λ is the longitudinal length of the model; ω_h and ω_α are the angular frequencies of vibration corresponding to the two DOFs; ζ_h and ζ_α are the corresponding structural damping ratios. The damping ratios coefficients replicate unavoidable dissipation mechanisms in the wind tunnel setup, which cannot be eliminated. The careful selection of the model's frequencies is also an important issue in the design of the experimental apparatus to ensure the successful measurement of the flutter derivatives.

After the experimental measurement of the flutter derivatives, Eq. (2) was used to determine the critical flutter speed of the model, tested in the wind tunnel. The solution to the flutter problem was based on the original 2-DOF flutter theory,

proposed by Scanlan. Calculation of the flutter speed was based on the iterative procedure described by Simiu and Scanlan (1986), simulating a 2DOF dynamical system with mass, inertia, damping ratios and flutter derivatives corresponding to the actual setup.

Case study: Messina bridge

The Strait of Messina Bridge is a planned suspension bridge across the Strait of Messina aimed to connect Sicily with mainland Italy. The bridge would span the cities of Torre Faro in Sicily and Villa San Giovanni in mainland Italy. Figure 6 shows the typical modal deformed shape for the vertical and torsional mode.

In the 1960s, a wide variety of proposals were advanced, including everything from submerged tubes to floating struts, pontoons and a revolving central section of the bridge. None turned out to be realistic. In 1969, an international design competition was arranged. In the 1970s, feasibility studies were undertaken by the State Railways leading to the creation of a private company with responsibility for planning the crossing of the Strait. In the 1980s, the Messina Strait Company set up with support from the State Railways, the regions and *Istituto per la Ricostruzione Industriale*-IRI. It concluded that it would be feasible to build a suspension bridge. Detailed plans followed in the 1990s with final approval from the High Council of Public Works. The 2006 plan called for a single-span suspension bridge with a central span of 3.300 m. Plans called for four traffic lanes, two driving lanes and one emergency lane in each direction, two railway tracks and two pedestrian lanes. In order to provide a minimum vertical clearance for navigation of 65 m, the height of the two towers was to be 382.6 m. This would have been taller than the Millau Viaduct in France, currently the tallest bridge in the world at 341 m. The bridge's suspension system would have relied on two pairs of steel cables, each with a diameter of 1.24 m and a total length, between the anchor blocks, of 5.300 m.

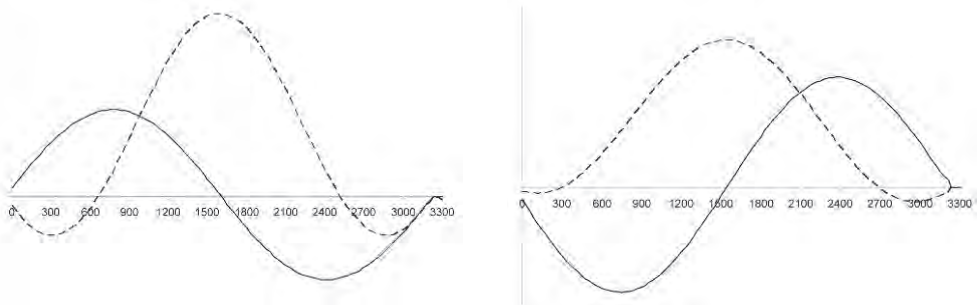


Fig. 6 - Structural modal shapes: Vertical mode, on the left, and Torsional mode, on the right.

Tab. 1 - Multiple-box deck suspension bridge structural modal frequencies. Structural parameters B = main cables spacing; γ = deck weight, f_h = vertical modal frequency; f_α = torsional modal frequency, U_c = critical flutter velocity.

Configurations	*b* [m]	*g* [t/m]	*Structural Modal frequencies* [Hz]			U_c [m/s]
			$1^{st} f_h$	$1^{st} f_\alpha$	$1^{st} f_\alpha / f_h$	
1 (Messina 1992)	52	18.5	0.0604	0.0804	1.33	94.0
2	52	15.6	0.0604	0.0821	1.36	86.7
3	48	14.8	0.0604	0.0823	1.38	79.4
4	44	14.3	0.0605	0.0847	1.40	88.6
5	40	14.1	0.0605	0.0866	1.43	65.1

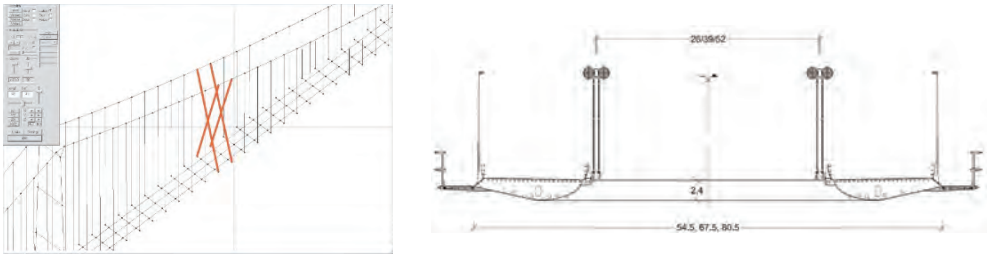
Flutter instability acting on aeroelastic parameters

As it was discussed in the first Section, the deck shape affects the aeroelastic effects. It was observed that reducing the main cables spacing dimension, i.e. reducing boxes spacing, the ratio between the first torsional and vertical natural frequency increases. Some structural parameters are listed in Table 1 for five different configurations. The main cables spacing varies from 52 m, configuration 1, to 40 m, configuration 5. It is important to specify that 2 differs from 1 because the absence of grillages. the Though wind tunnel experiments were observed that the ratio between the first two frequencies, i.e. torsional and flexional, in the following also named vertical, respectively, varies between 1.33 and 1.43. Finally, the critical flutter velocity ranges from 65.1 m/s, configuration 5, to 94 m/s, configuration 1. The strongest decreasing of the critical flutter velocity occurs for the main cables spacing around 40 m.

Flutter instability acting on structural parameters

Finite Element Method-FEM analyses performed on crossing hangers, in Figure 7, have shown that the critical flutter velocity for configuration 1 increases to 120 m/s. The analyses were performed using the TENSO nonlinear geometrical analysis program, which can execute dynamic step-by-step integration of the nonlinear three-dimensional structure with geometric nonlinearities.

The TENSO software includes modules for simulating cable and beam finite element models and for the study of wind-structure interaction phenomena with generation of wind speed time histories and simulation of various aeroelastic loads. The Newmark-Beta method with Rayleigh damping is used for numerical integration of the dynamic equations. Wind loads on the bridge deck are time dependent; they are simulated by applying the aerodynamic coefficients as a function of the time-dependent angle of attack and by setting the appropriate values of dynamic wind pressure at a given mean wind speed *U* at deck level.



(a) *(b)*

Fig. 7 - Flutter instability acting on structural parameters: Crossed hangers FEM analyses (a) and case study of a twin-box deck (b).

The program evaluates displacements and rotations of the bridge deck at progressively increasing values of U and records the velocity at incipient flutter when the reference deck vibration amplitude exceeds ±5°.

In addition, the possibility to reduce the torsional frequency to be case of a twin-box suspension bridge with a flexural frequency bigger than the torsional frequency has been investigated. The twin-box deck assumed as a case study is illustrated in Figure 7. The main cables spacing was varied from 54.5 m to 80.5 m and the modal analyses was performed through FEM analyses by using Tenso. Results are listed in Table 2.

Analyses were pushed by using a wind velocity bigger than 100 m/s and the critical flutter velocity did not occurred. The same results were also obtained by (Andersen *et al*., 2014; Bartoli *et al.*, 2008; Bartoli *et al*., 2009). Even if the 1st torsional-to-1st bending frequency ratio is about one in still air, the attainment of the aim against flutter instability is substantially obtained: it is known that the frequency separation is expected to increase under wind as a consequence of the reduction of the torsional frequency and of the slight increase of the vertical bending frequency; consequently, the modes should tend to further separate instead of coupling. The achievement of the aim of flutter-instability suppression is confirmed by the 2nd torsional-to-2nd bending frequency ratio, that is smaller than one for all the configurations.

Tab. 2 - Twin-box deck suspension bridge structural modal frequencies. Structural parameters: B=cord deck dimension; f_h = vertical modal frequency; f_α = torsional modal frequency.

Configurations	*b* [m]	*Structural Modal frequencies [Hz]*					
		1st f_h	1st f_α	1st f_α / f_h	2nd f_h	2nd f_α	2nd f_α / f_h
6	54.5	0.06074	0.06052	0.99	0.08211	0.07731	0.94
7	67.5	0.06099	0.06077	0.99	0.08201	0.07720	0.94
8	80.5	0.06181	0.06192	1.00	0.08197	0.07814	0.95

Conclusions

This paper has discussed the flutter instability on twin and multiple box deck suspension bridges varying the box spacing, crossing hangers and acting on the modal flexional and torsional natural frequencies. Results discussed confirmed that the deck aerodynamics affects the flutter instability and that reducing the main cables spacing dimension the ratio between the first torsional and vertical natural frequency increases. Finally, two case studies were discussed: the case of the suspension bridge with hangers crossed and the case of a twin-box deck bridge with the first flexural frequency bigger than the torsional. High critical flutter velocities were estimated using both solutions.

References

Andersen M.S., Sahin E., Laustsen B., Lenius M., Læsø J.R. 2014. Implementation of the non-flutter design principle. IN-VENTO 2014, XIII Conference of the Italian Association forWind Engineering, 22-25 June 2014, Genova, Italy.

Bartoli G., D'Asdia P., Febo S., Mannini C., Noè S., Procino L. 2009. Innovative configurations for long-span suspension bridges. Proceedings of the 5th European and African Conference on Wind Engineering. Florence, Italy.

Bartoli G., D'Asdia P., Febo S., Mannini C., Pastò S., Procino L. 2008. Innovative Solutions for long-span suspension bridges. BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics Applications.

De Miranda M. 2016. Long-span bridges. In: *Innovative Bridge Design Handbook, Construction, Rehabilitation and Maintenance* (ed. by A. Pipinaso). Oxford: Butterworth-Heinemann, Ch. 15, 383-425.

Ge Y.J., Xiang H.F. 2009. Aerodynamic stabilization for box-girder suspension bridges with super-long span. In: *Proceedings of the EACWE 5,* 19th-23t July, Firenze, Italy.

Katsuchi H., Jones N.P., Scanlan, R.H. 1999. Multimode coupled buffeting and flutter analysis of the Akashi-Kaikyo Bridge. Journal of Structural Engineering, ASCE, 125(1), 60-70.

Khalil M., Poirel D., Sarkar A. 2016. Bayesian analysis of the flutter margin method in aeroelasticity. Journal of Sound and Vibration, 384, 56-74.

Lin W. , Yoda T. 2017. Suspension Bridges. In: *Classifications, Design Loading, and Analysis Methods. Bridge Engineering,* Ch. 11, 195-211.

Pipinato A. (editor). 2022. *Innovative Bridge Design Handbook Construction, Rehabilitation and Maintenance*. 2nd Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Sato H., Hirahara N., Fumoto K., Hirano S. *et al*. 2002. Full aeroelastic model test of a super long-span bridge with slotted box girder. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90, 2023-2032.

Scanlan R.H., Tomko J.J. 1971. Airfoil and bridge deck flutter derivatives. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 97(EM6), 1717-1737.

Simiu E., Scanlan R.H. 1986. *Wind Effects on Structures*. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons.

Fabio Brancaleoni

Le strutture del ponte sullo Stretto, dalle prime proposte al progetto definitivo

The structures of the bridge on the Strait, from the first proposals to the final design

Sommario
Per un ponte sospeso di grande luce la concezione nasce dalla conformazione dell'impalcato e dal suo comportamento aeroelastico. In questo lavoro viene illustrata dal punto di vista strutturale l'evoluzione delle soluzioni sviluppate per il progetto dell'attraversamento dello Stretto di Messina con un ponte sospeso di campata centrale di 3300 m di luce a partire dagli anni '70 del secolo scorso sino al progetto definitivo del 2011. Vengono poi descritte le soluzioni per le altre componenti dell'opera, in particolare sistema di sospensione e torri, per concludere con un cenno su alcuni altri aspetti innovativi introdotti e perfezionati nello stesso periodo.

Abstract
The conception of a long span suspension bridge stems from the configuration of the deck and from its aeroelastic behaviour. The present paper describes from a structural standpoint the evolution of the solutions developed for the Messina Strait with a 3300 m main span suspension bridge from the Seventies of the past century to the final design of 2011. The solutions for the other main bridge components are subsequently illustrated, with the suspension system and the towers, to conclude with a brief overview of some innovative aspects progressively introduced in the same period.

Introduzione
La chiave per la fattibilità di un ponte sospeso di grande luce è la stabilità aerodinamica, con l'impalcato che costituisce l'elemento sul quale si esplicano le maggiori azioni del vento e che è quindi a questo fine determinante (Gimsing, 2012). La conclusione che per il complesso ambiente dello Stretto di Messina la scelta per un attraversamento stabile fosse un ponte sospeso a campata unica di 3300 m di luce fu raggiunta dopo venti anni di studi nel 1990 (Brancaleoni *et al.*, 2009) e fu accompagnata da un lungo processo di sviluppo di soluzioni per l'impalcato di un ponte che avrebbe avuto più del doppio della luce massima del più grande allora esistente.

Al tempo, infatti, il ponte più grande del mondo era il Giovanni da Verrazzano negli Stati Uniti, del 1964, con 1298 m di luce, per divenire nel 1981 il ponte sull'Humber, nel Regno Unito, con 1410 m di luce. A fine anni Ottanta iniziò poi la costruzione del ponte sullo stretto dell'Akashi, in Giappone, che sarebbe stato completato nel 1998 con una luce centrale di 1991 m e soltanto nel 2022 si sarebbero superati i 2 km con il ponte 1915 sui Dardanelli, in Turchia, con 2023 m di luce centrale.

La prima parte di questo lavoro è dedicata alla esposizione della evoluzione che nel periodo che va dagli anni '70 del secolo scorso al 2011, anno in cui è stato completato il progetto definitivo del ponte sullo Stretto, hanno avuto le soluzioni progressivamente studiate per l'impalcato, delle quali vengono sottolineati soprattutto gli aspetti di comportamento strutturale, funzionale e costruttivo.

Nel seguito sono in modo analogo esposte le configurazioni per le altre componenti della sovrastruttura, ossia il sistema di sospensione e le torri, che a quella dell'impalcato conseguono. Se infatti l'impalcato è, nel comportamento strutturale globale dominato dai cavi principali, un elemento secondario, è però quello cui sono applicati i carichi più significativi: in primo luogo il suo stesso peso, poi il traffico stradale e ferroviario e, soprattutto, le azioni del vento.

Infine, si affrontano alcuni fra i diversi aspetti specifici e innovativi introdotti nel progetto per delle componenti dimensionalmente minori ma di grande importanza. Ci si riferisce in particolare a giunti di espansione e sistema dei vincoli.

L'impalcato del ponte

Nel fervore tecnico e scientifico seguito al crollo del ponte di Tacoma Narrows nel 1940 è stato presto compreso come una delle possibilità per migliorare la stabilità aerodinamica dei ponti fosse il ridurre e regolare le azioni del vento sugli impalcati. Questo in alternativa alla concezione più classica, pur valida sino a certe luci, di aumentarne la rigidezza con impalcati reticolari di notevole dimensione.

Furono quindi, fin dagli anni Cinquanta, proposte diverse idee volte a permettere il passaggio di flussi d'aria attraverso l'impalcato rendendolo in parte "trasparente", in un primo periodo con approcci certamente rozzi, anche se di qualche efficacia. Si vedano ad esempio i grigliati introdotti per l'impalcato del ponte 25 de Abril sul Tago in Portogallo del 1966, i molti studi condotti per il ponte sull'Akashi (Brancaleoni *et al*., 2009) e poi non adottati per tornare a una soluzione reticolare, nonché i grigliati introdotti nel 1956 nel quadro della riabilitazione del ponte storico di Wheeling sul fiume Ohio negli Stati Uniti, (Cuddy, 1999).

In questo quadro, i primi schemi per garantire la stabilità aerodinamica per la campata unica sullo Stretto derivarono dal concetto di *vented deck*, che vedeva impalcati a cassone alare a lastra ortotropa (Brown *et al*., 1975), quali quello della prima applicazione nel 1966 per il ponte sul Severn, trasformati in una successione di piccoli cassoni sempre in acciaio, con interposte larghe aperture chiuse da grigliati.

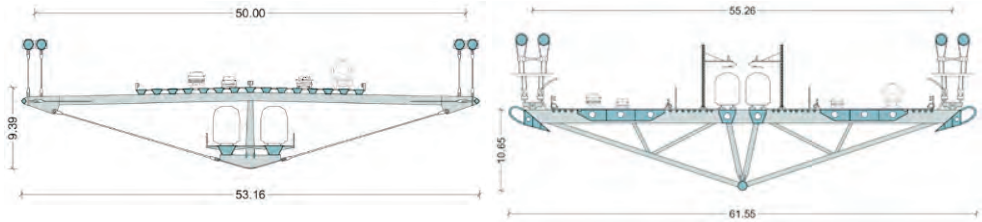


Fig. 1 - Impalcato per il ponte a campata unica: configurazione degli anni ’70, a sinistra, e degli anni ’80, a destra.

Nella configurazione degli anni ’70 per il ponte sullo Stretto, in Figura 1, sono presenti un livello superiore per le vie di corsa stradali con numerosi cassoncini e interposti grigliati e un livello inferiore per i due binari, mensole di collegamento al sistema di sospensione e funi di irrigidimento del sistema (Gruppo Ponte Messina, 1979).

Tale soluzione mostrò eccellenti caratteristiche di stabilità aerodinamica, presentando tuttavia numerosi aspetti non soddisfacenti. Primo, la complessità costruttiva, con i molti elementi che avrebbero necessitato di giunzioni complesse. Non ottimale poi lo sfruttamento dei materiali, con i cassoncini della piattaforma stradale portati dai trasversi e non in essa integrati, nonché con un doppio livello che rende significativa l’area esposta al vento e quindi la associata componente di spinta, argomento sul quale si tornerà a proposito delle torri. La marcia su grigliati alternati a zone piene è poi di scarsa qualità sia in termini di comfort che di sicurezza.

Provata la fattibilità e la stabilità aerodinamica, venne intrapreso un percorso di miglioramento e di introduzione di ulteriori concetti e soluzioni, con un primo passo compiuto a inizio anni Ottanta, sempre in Figura 1. In questa soluzione vengono introdotte diverse innovazioni: i numerosi cassoni vengono integrati nei trasversi e uniti in quattro soltanto, due per le carreggiate stradali e due per la piattaforma ferroviaria che, visti gli spazi disponibili, viene portata sullo stesso livello. Rimangono i grigliati soltanto per le corsie di sosta e di servizio e rimane una importante struttura reticolare tridimensionale di irrigidimento, connessa a un processo di comprensione del comportamento dell’opera che non aveva ancora completamente abbandonato concetti classici di *stiffening girder*. Sono anche presenti due elementi che saranno molto importanti e che subiranno una successiva profonda evoluzione e ottimizzazione: gli schermi perforati per la protezione dei veicoli dagli effetti diretti del vento e i grandi profili alari esterni sul piano impalcato, per una più razionale canalizzazione dei flussi e per introdurre smorzamento aerodinamico aggiuntivo. Sulla base di questa configurazione venne redatto il rapporto di fattibilità da parte della società pubblica Stretto di Messina S.p.A. (Stretto di Messina, 1986).

Il processo di sviluppo di soluzioni più efficaci progredì comunque in parallelo agli studi di fattibilità. Un aspetto importante fu la comprensione, raggiunta già negli

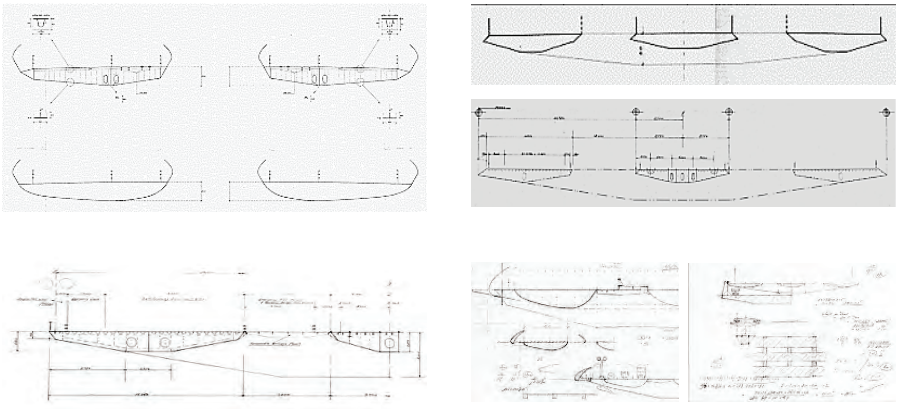


Fig. 2 - Schizzi di sviluppo per la soluzione di impalcato elaborata negli anni ’80 (cortesia di Mrs. Celia Brown e disegni dell’Autore).

anni ’70 ma pienamente esplicata soltanto successivamente, del fatto che la rigidezza geometrica dei cavi principali era tanto alta da garantire di per sé eccellenti prestazioni di servizio (Brancaleoni, 1979). Ottenuta la stabilità aerodinamica tramite l’aerodinamica dell’impalcato, questo rendeva del tutto superflua la presenza di una struttura irrigidente, che poteva essere eliminata.

Furono poi ulteriormente uniti fra loro i cassoni, studiando soluzioni a due cassoni, ciascuno con una carreggiata stradale e un binario posto all’interno. Questa configurazione, interessante dal punto di vista strutturale, risultò non adeguata come deformabilità rotazionale, con pendenze trasversali eccessive, e si fu costretti ad abbandonarla: viene oggi ampiamente ripresa per ponti solo stradali. Si concluse quindi che la piattaforma ferroviaria dovesse essere collocata sull’asse dell’opera, evitando eccentricità eccessive dei carichi associati: quindi tre cassoni, due esterni stradali e uno centrale ferroviario, collegati al sistema di sospensione da grandi trasversi pure a cassone. Di questo periodo di grande fervore intellettuale sono una minima testimonianza alcuni degli schizzi di sviluppo, mostrati in Figura 2.

Una volta presa nel 1990 la decisione finale per la soluzione a campata unica, i concetti sopra delineati furono alla base di una prima soluzione preliminare di impalcato a tre cassoni, ancora poco perfezionata sia nei dettagli che nella progettazione aerodinamica, che fu poi sviluppata in modo molto più approfondito e più sofisticato nel progetto di massima del 1992, uno dei passi fondamentali nella storia del progetto, in Figura 3 (Brancaleoni, 1993; Brown, 1996). I cassoni sono ora arrotondati e studiati in galleria del vento per ottimizzare il passaggio dei flussi, la struttura è più funzionale e leggera, gli schermi di protezione dagli effetti del vento sono configurati in modo da ridurre la spinta del vento pur conservando la loro efficacia, i

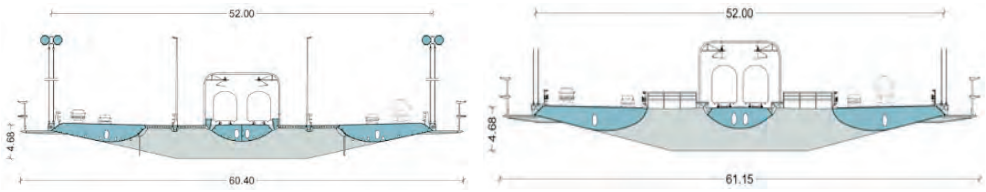


Fig. 3 - L'impalcato nel progetto di massima del 1992, a sinistra, e nel progetto a base della gara di appalto del 2003, a destra.

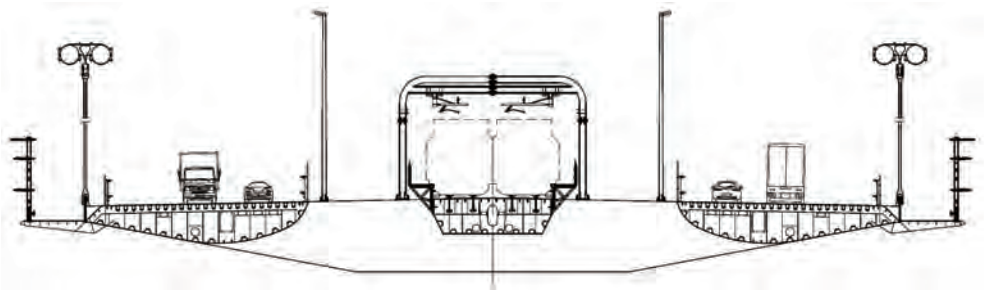


Fig. 4 - L'impalcato nel progetto definitivo del 2011.

profili alari, più piccoli e sdoppiati, sono integrati con i frangivento. Restano ancora i grigliati per le corsie di sosta e di servizio.

Il progetto del 1992 fu nel 2002-2003 sviluppato in progetto per gara di appalto, conservando la concezione generale ma con una decisione importante: non si ritenne accettabile la presenza di grigliati per le corsie di sosta, quindi i cassoni stradali furono leggermente allargati, il numero delle corsie di marcia ridotto da tre a due e l'intera carreggiata stradale collocata su superfici continue, con i grigliati presenti sulle sole corsie esterne di servizio, come mostrato in Figura 3. Su questa base venne sviluppato il progetto definitivo del ponte del 2011, raggiungendo la configurazione di Figura 4. Fra le modifiche, una variazione di forma dell'intradosso del cassone ferroviario, introdotta per risolvere un potenziale problema di distacco di vortici, e l'aumento da due a tre dei profili alari integrati nei frangivento, per un ulteriore miglioramento delle prestazioni aerodinamiche.

Il sistema di sospensione

Si è già detto che il sistema di sospensione dà all'opera sia capacità portante che rigidezza globale, con l'impalcato che ha in questo senso un ruolo relativamente secondario. È tuttavia l'impalcato, con il suo peso e i carichi applicati da traffico, a determinare le dimensioni dei cavi portanti principali. Una quantificazione di questo

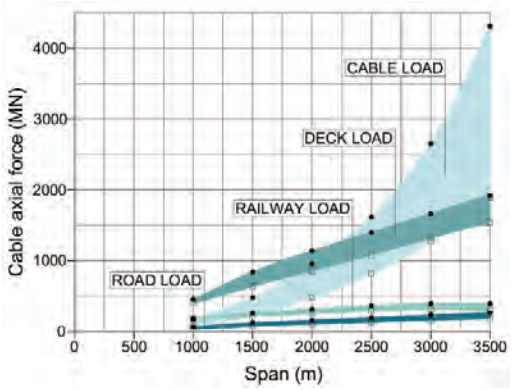


Fig. 5 - Sforzo assiale nei cavi portanti determinato da diverse componenti di carico verticale (Brancaleoni *et al.*, 2009).

concetto è riportata in Figura 5 (Brancaleoni *et al.*, 2009), che mostra in funzione della luce lo sforzo assiale nei cavi principali indotto dalle diverse componenti di carico statico verticale: il peso dell'impalcato, i carichi da traffico stradali e ferroviari e il peso proprio dei cavi. Il contributo dell'impalcato è il più significativo per luci relativamente piccole, attorno ai 1000 m, seguito dai carichi ferroviari e stradali. Al crescere della luce i contributi dell'impalcato e dei carichi da traffico crescono sì, ma in modo pressoché lineare, mentre quello del peso proprio dei cavi cresce in modo ben più che lineare. Nel campo di applicazione di interesse, si vede che attorno a 2500 m di luce il contributo dei cavi eguaglia quello dell'impalcato, per poi superarlo. Questo dato, letto in senso inverso, mostra che ogni elemento di peso sull'impalcato, strutturale o meno, comporta un peso ben maggiore nei cavi portanti.

Per una fattibilità dell'opera, economica e, come vedremo, non solo, occorre quindi che l'impalcato sia il più leggero possibile, per limitare non tanto il suo stesso peso, ma quello dei cavi portanti, che divengono la componente quantitativamente preponderante del ponte. Questo è quello che viene spesso indicato come uno degli effetti di scala nel comportamento dei ponti sospesi di grandissima luce (Brancaleoni *et al.*, 2009). Un aspetto quindi che, nello sviluppo delle soluzioni di impalcato descritto al paragrafo precedente, si rivelò di importanza fondamentale è la ricerca della massima leggerezza ed efficienza strutturale, per la quale la soluzione del 1992 mostra caratteristiche enormemente migliori rispetto a quelle antecedenti, come evidenziato in Tabella 1. Le quantità sostanzialmente identiche del progetto di massima del 1992 e del progetto definitivo del 2011 corrispondono poi a prestazioni decisamente superiori soprattutto in termini di effetti locali e di comportamento a fatica.

Per quel che riguarda la configurazione dei cavi principali si ricorda, senza voler entrare in dettaglio, che l'obbiettivo è la realizzazione in sito di grandi fasci di fili

Tab. 1 - Peso dell'acciaio delle diverse componenti della sovrastruttura nella progressiva evoluzione del progetto.

Componente	Peso della componente [t]			
	Progetto 1986	Progetto 1990	Progetto 1992	Progetto 2011
Impalcato	129 000	87 000	70 500	70 000
Cavi principali	275 000	202 000	166 000	170 000
Torri	220 000	169 000	108 000	110 000

paralleli, ad alta resistenza, di diametro di poco superiore ai 5 mm, zincati a caldo. Le tecniche possibili per la messa in opera sono la tessitura filo a filo, l'*aerial spinning*, o la messa in opera di funi prefabbricate a fili paralleli, i *prefabricated parallel wire strands*-PPWS (Gimsing, 2012; Brancaleoni, 2024).

Per un ponte di queste dimensioni l'area totale dei cavi è estremamente significativa e una configurazione con due soli cavi portanti avrebbe portato ad un diametro assai maggiore di quanto mai realizzato in precedenza, con potenziale complessità costruttiva, in particolare per le operazioni di compattazione, e con dimensioni e sforzi estremamente importanti nelle selle e nei pettini di deviazione. Sia nel progetto di massima del 1992, basato sulla tecnica dello aerial spinning, che per quello del 2011, basato invece su funi prefabbricate, si scelse pertanto di avere due coppie di cavi portanti, in Figura 6, con la Tabella 2 che fornisce alcune delle caratteristiche più significative del secondo.

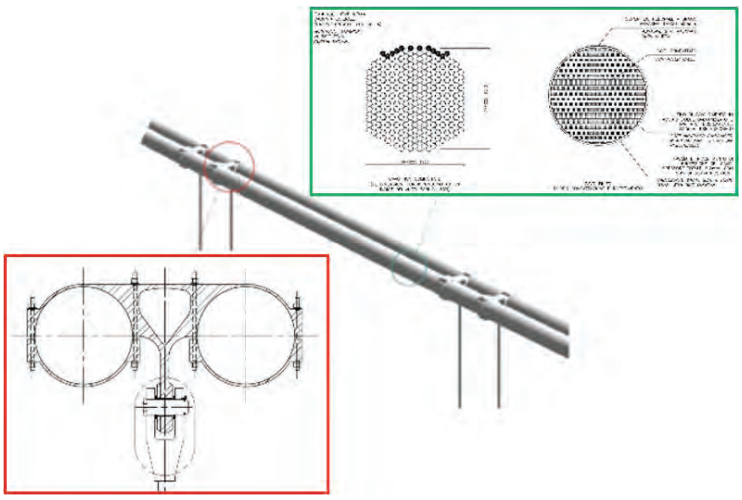


Fig. 6 - I cavi principali nel progetto definitivo del 2011.

Tab. 2 - Principali caratteristiche dei cavi principali, progetto definitivo del 2011.

Numero	Diametro [mm] ciascuno	n. PPWS, ciascuno	Fili per fune	Diametro fili [mm]	Classe acciaio (MPa)
2 coppie	1 260	349	127	5.4	1860

Le torri

Per dimensioni e sismicità della zona le torri del ponte non possono essere che di acciaio, con soluzioni di calcestruzzo ad alta resistenza che trovano efficace applicazione in altri contesti e per altre luci. Come azione che ne determina il progetto, oltre all'elevatissimo carico verticale, va annoverata la spinta trasversale del vento, che si esplica principalmente sull'impalcato e che viene trasmessa alle torri con un meccanismo pendolare: sotto la spinta del vento l'impalcato si sposta, i pendini si inclinano e la componente orizzontale del loro sforzo assiale si trasferisce ai cavi, che a loro volta si spostano inclinandosi e la trasferiscono alla sommità delle torri. Impalcati di grandi dimensioni e forme tozze ricevono spinte elevate e provocano un altrettanto elevato impegno strutturale delle torri, tanto da richiedere spesso l'introduzione di crociere di controvento, di montaggio complesso e con quantità di acciaio significative. Impalcati a cassone a lastra ortotropa consentono invece configurazioni a telaio, più semplici e con minori quantità di materiale. Come esempi di queste due classi nella Figura 7 sono mostrate le torri del ponte sull'Akashi e del ponte Osman Gazi sulla baia di Izmit, assieme ai loro impalcati.

Per il ponte sullo Stretto le soluzioni di impalcato degli anni '70 erano di peso considerevole e di significativa superficie esposta alla azione del vento, con coefficienti di spinta importanti. Volendo evitare le complesse strutture di controvento di cui si è detto, fu sviluppata una soluzione a doppia A, in Figura 8, schema elegante a

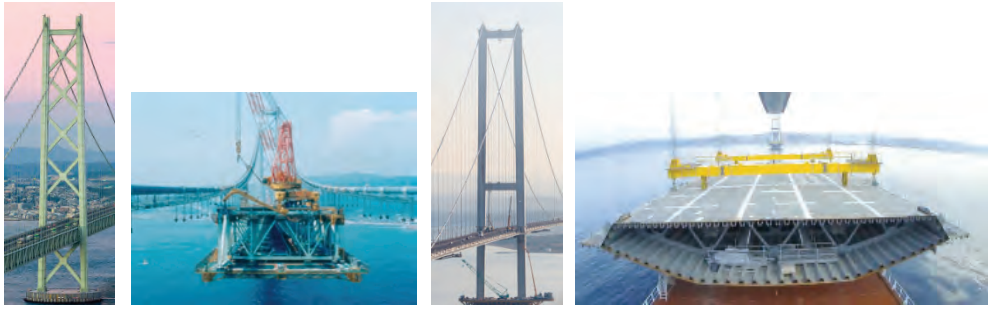


Fig. 7 - Impalcati reticolari o impalcati alari e le conseguenze sulle torri: gli esempi del ponte sull'Akashi, a sinistra, e del ponte Qsman Gazi, a destra..

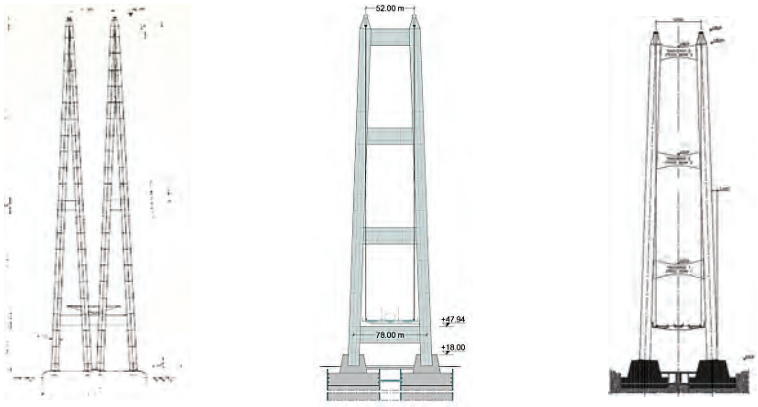


Fig. 8 - Le soluzioni per le torri del ponte sullo Stretto: studio di fattibilità del 1979, a sinistra, progetto di massima del 1992, al centro, progetto definitivo del 2011, a destra.

fronte di una notevole complessità costruttiva dei fusti fortemente inclinati. Le soluzioni di impalcato successive hanno invece consentito l'adozione di schemi a telaio: sempre in Figura 8 sono mostrate la soluzione del 1992 e quella del 2011.

Alcune caratteristiche dinamiche

Nella Figura 9 sono mostrati il primo modo di vibrazione, trasversale o pendolare con un periodo proprio di circa 32 s, il terzo modo di vibrazione, che è il primo verticale con periodo proprio di circa 17 s, e il quinto modo di vibrazione, che è il primo rotazionale con periodo proprio di circa 12 s (Brancaleoni *et al*., 2009). Sono i secondi due a determinare le prestazioni di stabilità aerodinamica con i loro periodi propri molto prossimi, che rendono l'opera particolarmente sensibile da questo punto di vista. A determinare questa prossimità di periodi è la preponderanza non solo della rigidezza, ma anche della massa dei cavi, al contrario di quel che avviene per luci inferiori. Diviene questo un secondo effetto scala per le grandissime luci, che mostra anch'esso la necessità di mantenere al minimo possibile le dimensioni dei cavi. I modi di vibrazione visti sinora sono caratterizzati da periodi propri troppo lunghi per essere invece sensibili ad azioni sismiche e lo stesso vale per altri modi globali delle sovrastrutture.

Per giungere a un ordine che porti a una risposta significativa bisogna andare su modi molto successivi, in termini relativi locali, che interessano soprattutto le torri. In Figura 10 sono mostrati il primo modo trasversale e il primo modo longitudinale della torre, che sono rispettivamente il n. 50, con periodo di circa 4,5 s, e il n. 100, con periodo di circa 2,5 s: si tratta comunque di periodi piuttosto lunghi, addirittura simili a quelli obbiettivo di molti sistemi ordinari di isolamento sismico.

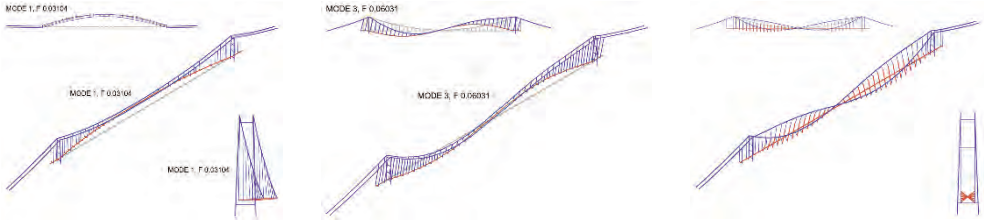


Fig. 9 - Primo modo, periodo di circa 32 s, a sinistra, terzo modo (primo verticale), al centro, e quinto modo (primo rotazionale), a destra; periodi propri rispettivamente circa 17 e circa 12 s.

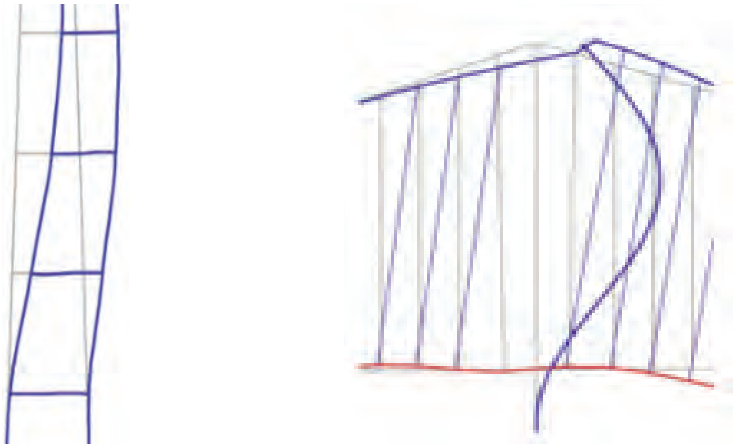


Fig. 10 - I primi modi locali della torre: trasversale, a sinistra, e longitudinale, a destra.

In direzione trasversale il dimensionamento della torre è poi comunque definito principalmente dalle azioni del vento, come detto al paragrafo precedente, mentre in direzione longitudinale il sisma dà un contributo che definisce il dimensionamento dei fusti.

Si aggiunge che quanto esposto è un ulteriore motivo che rende indesiderabili torri rigide, in particolare in direzioni trasversale, onde non abbassarne i periodi propri e rientrare in zone di maggiore sensibilità alle azioni sismiche.

Il sistema di vincolo e i giunti di espansione

Nei paragrafi precedenti sono stati delineati alcuni degli aspetti del comportamento del ponte che maggiormente influiscono sulla sua concezione e configurazione globale. Per un'opera di queste dimensioni è ben comprensibile come esista poi un gran numero di componenti di maggiore dettaglio che hanno richiesto studi specifici

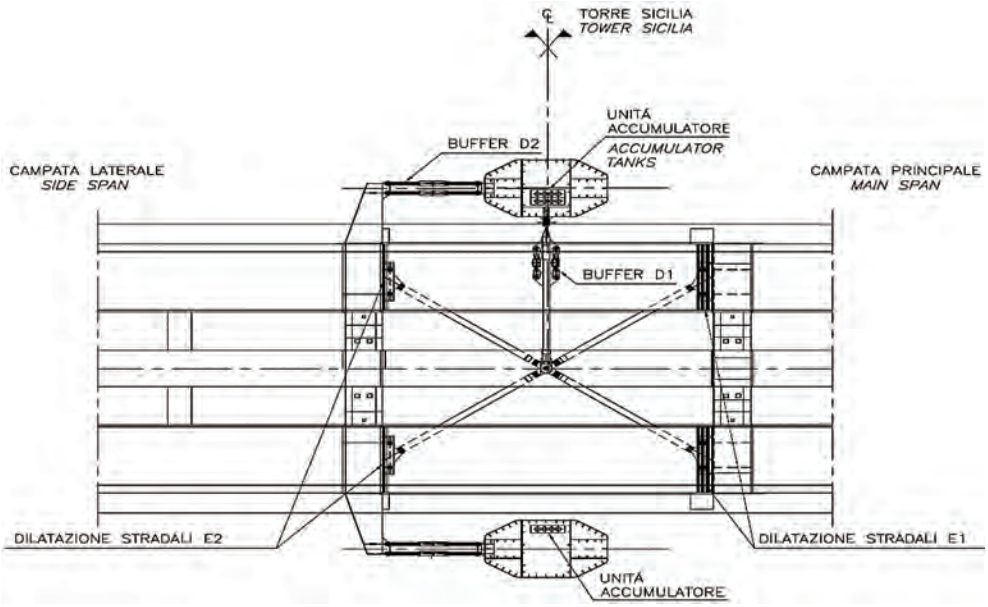


Fig. 11 - La configurazione dell'impalcato alle torri, progetto del 2011: pianta.

e hanno spesso portato a soluzioni originali e innovative. Fra queste si è ritenuto di dare un cenno a una di esse, che ha richiesto un attento processo di studio e ottimizzazione: i giunti di espansione che sono due, collocati ai due terminali dell'impalcato su apposite strutture di transizione verso i viadotti di accesso.

Particolarmente interessante il giunto ferroviario, viste le grandi escursioni previste. Per renderne la meccanica la meno complessa possibile si sono perseguiti due obbiettivi:

– ottenere una configurazione che portasse il giunto ferroviario a fornire soltanto spostamenti longitudinali; questo primo aspetto è già completamente presente nel progetto di massima del 1992;
– limitare gli spostamenti longitudinali sia come estensione che come corsa cumulata, in modo da ridurre dimensione assoluta del giunto ed usura, aspetto questo affrontato nel progetto definitivo del 2011.

Per il primo obbiettivo è stata introdotta una serie di misure, tutte a carattere strutturale, che possono essere così sintetizzate:

– alle torri i due impalcati stradali sono stati interrotti da giunti, lasciando continuo l'impalcato ferroviario, come mostrato in Figura 11, in modo che le rotazioni della campata centrale attorno all'asse verticale non si riflettano nelle laterali;

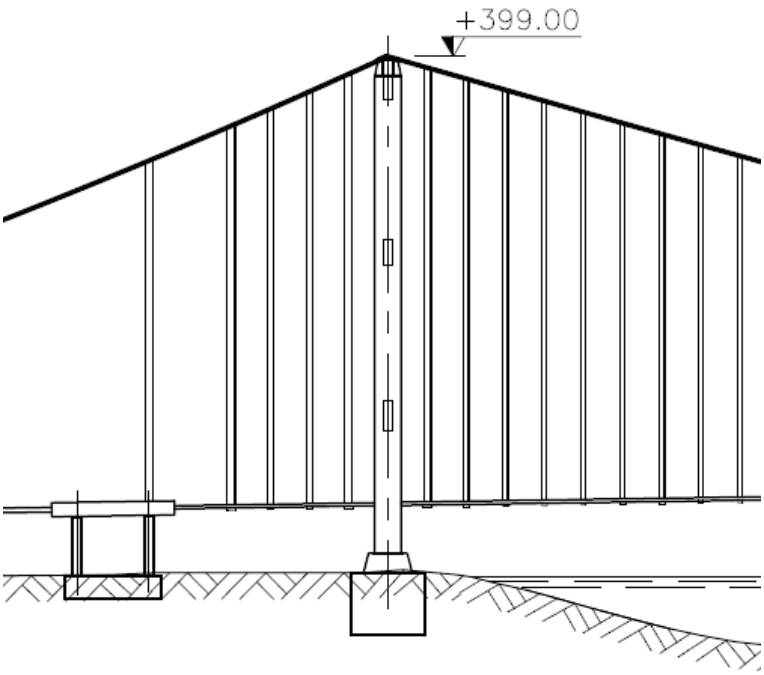


Fig. 12 - La zona delle campate laterali, progetto del 2011: prospetto. Sono visibili le funi di tie down.

– le campate laterali sono brevi, in modo da far sì che le rotazioni proprie attorno all'asse verticale siano modeste, come rappresentato in Figura 12;
– per limitare gli spostamenti verticali delle campate laterali e le associate rotazioni i cavi principali sono stati irrigiditi collegandoli alle strutture terminali con delle funi verticali cosiddette di *tie down*, si veda ancora la Figura 12.

Grazie a quanto sopra descritto le modeste componenti residue di rotazione e di spostamento verticale e trasversale al giunto possono essere efficacemente assorbite da sistemi di guide collocati sulle strutture terminali. Rimangono gli elevati spostamenti longitudinali, che sono dovuti non soltanto alle variazioni termiche, ma anche e soprattutto al passaggio di convogli ferroviari. Fu quindi necessario nel progetto del 1992 introdurre giunti di binario di grande escursione, circa ± 6 m, di tipologia "ad ago", guidati da un complesso meccanismo a ruote.

Nel progetto definitivo del 2011 sono invece stati introdotti dei dispositivi oleodinamici a soglia di forza, che permettono pressoché completamente gli spostamenti di origine termica ma limitano fortemente quelli dovuti al traffico, eliminando del

tutto quelli dovuti al traffico medio e leggero. Questo ultimo aspetto, oltre a ridurre significativamente l'escursione complessiva dei giunti, ora pari a ± 2 m, permette l'adozione di più semplici giunti "a mezza rotaia" e contiene in grande misura gli spostamenti cumulati, con un deciso miglioramento in termini di usura e durabilità, problematica che nelle esperienze degli ultimi decenni si è rivelata molto significativa (Zhang, 2014).

Conclusioni

In questo contributo è stata proposta una sintetica esposizione degli aspetti più salienti del lungo processo di sviluppo del progetto strutturale del ponte sospeso di 3300 m di luce per l'attraversamento dello Stretto di Messina, con le molte soluzioni innovative progressivamente introdotte e perfezionate in un arco di tempo di diverse decine di anni. Idee che possiamo affermare essere oggi alla base della concezione di molti ponti sospesi in tutto il mondo, sia realizzati che in progetto: una iniziativa italiana che permesso significativo progresso tecnico e scientifico internazionale e ha aperto la strada verso la realizzazione di grandissime luci.

Bibliografia

Brancaleoni F. 1979. *Verformungen von Hängebrücken unter Eisenbahnlasten.* Der Stahlbau. Hoboken: Ernst (Wilhelm) & Sohn.

Brancaleoni F., Diana G. 1993. The Aerodynamic Design of the Messina Straits Bridge. International Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 48, 395-409.

Brancaleoni F. *et al*. 2009. *The Messina Strait Bridge - A Challenge and a Dream*. Leiden: CRC Press/Balkema.

Brancaleoni F. 2024. I cavi portanti dei ponti sospesi, passato e presente. In: *Proceedings of the 6th International Conference on History of Engineering - Atti del 10° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo, R. Mauro). Napoli: Cuzzolin Editore.

Brown W.C. *et al.* 1975. Bosphorus Bridge Design and Construction. ICE Proceedings-Civil Engineering, 58.

Brown W.C. 1996. Development of the Deck for the 3,300 m Span Messina Crossing. In: *Proceedings of the 15th Congress of IABSE*. 1019-1030.

Cuddy M. 1999. Rehabilitation of the Wheeling Suspension Bridge. In: *Proceedings of the International Conference on Historic Bridges,* Wheeling, October, 33-45.

Gimsing N.J., Georgakis C.T. 2012. *Cable Supported Bridges, Concept and Design.* Third Edition. Chicester: Wiley.

Gruppo Ponte Messina 1979. *Rapporto di fattibilità.* 5. s.l.: s.e.

Stretto di Messina 1986. *Rapporto di fattibilità.* s.l.: s.e.

Zhang Y. *et al*. 2014. SHM-based condition assessment of expansion Joints in suspension Bridges. In: *Proceedings of the ACEM14 World Congress.* Busan: Techno-Press.

Fabio Brancaleoni

I cavi portanti dei ponti sospesi, passato e presente

The main cables of suspension bridges, past and present

Sommario
In questo contributo viene proposto un excursus sullo sviluppo dei cavi portanti dei ponti sospesi nell'età contemporanea, dal primo impulso ricevuto con la Rivoluzione Industriale sino ai nostri giorni, con un cenno ai passaggi e alle figure dei maggiori protagonisti di questa evoluzione scientifica e tecnologica.

Abstract
An excursus on the development of suspension bridge cables in the contemporary age is presented, beginning with the impetus of the industrial revolution until the present times, with a brief mention of the key moments and major characters of this scientific and technological evolution.

Introduzione
Di qualunque materiale fossero composte, la realizzazione delle funi portanti dei ponti sospesi è sempre stata uno dei momenti più complessi nella costruzione di queste opere, con la necessità di portare lunghi elementi al di sopra di grandi spazi per superare fiumi, bracci di mare o vallate. Si sa che i ponti sostenuti da funi vegetali si perdono nell'antichità, vedi (Jakkula, 1941) per un esaustivo regesto, mentre questo lavoro prende le mosse dal periodo successivo alla Rivoluzione Industriale: viene illustrato il passaggio dai ponti a catene a quelli sostenuti da fili, con il ruolo e l'interazione fra l'ingegneria e l'industria europea e quelle statunitensi, i primi esempi, le tecnologie di realizzazione che divengono la premessa del "grande secolo statunitense" da metà '800 a metà '900 del secolo scorso (Kemp, 1993; Petroski, 1996), per poi seguire il progresso e le nuove tecniche che portano sino ai nostri giorni.

La prima metà dell'Ottocento e i ponti a catene
La realizzazione di ponti a catene è documentata sin dal Medioevo ed è probabile che di esemplari antecedenti non sia rimasta traccia (Navier, 1823; Drewry, 1832). La maggior parte delle opere è in estremo Oriente, come esempio si cita il famoso

ponte tibetano Chushul Chakzam (ponte di ferro) sul fiume Tsangpo del 1430 con l'imponente luce di 140 m, nonché il suo costruttore, lo yogi, medico, fabbro e ingegnere *ante litteram* Thang-stong rGyal-po. Rari gli esempi in occidente: fra i pochi ponti di cui si ha traccia quattro piccole opere sulle gole della Schöllenen nel Canton Uri in Svizzera, risalenti circa al 1220 (Peters, 1987), ma bisogna giungere sino al 1734 per vedere un ponte a catene sull'Oder in Slesia o al 1741 per un piccolo ponte a catene in Inghilterra, il Winch Bridge di 21 m di luce. Tutto questo sarebbe cambiato profondamente con la rivoluzione industriale: il limite del passato va visto sia nelle caratteristiche meccaniche che potevano essere ottenute per il ferro, sia nella dimensione che i singoli anelli della catena, in genere forgiati manualmente a caldo, potevano raggiungere. Migliori forni e ferriere, motori a vapore e progresso scientifico sono fra gli elementi che danno il via all'era delle costruzioni in ferro e poi in acciaio, fra di esse i ponti sospesi.

Nel periodo in questione, il centro mondiale della produzione dei metalli era senza dubbio l'Inghilterra, con la zona industriale di Manchester e Liverpool. È però negli Stati Uniti che sono riportati i primissimi esempi di ponti a catene contemporanei, con la figura di James Finley, di professione giudice, che brevettò nel 1808 una configurazione di ponte sospeso. Sulla base delle sue idee furono costruiti una quarantina di piccoli ponti, il primo è quello di Jacob's Creek del 1801, di 21 m di luce, il più grande il Newburyport Bridge, del 1810, di 74 m di luce, in Figura 1.

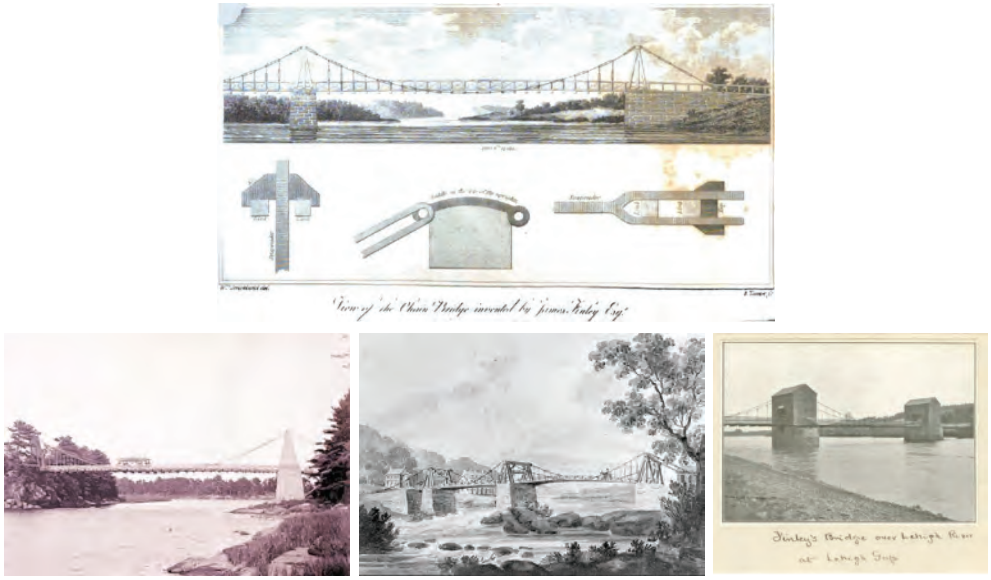


Fig. 1 - James Finley: brevetto del 1808, in alto; sotto da sinistra i ponti di Newburyport, Shuylkill e Lehigh.

Fig. 2 - Samuel Brown, Union Border Bridge: vista, in alto, e dettagli delle catene, in basso. Le foto sono antecedenti a un importante restauro completato nell'aprile del 2023.

Opere semplici, di concezione rozza, vedono le catene con anelli alternati ad aste rettilinee. Questi esempi non ebbero seguito significativo e negli Stati Uniti i ponti a catene non si sarebbero mai diffusi. Il contrario avvenne pochissimi anni dopo nel Regno Unito, a seguire in tutta Europa e non solo. Fra le molte figure che avanzarono proposte, schemi e brevetti nei primissimi anni del secolo se ne citano qui due, per motivi diversi. La prima è quella di una donna: Sarah Maria Guppy (Higgit, 2016).

Brillante e poliedrica inventrice, Guppy brevettò idee le più varie, da oggetti per la casa sino a, nel 1811, un ponte sospeso a catene. Di questo brevetto non ci furono applicazioni, ma la considerazione di cui ella godeva è indubbia: è documentato che Thomas Telford, di cui si parlerà qui nel seguito, la contattò per chiederle l'accordo a utilizzare le sue idee e diverse sono le testimonianze del fatto che Isambard Brunel, altra figura che viene qui presentata, la consultò per il progetto del Clifton Bridge.

Le prime realizzazioni significative vennero da Sir Samuel Brown, capitano della Royal Navy. Il suo brevetto sui ponti sospesi è del 1817, con la realizzazione di diverse opere la più rilevante delle quali, per luce e per simbolismo, è lo Union Border Bridge sul fiume Tweed, al confine fra Inghilterra e Scozia, in Figura 2, costruito in collaborazione con un'altra importante figura, John Rennie. Completato nel 1820, con i suoi 137 m di luce è spesso indicato come il nuovo record mondiale, anche se rimane di 3 m più corto del Chushul Chakzam di cui si è detto. Ma se la luce non è un record, molto significativi sono i progressi tecnici, con catene di barre forgiate con collegamenti a perno e occhiello e capacità portante complessiva ben superiore rispetto a quanto realizzato in precedenza: il primo vero ponte sospeso moderno.

Al periodo pioneristico seguì un grande interesse, centrato in ambito europeo ma con applicazioni in tutto il mondo, che vide centinaia di ponti a catene costruiti e numerosissime figure di costruttori e progettisti (Jakkula, 1941). In questo quadro la massima espressione di questa tipologia, per livello delle opere e momento della realizzazione, ebbe senza dubbio come cuore il Regno Unito, in connessione alle capacità industriali nella produzione di grandi elementi in ferro e nella loro lavorazione, soprattutto in forgiatura. Volendo restringere il campo a pochissime figure, la prima in tutti i sensi non può che essere quella di Thomas Telford (Smiles, 1867; Rolt, 1958). Figlio di un pastore, giovanissimo muratore, architetto autodidatta, divenne in una luminosa carriera il più importante ingegnere civile del Regno Unito georgiano. Progettò strade, canali e letteralmente un migliaio di ponti, rivoluzionando lo sviluppo di molte aree del Regno Unito ma, per motivi sia culturali che anagrafici, mai partecipando alla ulteriore rivoluzione dei trasporti avvenuta con l'avvento delle ferrovie, cui non si oppose ma che non caldeggiò. L'interesse di Telford per ponti sospesi nacque nel 1814, con uno studio per l'attraversamento del fiume Mersey, il Runcorn Bridge, che avrebbe avuto la luce record di 305 m. Per questo intraprese una sistematica sperimentazione su materiali e modelli, approfondendo le capacità delle diverse possibilità, comprendenti tondi e piatti in ferro forgiato o fili di ferro prodotti per trafilatura; alcuni suoi schizzi sono in Figura 3.

Il progetto del Runcorn non fu mai realizzato, ma presto si presentò una occasione concreta, che sarebbe divenuta non soltanto il primo ponte sospeso di Telford, ma anche la nuova luce record di 176 m e il riferimento mondiale dei ponti a catene: il ponte sullo Stretto di Menai (Provis, 1828) fra Inghilterra e Galles, completato nel

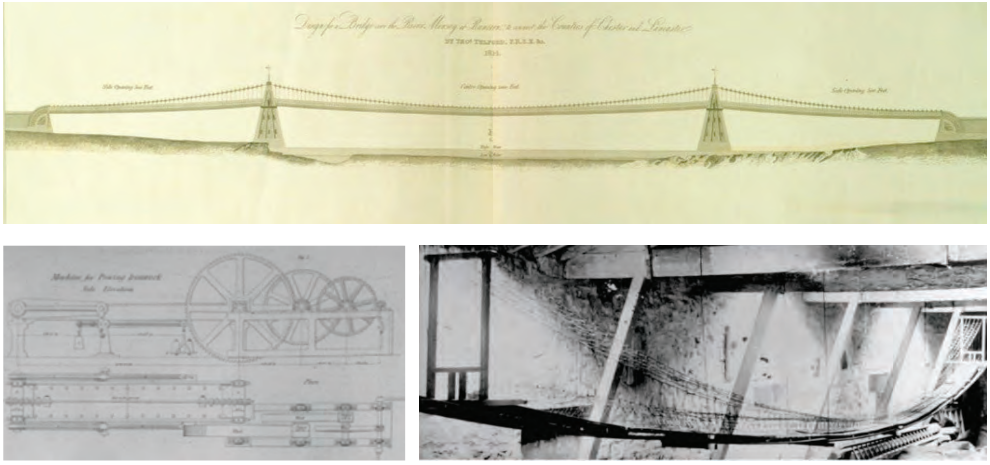


Fig. 3 - Telford, studi per il Runcorn Bridge: prospetto, in alto; in basso, da sinistra, macchine per la prova degli elementi dei cavi principali e modello del ponte fatto con fili di ferro.

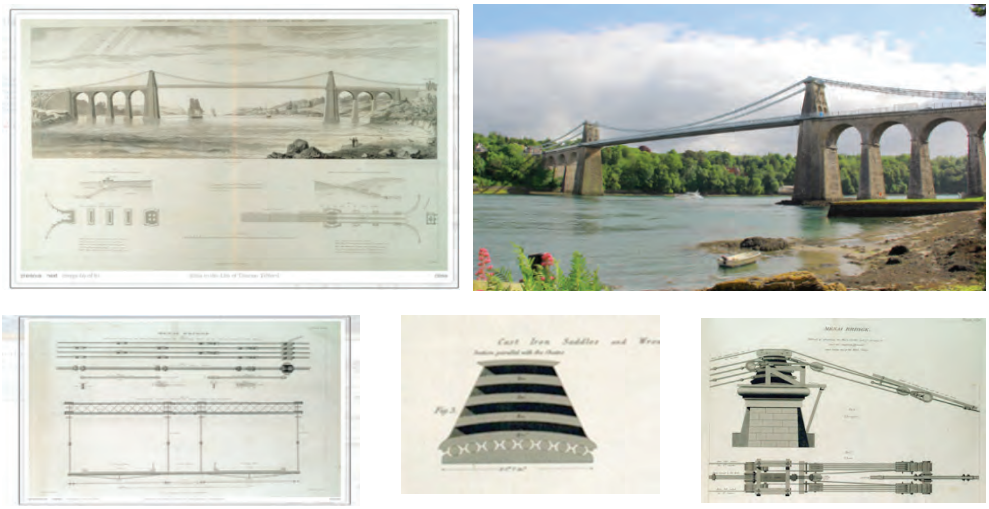


Fig. 4 - Thomas Telford, ponte sullo stretto di Menai: in alto da sinistra prospetto originale e una foto recente; in basso, da sinistra, dettagli delle catene, sistema di rulliere in testa torre e argani per il montaggio delle catene.

1826, in Figura 4. Realizzato con catene in piatti forgiati, vede ulteriori miglioramenti rispetto alle opere di Samuel Brown. Le catene sono multiple, perni e occhielli sono di migliore fattura e dimensioni, molti dettagli importanti sono stati sviluppati, si veda ad esempio il sistema di rulliere posto in sommità alle torri per permettere il libero sviluppo degli spostamenti longitudinali del sistema di sospensione o il complesso sistema di traino per il montaggio delle catene (Smiles, 1867). Telford costruì poi soltanto un secondo ponte sospeso, il Conway Castle Bridge, completato pochi mesi dopo il Menai, di poco più piccolo e di caratteristiche tecniche analoghe.

La seconda figura, scelta per importanza e per contrasto con quella di Telford, è Isambard Kingdom Brunel (Brunel, 2006, prima edizione 1870; Brindle, 2005). Contrasto per origini: il padre Marc fu già un ingegnere importante che realizzò alcuni piccoli ponti sospesi, Isambard studiò come ingegnere e si mostrò precoce e brillante. Contrasto per età: molto più giovane, fu pienamente inserito nel mondo del trasporto ferroviario, che lo vide protagonista assieme ai ponti e al settore navale. Non ultimo, il periodo culturale di ben altra vivacità: si era ormai nel Regno Unito vittoriano. Premesse per un passaggio generazionale che divenne scontro professionale nella occasione del progetto del Clifton Bridge sulla Avon Gorge a Bristol. Di questa vicenda (Clifton Suspension Bridge Trust, 1970), qui si dice soltanto che nel 1829 Telford si oppose a un progetto a campata unica del giovanissimo Brunel che avrebbe superato i 200 m di luce e sarebbe stato il nuovo record, proponendo una

Fig. 5 - Isambard Kingdom Brunel: lo Hungerford Bridge, a sinistra, e il Clifton Bridge, a destra.

sua soluzione a tre campate, tanto mal concepita da non essere mai realizzata e da far sì che l'incarico, malgrado la grande fama di Telford, fosse affidato a Brunel. La costruzione però languì, Brunel nel frattempo costruì un unico altro ponte sospeso, l'Hungerford Bridge, in Figura 5, per venire prematuramente a mancare nel 1859 e non vedere mai il suo capolavoro completato, nel 1864, utilizzando, beffa finale, le catene dell'Hungerford nel frattempo demolito. Lo spettacolare Clifton Bridge giunse tuttavia in un momento in cui nel mondo era accaduto ben altro in questo settore.

Alle realizzazioni nel Regno Unito prestò attenzione tutto il mondo, si ricordano in ambito nazionale il primo modesto esempio del ponte San Benedetto sul Bacchiglione presso Padova del 1828 e le ben più significative realizzazioni del ponte Real Ferdinando sul Garigliano e del ponte Maria Cristina sul Calore, rispettivamente del 1832 e del 1835, entrambi opera di Luigi Giura. In Europa fra i molti che a queste opere dedicarono interesse il nome più famoso è quello di Claude Louis Marie Henri Navier, che nel 1821 compì un viaggio di studio nel Regno Unito e scrisse quello che sarebbe divenuto il più importante trattato sui ponti sospesi dell'epoca (Navier, 1823). Fautore dei ponti a catene, Navier, nel 1824, applicò quanto aveva sviluppato al progetto di un ponte sulla Senna a Les Invalides. Il ponte crollò però in costruzione per il collasso di un blocco di ancoraggio e Navier doveva rimanere uno dei più grandi teorici di sempre, ma mai divenne un costruttore di grandi ponti.

Sospesi a dei fili, ancora la prima metà dell'Ottocento

Negli stessi anni l'interesse di molte figure si diresse verso i fili di ferro ottenuti con i grandi progressi delle tecnologie di trafilatura, per la loro maneggevolezza e per le loro migliori proprietà meccaniche rispetto al ferro forgiato. Lo stesso Telford li studiò, preferendo tuttavia le catene e per diversi anni la scelta fra le due tecnologie fu dibattuta con pareri molto netti a favore delle catene, ritenute più durevole e affidabili (Drewry, 1832; Martin, 1834): nel prossimo paragrafo si vedrà cosa avrebbe detto la storia (Bender, 1872). Malgrado tali pareri contrari numerosi furono i tentativi e le piccole realizzazioni che utilizzavano le funi di fili. La prima fu negli Stati Uniti, con

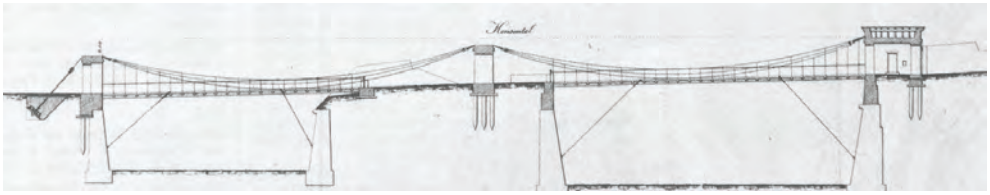


Fig. 6 - Guillaume Henri Dufour, Marc Seguin e Marc-Auguste Pictet: il ponte Saint Antoine a Ginevra.

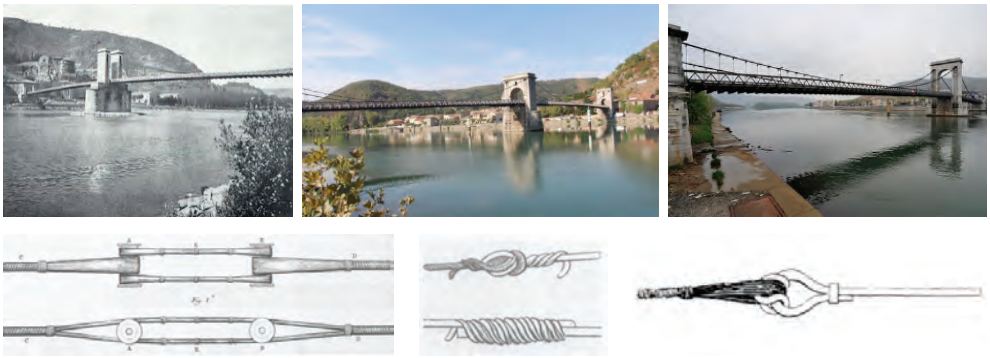


Fig. 7 - Marc Seguin. In alto, da sinistra, i ponti Tournon-sur-Rhône, 1825, e Andance, 1827, e la passerella Marc Seguin, 1849, a destra. In basso: dettagli delle funi e delle giunzioni.

una modesta passerella sospesa realizzata in Pennsylvania da Josiah White e Erskine Hazard nel 1817 sul fiume Schuylkill a Faimount. Seguono due opere strallate, il King Meadows Bridge sul Tweed di Redpath e Brown, nel 1817, e nello stesso anno il Dryburgh Abbey Bridge, ancora sul Tweed, di John e William Smith.

Come per i ponti a catene, lo sviluppo di ponti con funi di fili non doveva avvenire dove i primi furono realizzati: è in Francia che la tecnologia fiorì, *in primis* con la figura di Marc Seguin. Nacque in una famiglia di mercanti di stoffe ma abbandonò presto gli affari di famiglia per dedicarsi alle costruzioni. Realizzò un primo prototipo di ponte nel 1822, con una modesta passerella sul Cance ad Annonay, per partecipare poi assieme a Guillaume Henri Dufour e a Marc-Auguste Pictet alla costruzione del ponte Saint Antoine a Ginevra, in Figura 6, che malgrado le sue modeste luci di 33 m e 23 m può essere visto come il primo vero ponte sospeso con cavi portanti composti da fili (Dufour, 1824). Autore di un testo (Seguin, 1824), gli sono attribuite numerose opere, tutte molto simili e di dimensioni inferiori ai 100 m di luce, alcune delle quali sono mostrate in Figura 7. Le funi erano a fili paralleli, con delicate giunzioni rese necessarie dalla necessità di avere fili più lunghi rispetto a quanto le tecniche di trafilatura dell'epoca consentissero.

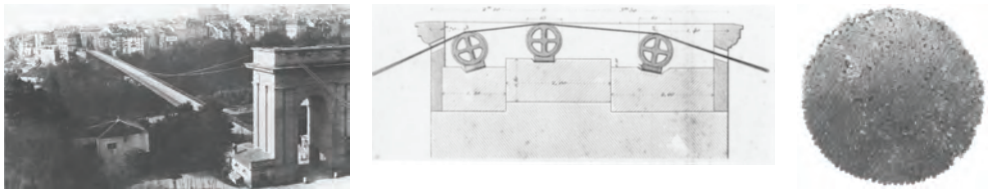


Fig. 8 - Joseph Chaley e Louis Vicat, il ponte sulla Sarine a Friburgo, 1834: da sinistra, vista, particolare delle selle e sezione delle funi.

Per dare anche in questo caso un cenno all'ambito nazionale si ricordano il primo, la passerella di Villa Paolina a Sesto Fiorentino del 1828, opera di Antonio Carcopino, il Leopoldo II sull'Ombrone a Poggio a Cajano presso Firenze del 1833, opera di Alessandro Manetti, e la vicenda molto particolare dei ponticelli a fili in Val di Sesia, ben esposta in (Re, 1993), al cui titolo si ispira l'intestazione di questo paragrafo. Per tutte le opere descritte sinora, che fossero a catene o a funi di fili, una problematica fondamentale era la messa in opera, che per entrambe avveniva, pur con molte varianti, assemblandole a terra su piste della loro intera lunghezza per poi trainarle in sito tramite argani, da terra ove possibile o da pontoni lunghi e stretti e collegarle a tratti più brevi già collocati in testa alle torri. Questo dava una forte limitazione alle luci realizzabili: per un vero progresso era necessaria una tecnologia diversa, che venne ideata in Francia a opera di Louis Joseph Vicat, più noto per i suoi studi sui calcestruzzi ma in realtà *ingeniéur en chef de ponts et chaussées* a tutto tondo. In (Vicat, 1834) venne delineato un metodo di assemblaggio di funi composte di fili che avviene interamente in sito: nacque così la tecnologia dello *aerial spinning* (Gimsing, 2012). La prima opera realizzata con questa *nouvelle manière de confectionner les càbles en fil de fer* è in Svizzera e fu un record: il ponte sulla Sarine a Friburgo, in Figura 8, di 273 m di luce, del 1834, che ebbe come progettista principale Joseph Chaley. Seguirono altri ponti ma, ancora una volta, la tecnologia fiorì in un luogo diverso: si torna negli Stati Uniti.

Il grande secolo americano, da metà Ottocento a metà Novecento

Negli Stati Uniti dell'Ottocento si verificarono tutte le condizioni per lo sviluppo di grandi ponti: industria in espansione, territori vergini e grandi fiumi o bracci di mare, in una società americana sì consolidata ma ancora di grande attrazione per l'immigrazione da tutta Europa. Le due figure qui considerate rappresentano queste due realtà, in contrapposizione personale e non solo: Charles Ellet Jr. (Kemp, 1999), e Johann Augustus Roebling, (Haw, 2020). Ellet nacque negli Stati Uniti, nella Pennsylvania che è uno dei cuori industriali del paese, in una famiglia statunitense da varie generazioni; studiò negli Stati Uniti e si perfezionò in Europa, dove conobbe i ponti di Seguin e i progressi di Vicat. Tornato in patria, avanzò diverse proposte per

ponti sospesi, ne realizzò un primo sullo Schuylkill a Fairmount nel 1842 e scrisse un testo di grande popolarità (Ellet, 1847). Il ponte di Fairmount è nella concezione un tipico "ponte Seguin", della scuola francese della quale Ellet fu sempre alfiere. Nel 1848 gli si presentarono due grandi occasioni: un ponte sospeso ferroviario sulle cascate del Niagara e un ponte sull'Ohio a Wheeling, che divenne il nuovo record con i suoi 308 m. Entrambe ebbero però destino infelice, del primo iniziò la costruzione ma problemi finanziari e politici lo bloccarono, il secondo venne distrutto da una bufera nel 1854 (Kemp, 1999) per essere poi ricostruito e rinforzato varie volte, stravolgendone la concezione originale anch'essa francese (Cuddy, 1999). Ellet morì nel 1862, a seguito di ferite riportate nella guerra civile, ma la sua sfortunata figura diede un importante impulso ai ponti sospesi americani.

Ben diverse le origini di Roebling: prussiano, figlio di un negoziante, studiò in patria dove non trovò sbocco alle sue idee in una società che considerava rigida e poco attiva. Decise quindi di partecipare assieme al fratello a una iniziativa di emigrazione di un gruppo di connazionali. Affascinato da idee di società utopiche, giunto negli Stati Uniti, fondò una comunità agricola ideale "tedesca", Saxonburg. Ma Roebling, cambiato il nome in John dopo aver preso la cittadinanza americana, scoprì presto che la agricoltura non era il suo futuro e riprese l'attività di ingegnere, partecipando a progetti di ferrovie e canali. Nello stesso periodo iniziò anche la produzione semiartigianale di funi spiroidali, tecnologia allora agli albori, dando inizio assieme ai fratelli e poi ai figli a quella che sarebbe diventata una potenza industriale del settore. La passione di John restarono però i ponti sospesi, che aveva già studiato e proposto in Europa. La sua prima occasione venne con un acquedotto sospeso sull'Allegheny, nel 1844, cui ne seguirono altri tre. Costruì poi nel 1846 il primo vero ponte sospeso sul fiume Monongahela, in Figura 9, con 8 campate da 57 m.

L'emergente Roebling cercò più volte contatto e collaborazione con Ellet, che di fatto lo ignorò: i due divennero professionalmente rivali e Roebling proseguì la propria evoluzione di una personale concezione strutturale, che vede la presenza di

Fig. 9 - John Roebling, le prima strutture sospese: l'acquedotto sull'Allegheny, a sinistra, e il ponte sul Monongahela, a destra.

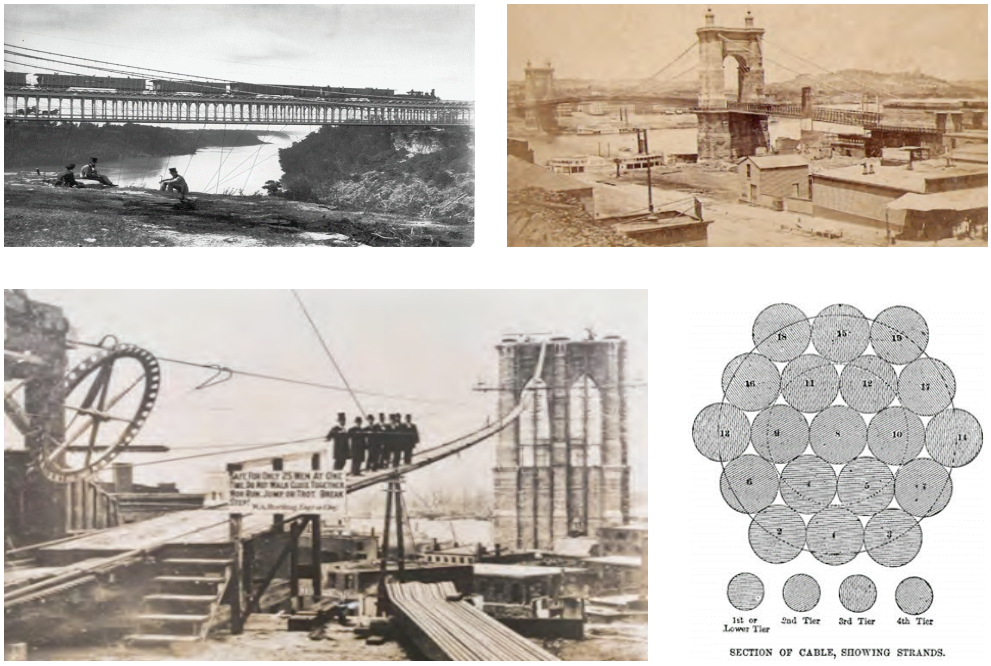


Fig. 10 - John Roebling: in alto, da sinistra, il ponte sulle cascate del Niagara e il ponte Cincinnati-Covington, a lui intitolato; in basso, da sinistra, il ponte di Brooklyn durante il montaggio dei cavi, ben visibile la "spinning wheel", e dettagli dei cavi.

impalcati più rigidi e di stralli, di un perfezionamento delle tecniche di *aerial spinning* e di giunzioni e ancoraggi per i fili (Hildenbrand, 1877). La sua prima opera di grande importanza nacque sulle ceneri di un lavoro di Ellet: nel 1855 riprese con successo il progetto del ponte ferroviario sulle cascate del Niagara, in Figura 10. Raggiunta una solida fama, realizzò nel 1867 il suo primo record con il ponte Cincinnati-Covington sull'Ohio, 322 m di luce, e si dedicò alla progettazione di quella che sarebbe divenuta l'opera simbolo dei ponti sospesi: il ponte di Brooklyn sull'East River a New York. Roebling non doveva però mai vederlo: morì infatti nel 1869 per le conseguenza di un incidente durante un sopralluogo in sito. A completare il ponte sarà suo figlio Washington Augustus, validissimo ingegnere (Wagner, 2017) che aveva già con lui collaborato nelle opere precedenti;la bellissima biografia scritta da Sayenga (2009) dice del complesso rapporto fra i due. Ma la maledizione dei Roebling non finì: durante la realizzazione delle fondazioni, eseguite con la tecnica dei cassoni pneumatici, Washington soffrì di embolia da decompressione, rimase in cattive condizioni di salute e a tenere i rapporti con i suoi assistenti, con fornitori e con le autorità cittadine fu sua moglie Emily Warren Roebling, figura cui la storica

Marilyn E. Weigold ha dedicato un libro (Weigold, 2019). Il ponte di Brooklyn fu un record per molti aspetti: la luce di 486 m, i fili dei cavi per la prima volta in acciaio e non in ferro, per la prima volta zincati a caldo e per la prima volta prodotti negli Stati Uniti, mentre nei precedenti grandi ponti di Roebling la produzione era stata a Manchester, allora il centro della migliore qualità mondiale (McCullogh, 2012).

Con il ponte di Brooklyn la tecnologia fece un enorme balzo in avanti e furono poste le basi per lo sviluppo dei grandi ponti americani (Petroski, 1996), con opere e figure tra le quali qui vanno ricordati Othmar Hermann Amman, con i due record dei ponti Washington e Verrazano Narrows, Joseph Baermann Strauss e Charles Alton Ellis, con il Golden Gate, David Barnard Steinman con il Mackinac, Leon Solomon Moisseiff con lo sfortunato Tacoma. In questo periodo la tecnologia della realizzazione dei cavi migliora in molti dettagli ma resta soltanto l'*aerial spinning*.

Un ultimo significativo contributo della industria americana al settore ci fu nel 1968, in Pennsylvania: Jackson Leland Durkee della Bethlehem Steel riuscì, primo al mondo, a bobinare funi prefabbricate da 36 fili paralleli della intera lunghezza del cavo. Nacque la tecnologia delle *prefabricated parallel wire strands*-PPWS, con la quale vennero realizzati due ponti negli Stati Uniti, il Newport del 1969 e il Chesapeake Bay del 1973 (Birdsall, 1971). Ma lo *spanning of America* è ormai completo e di nuovo una tecnologia si sviluppa altrove, in questo caso in Giappone.

I ponti sospesi in tutto il mondo

I ponti sospesi costruiti in tutti il mondo nella seconda metà del Novecento vedono tutti la tecnica dell'*aerial spinning*, con il record del ponte sull'Humber, del 1981, in Inghilterra, 1410 m di luce. Per il grande progetto di collegamento delle isole di Honshu e Shikoku in Giappone la Honshu Shikoku Bridge Authority acquistò dalla Bethlehem il brevetto delle PPWS e con questa tecnica, perfezionata sino a portare il numero di fili di una fune prefabbricata a 127, vennero costruite diverse opere, fra di esse il nuovo record del ponte sull'Akashi del 1998, con 1991 m di luce. Le PPWS consentono tempi brevi e si dimostrano molto efficaci; è la fine dell'*aerial spinning*? No: nel 1988 furono realizzati due ponti, il Fatih Sultan Mehemet, o secondo ponte sul Bosforo, e lo Shimotsui Seto in Giappone, con un miglioramento della tecnica e della velocità di tessitura, il cosiddetto *modified aerial spinning*. Le due tecnologie sono oggi entrambe valide e adottate nel mondo: il ponte di Braila in Romania, completato nel 2023, vede lo *spinning*, l'attuale record del mondo, il ponte 1915 sui Dardanelli completato nel 2022, luce 2023 m, vede le PPWS.

Conclusioni

Dopo aver esposto un quadro di due secoli di sviluppo di tecnologie e materiali per la realizzazione dei cavi dei ponti sospesi si conclude con un loro aspetto fondamentale: l'evoluzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali, dal ferro forgiato dei

Tab. 1 - Tensione di rottura dei materiali per catene e funi da inizio Ottocento a oggi.

Opera	Periodo	Ø [mm]	σ_r [MPa]
Catene	’800	-	200-300
Fili ferro	’800	3-7	400-800
Brooklyn	1883	4.57	1100
Bear Mountain	1924	n.a.	1500
Golden Gate	1937	4.98	1550
Storebaelt	1998	5.38	1550

Opera	Periodo	Ø [mm]	σ_r [MPa]
Akashi	1998	5.23	1760
Yi-Sun-Sin	2012	5.35	1860
Nansha	2019	5.30	1960
“1915”	2022	5.75	1960
Braila	2023	5.38	1860
Zhangjinggao	2028	5.65	2200

ponti a catene al filo di ferro della prima metà dell’Ottocento per finire con gli acciai ad alta resistenza oggi utilizzati, in Tabella 1. Volendo gettare uno sguardo al futuro, si può affermare che su questi ultimi si basa il progresso atteso nei prossimi anni: è in costruzione in Cina lo Zhangjinggao, sullo Yangtze, di 2300 m di luce e molti sono i progetti, con la prospettiva di raggiungere e superare i 3000 m. Si andrà molto oltre? Saranno nuovi materiali a permettere quel che ora è impossibile? Se oggi dobbiamo dire di no, i nostri allievi vedranno la risposta domani (Clarke, 1979).

Bibliografia

Bender C., 1872. *Historical Sketch of the Successive Improvements in Suspension Bridges to the Present Time.* Transactions ASCE, 1(1), 27-44.

Birdsall B.1971. *Main Cables of Newport Suspension Bridge*. Journal of the Structural Division (ASCE), 97(12), 2825-2835.

Brindle S. 2005. *Brunel, the Man who built the World*. London: Weidenfled & Nicolson.

Brunel I. 2006. *The Life of Isambard Kingdom Brunel, Civil Engineer*. First published in 1870. Stroud: Nonsuch Publishing.

Chaley J. 1834. *Le Pont Suspendu en Fil de Fer sur la Sarine a Fribourg en Suisse*. s.l.: L.J. Schmid, Imprimeur-Editeur.

Clarke A.C. 1979. *The Fountains of Paradise.* London: Gollancz Ltd.

Clifton Suspension Bridge Trust 1870. *The History of Clifton Suspension Bridge.* Eighteenth Edition. Bristol: Bristol Printers Ltd.

Cotte M. 2015. La controverse Seguin-Navier - Á propos de l’introduction des ponts suspendus en France. Cahiers François Viète, II-6/7.

Cuddy M. 1999. Rehabilitation of the Wheeling Suspension Bridge. In: *Proceedings of International Conference on Historic Bridges*, Wheeling, October, 33-45.

Drewry C.S. 1832. *Memoir on Suspension Bridges*. London: Longman, Rees, Orme, Brown, Green & Longman.

Dufour G.H. 1824. *Description du Pont Suspendu en Fil de Fer Construit a Genève.* Paris: J.J. Paschoud, Imprimeur-Librairie.

Ellet C. 1843. *A Popular Notice of Suspension Bridges with a Brief Description of the Wire Bridge Across the Schuykill, Fairmount*. Philadelphia: John C. Clark & Sons.

Gimsing N.J., Georgakis C.T. 2012. *Cable Supported Bridges, Concept and Design.* Third Edition. Chichester: Wiley.
Glover J. 2017. *Man of Iron, Thomas Telford and the Building of Britain*. London: Bloomsbury.
Haw R. 2020. *Engineering America, the Life and Times of John A. Roebling.*New York: Oxford University Press.
Higgit R. 2016. Revealing lives of women in science & technology: the case of Sarah Guppy. The Guardian, 8.
Hildenbrand W. 1877. *Cable-Making for Suspension Bridges.* New York: D. Van Nostrand.
Jakkula A.A. 1941. A History of Suspension Bridges in Bibliographical Form. Bulletin of the Agricultural and Mechanical College of Texas, Fourth Series, 12 (7).
Kemp E.L. 1993. National Styles in Engineering: The Case of the 19th-century Suspension Bridge. The Journal of the Society for Industrial Archeology, 19 (1), 21-36.
Kemp E.L. 1999. Charles Ellet, Jr. and the Wheeling Suspension Bridge. In: *Proceedings of International Conference on Historic Bridges,* Wheeling, October, 15-31.
Martin M.E. 1834. *Emploi du fer dans les ponts suspendus.* Annales des Ponts et Chaussées, 1re Série, 2e Semestre, CXCV.
McCullough D. 2012. *The Great Bridge, the Epic Story of the building of the Brooklyn Bridge*. New York: Simon & Schusters.
Navier C.L.M.H. 1823. *Rapport À M. Becquey Et Mémoire Sur Les Ponts Suspendus.* Paris: De l'Imprimerie Royale.
Peters T.F. 1987. *Transitions in engineering: Guillaume Henri Dufour and the Early 19th Century Cable Suspension Bridges*. Boston: Corboz, Basel & Birkhäuser.
Petroski H. 1996. *Engineers of Dreams, Great Bridge Builders and the spanning of America*. New York: Vintage Books.
Provis W.A. 1828. *An Historical and Descriptive Account of the Suspension Bridge constructed over the Menai Strait*. London: Ibotson and Palmer.
Re L. 1993. *Sospesi a dei fili. I ponti pensili dell'800 valsesiano.* Universale di Architettura. Torino: Lindau.
Rolt L.T.C. 1958. *Thomas Telford.* London: Longmans.
Sayenga D., Editor, 2009. *Washington Roebling's Father, a Memoir of John A. Roebling.* Reston: ASCE Press.
Seguin M. 1824. *Des ponts en fil de fer.* Paris: Bachelier, Libraire.
Smiles S. 1867. *The Life of Thomas Telford, Civil Engineer.* London: John Murray.
Vicat L.J. 1834. *Nouvelle manière de confectionner les càbles en fil de fer*. Annales des Ponts et Chaussées, 1re Série, 1er Semestre, CLXXI.
Wagner E. 2017. *Chief Engineer, Washington Roebling, the Man who built the Brooklyn Bridge*. New York: Bloomsbury.
Weigold M.E. 2019. *Silent Builder, Emily Warren Roebling and the Brooklyn Bridge.* Independently published in the US, © Weigold.

MEMORIES

RICORDI

Luciano De Menna

Per una storia dell'Elettrotecnica a Napoli: il prof. Scipione Bobbio

For a history of Electrotechnics in Naples: professor Scipione Bobbio

Sommario
La Storia, anche quella dell'Ingegneria, andrebbe sempre raccontata insieme alle 'storie' degli uomini che l'hanno vissuta. È quello che si è cercato di fare in queste pagine, scritte in ricordo di un amico e collega di tutta una vita: il prof. Scipione Bobbio. L'autore, che ha avuto una lunga consuetudine di lavoro e di amicizia con lui in tempi diversi, ha voluto ricostruire la sua azione nel contesto di una storia dell'Elettrotecnica a Napoli integrando i suoi personali ricordi con quelli di altre figure della cultura e della politica napoletana dell'epoca. E ciò allo scopo di mettere in evidenza la congruenza del suo pensiero e della sua azione con quello di altri illustri predecessori.

Abstract
History, and therefore also that of Engineering, should always be told together with the 'stories' of the people who lived it. This is what we have tried to do in these pages, written in memory of a lifelong friend and colleague: Prof. Scipione Bobbio. The author, who has had at different time a long habit of work and friendship with him, wanted to recount - integrating his personal memories with those of other figures of Neapolitan culture and politics of the time - his action in the context of a history of Electrical Engineering in Naples. This with the aim of highlighting the congruence of his thought, and of his action, with that of other illustrious predecessors.

Sui banchi di scuola

Compagni di banco fin dal ginnasio e per tutto il liceo - il Giovan Battista Vico, sezione A - sedevamo in fondo all'aula in quanto tra i più alti della classe. In effetti è impreciso parlare di banco, perché non si trattava di un banco, ma di due tavolini affiancati e molto spartani. Già dalle prime lezioni di educazione fisica, Scipione si guadagnò il nome di "Cicognino", per le sue lunghe gambe magre, mentre a me toccò quello di "Draculino", a causa del mio inspiegabile amore per un lungo imper-

meabile di tessuto sintetico, rigorosamente nero: allora si chiamavano "pellecchie" e andavano molto di moda. Solo molto più tardi, e con fatica, mi guadagnai quello di Console: forse perché mi decisi ad abbandonare la suddetta pellecchia, o forse, meglio ancora, perché cominciai ad andare a scuola a cavallo di una bellissima e vecchissima Vespa, naturalmente usata, regalo di mio padre. Era un notevole segno di distinzione, a quell'epoca, possedere un motore.

Scipione era, senza alcuna possibilità di contestazione, il primo della classe, ma intendiamoci, non di quelli con la puzza al naso e tante ore di dura fatica sui libri. Era il primo della classe perché, semplicemente, era più intelligente degli altri.

Legammo subito, e fu un legame che durò tutta la vita.

A volte studiavamo insieme, ma non sempre; avevamo un diverso giro di amicizie e la distanza delle rispettive abitazioni non lo favoriva.

Una delle occasioni in cui ci preparammo insieme, fu offerta dalla partecipazione a un concorso pubblico tra i licei napoletani indetto dalla Società Mazziniana. Fu la professoressa Olga Arcuno, uno dei docenti che ha maggiormente influito sulla nostra formazione, a sollecitare la partecipazione. Salimmo sul podio dei vincitori, ma non al primo posto, che fu invece assegnato a una ragazza, Marisa Mangoni, studentessa del Liceo Umberto, un liceo rivale del Vico. La cosa fu naturalmente oggetto di grandi lazzi da parte dei nostri compagni di classe, ma, a posteriori e, a nostra parziale discolpa, bisogna aggiungere che Marisa Mangoni era destinata a diventare uno degli storici più apprezzati della nostra generazione.

Dopo la licenza liceale, bisognava affrontare il problema della scelta del tipo di studi per la laurea: perché di dover continuare non c'era alcun dubbio e i nostri genitori ne erano altrettanto convinti. Avremmo preferito, entrambi, Fisica, ma l'esigenza di renderci quanto prima economicamente indipendenti ci spinse verso Ingegneria: erano gli anni del boom economico e gli ingegneri andavano a ruba. Naturalmente la scelta cadde sulla più giovane delle diverse "Ingegnerie": quella Elettronica, figlia di quella Elettrica e nipotina, per così dire, di quella Scuola di Elettrotecnica nata poco dopo l'Unità d'Italia.

Fu una galoppata: Scipione sempre in testa di una lunghezza e noi all'inseguimento. Non ho però un ricordo sofferto, il ricordo di una gran fatica, anche se qualche sofferenza ci fu e in quel caso Scipione ebbe per me un ruolo determinante. A metà percorso, al terzo anno, io ebbi un cedimento. All'epoca si parlava di "esaurimento nervoso". Comunque mi trovai a dover fare l'esame di Scienza delle Costruzioni, una bestia nera di quegli anni, in piena estate ed ero in crisi. Scipione dovette accorgersene e mi venne a trovare: parlammo e cercò di convincermi che ero preparato, che non dovevo temere, che le difficoltà erano state esagerate e così via. Ma non si limitò a questo; fece una cosa che non dimenticherò mai: la mattina dopo venne a prendermi per accompagnarmi a fare l'esame. Aveva capito che c'era il rischio che io facessi il "gran rifiuto". Anche questo era Scipione Bobbio.

L'Elettrotecnica

Se proprio dovessimo fissare una data d'inizio per la storia dell'Elettrotecnica a Napoli, dovrebbe essere un anno della seconda metà degli anni Ottanta del secolo diciannovesimo, probabilmente il 1886. E sarebbe lo stesso anno per l'Italia intera e non solo per Napoli. Naturalmente non è che prima non ci siano stati in Italia studi e ricerche nel campo: basterebbe citare due nomi, Galvani e Volta, ma non direi che questi possano segnare la nascita dell'Elettrotecnica.

Nel 1886, invece, quasi come fossero eventi coordinati, in tre città chiave dell'Italia appena unificata, avvennero tre accadimenti di grande significato e portata.

A Torino: Galileo Ferraris istituisce un corso libero di Elettrotecnica nell'ambito di quello che veniva chiamato il Museo Industriale, dove si formavano gli ingegneri Industriali - in una qualche concorrenza con quella Scuola di Applicazioni dove si preparavano gli Ingegneri Civili e gli Architetti.

A Milano: Carlo Erba, già affermato industriale del settore farmaceutico, elargisce una cospicua donazione, 400.000 lire, al Regio Istituto Tecnico Superiore per la creazione della Istituzione Elettrotecnica, che portò poi il suo nome. Il riferimento scientifico è lo stesso fondatore del Regio Istituto, Francesco Brioschi, professore di matematica proveniente da Pavia, ma poi subito dopo Giuseppe Colombo, universalmente noto alle vecchie generazioni che non avevano la possibilità di trovare dati e formule in rete - per il celebre manuale che porta il suo nome.

E infine a Napoli: torna da un viaggio di ricognizione in tutte le maggiori realtà scientifiche e tecniche dell'Europa, Guido Grassi, laureato in Fisica a Pavia e già docente di Fisica Tecnica della Scuola di Applicazioni di Ponti e Strade, che immediatamente istituisce un corso di Elettrotecnica e fonda un Laboratorio con lo stesso nome.

Per comprendere meglio la portata di questi avvenimenti, cerchiamo di localizzarli nel tempo e nello spazio. Siamo nel pieno della seconda rivoluzione industriale, quella essenzialmente dovuta alle applicazioni dell'energia elettrica. Le conoscenze teoriche e i modelli necessari erano abbastanza recenti: le leggi di Kirchhoff erano del 1857: il giovane autore le aveva formulate nella sua tesi di dottorato.

Nel 1861 Maxwell comincia a esporre le sue idee sul campo elettromagnetico nel tentativo di dare un quadro coerente alle tante intuizioni di Michael Faraday, senza però dover accettare la magia dell'azione a distanza: tale sembrava all'epoca, e giustamente, l'azione ponderomotrice tra cariche e tra correnti. In effetti fu proprio questo caparbio, ma onesto intendimento, a fargli giustificare proprio l'azione a distanza e l'assenza di un 'etere'. Ma le teorie di Maxwell, che uscirono in forma completa nel suo trattato del 1873, ebbero una lentissima diffusione, come ricorda Freeman Dyson, nella sua bellissima autobiografia, *Disturbing the Universe*.

Dal punto di vista applicativo, anche se l'anello di Pacinotti è del 1859 e la dinamo/motore di Gramme è del 1869, bisogna aspettare il 1885, appena un anno prima del fatidico 1886, per il motore a campo rotante di Galileo Ferraris, che fu poi brevettato

da Tesla negli Stati Uniti. Motore, naturalmente significa non solo ferrovie, ma anche e soprattutto macchinari che rivoluzionano l'industria manifatturiera. Perciò "rivoluzione industriale" e "seconda" per distinguerla dalla prima che fu quella prodotta dalla macchina a vapore. Ma elettricità significa anche illuminazione, e non quella maleodorante, inquinante e pericolosa del così detto gas illuminante. Bisogna aspettare, però, il 1879 per la lampadina di Thomas Alva Edison, anche se l'invenzione non è del tutto sua, ma basata su invenzioni precedenti, di William Sawyer e Joseph Swan; il suo brevetto fu infatti invalidato nel 1883. Bisogna riconoscere, d'altra parte, che Edison realizzò un prodotto concreto che poteva andare sul mercato e «illuminare il mondo», come è scritto nelle pagine della rivista americana Link in un'edizione speciale di qualche anno fa, in cui Edison è inserito al primo posto tra le «100 persone più importanti negli ultimi 1000 anni». Forse un po' esagerato, ma non assurdo: bisogna ricordare che Edison inventò il fonografo, fondò la *Motion Picture Patents Company* e la macchina da ripresa cinematografica fu inventata nei suoi laboratori.

Questo brevissimo inquadramento storico ci serve fondamentalmente a giustificare la seguente affermazione: in quegli anni, e almeno in questo campo, l'Italia era all'avanguardia, alla frontiera della conoscenza e uno dei punti di quella frontiera era Napoli, con Guido Grassi.

Nel 1897, alla morte di Galileo Ferraris, Guido Grassi fu chiamato a Torino a dirigere l'istituzione fondata da Ferraris, il che dimostra il profondo intreccio che si realizzò tra quelle scuole in quegli anni e mi consente di sottolineare l'importanza degli scambi non solo culturali, ma anche personali e il significato che essi possono avere nello sviluppo della cultura.

Tutto questo, naturalmente, era già Storia per noi che ci apprestavamo a iscriverci all'Università. Ma la Storia non si ferma mai, fortunatamente, e noi ci trovammo in una sua nuova fase, quella della nascita dell'Elettronica. La scelta fu quasi obbligata.

Ci sono due modi di vedere l'Ingegneria: una pura conoscenza pratica che consente di realizzare splendidi manufatti e dispositivi, oppure l'applicazione concreta di una teoria. Io, pur tenendo in altissima considerazione la prima interpretazione, propendo per la seconda. Grassi e molti degli uomini che hanno fatto in Italia quella seconda rivoluzione industriale erano di questa opinione. Giuseppe Colombo al riguardo si esprimeva molto esplicitamente: «Il fatto è, invece, che l'elettrotecnica è forse la materia nella quale la parte scientifica ha il maggiore e quasi l'esclusivo predominio. I più grandi progressi sono dovuti alla teoria pura; senza gli studi di Hertz non avremmo la telegrafia senza fili di Marconi, come senza gli studi di Galileo Ferraris, non avremmo i motori a campo rotante; le più riputate fabbriche di materiale elettrico sono quelle, e son poche, dirette o ispirate da distinti teoristi». L'autore, in questa osservazione, anticipa una verità generale che andò sempre più affermandosi in quella che abbiamo chiamato 'seconda rivoluzione industriale', e cioè che le scoperte scientifiche sono esse stesse già delle applicazioni. In pratica, il naturale tempo

di ritardo tra la scoperta scientifica e la sua applicazione diventa sempre più breve e anche il più teorico dei ricercatori non può escludere di star lavorando in effetti a una ricerca applicata.

A Napoli, quando Grassi si trasferì a Torino, venne Luigi Lombardi, piemontese e già professore di Fisica tecnica a Torino: ancora uno scambio tra le due scuole. Con Lombardi la strada intrapresa da Grassi fu continuata, anche se con una sempre maggior attenzione alle applicazioni: bisognava costruire la base industriale della nuova Nazione. E poi ci furono due guerre, e ogni volta una ricostruzione, con obblighi pressanti e urgenti di tipo concreto che in qualche modo allontanarono dall'impostazione originaria.

La Scuola napoletana di Elettrotecnica

All'epoca in cui noi affrontavamo gli studi universitari, l'Ingegneria Elettrica era in una delle sue tante fasi di trasformazione. Le applicazioni che avevano consentito la seconda rivoluzione industriale, rientravano tutte, o quasi tutte, nel modello di Kirchhoff, nel senso che erano trattabili con un modello scientifico in cui gli attori principali erano tensioni e correnti: un modello circuitale, insomma. Al modello di Maxwell, quello del campo elettromagnetico, si faceva poco riferimento. Rimanemmo un po' delusi, specialmente dal corso di Elettrotecnica che allora era tenuto da Guido Maione. In effetti tutto il passaggio dal biennio al triennio successivo fu un po' traumatico: dalle vette delle più interessanti, almeno per noi, teorie matematiche, fisiche e chimiche, alla concretezza dei dispositivi reali. Non molti anni fa, però, avemmo modo di leggere queste belle e sincere parole dello stesso Maione, tratte dall'introduzione di un suo testo: «Non a caso ho voluto ricordare [nei suoi testi, n.r.] alcune scoperte fondamentali avvenute tra la fine del secolo scorso e i primi anni di questo: e ho rilevato che in tutti si parla di alcuni fenomeni, senza che in nessun corso se ne parli in maniera ordinata, sia pure a carattere informativo. Ritengo che il Corso di Elettrotecnica debba essere modificato in maniera meglio aderente a quelli che sono i principi fondamentali dell'attuale Fisica Teorica. E questo intendimento mi sono proposto da circa dieci anni, però aggravato dalla difficoltà di non creare difformità troppo evidenti dalle classiche trattazioni. Ho il solo rammarico che le scarse disponibilità di tempo congiunte all'ampiezza e difficoltà del problema mi hanno impedito di dare forma completa alla esposizione delle teorie secondo un indirizzo completamente nuovo e meglio aderente alla realtà dei fenomeni come appaiono oggi».

Dopo la laurea, fummo assunti entrambi alla IBM e spediti a fare un corso a Rivoltella del Garda. Sembrava avessimo realizzato tutto quello che potevamo desiderare: la IBM, la International Business Machine, all'epoca era il luogo più moderno in cui un giovane ingegnere potesse augurarsi di lavorare.

Ma gli ingegneri di cui la IBM aveva bisogno, non erano quelli che noi immaginavamo: quelli erano nei laboratori degli Stati Uniti, non da noi in Italia. Da noi

servivano venditori o al massimo installatori delle macchine tabulatrici a schede perforate. Le prospettive di guadagno erano notevoli, ma era un mestiere che a nessuno dei due interessava. Scipione fu il primo a rendersene conto e, anche per motivazioni personali e familiari, esplorò la possibilità di una soluzione diversa di lavoro a Napoli. Ebbe un colloquio con il prof. Oreste Greco, che allora era professore incaricato di Elettrotecnica all'Università di Napoli, il quale ben si ricordava di lui per averlo avuto come allievo. In breve, gli proposero di concorrere per un posto di assistente ordinario di Elettrotecnica.

In effetti in quegli anni ci fu un altro di quegli scambi, che, come ho già sottolineato, sono spesso forieri di grandi cambiamenti: a Napoli fu chiamato, come titolare della cattedra di Elettrotecnica, Ferdinando Gasparini, padovano, allievo di una scuola, quella di Giovanni Someda, che all'epoca era una delle più prestigiose in Italia. Nell'Istituto di Elettrotecnica, Gasparini trovò, come assistente e professore incaricato, come si è detto, Oreste Greco, al quale dette l'incarico di esplorare il territorio alla ricerca di giovani promettenti da reclutare. E questo spiega il colloquio con Scipione Bobbio e anche il mio successivo coinvolgimento.

Gasparini portò da Padova, tra le tante cose, un libro intitolato *Elementi di Elettrotecnica Generale*, (Someda, 1964) che in realtà era la trascrizione delle lezioni del prof. Someda a opera di due suoi allievi e collaboratori: Ferdinando Gasparini, appunto, e Giuseppe Zingales. A posteriori, avendo poi ben conosciuto Ferdinando Gasparini, direi che di lui, del suo modo di esporre e di concepire la materia, c'era moltissimo in quel libro.

Dal punto di vista generale, si trattava di un ragionevole compromesso tra le due scuole di pensiero cui abbiamo fatto cenno in precedenza: una Elettrotecnica fondata su tensioni e correnti, quindi leggi di Kirchhoff, e una fondata sul campo elettromagnetico, quindi leggi di Maxwell. Questo compromesso era già stato fatto, alcuni anni prima in un famoso testo di un autore tedesco, Karl *Küpfmüller's*, dal titolo, nella traduzione italiana dello stesso Gasparini, Fondamenti di Elettrotecnica edito da UTET nel 1973. In effetti, e solo per i non addetti ai lavori, le leggi di Kirchhoff sono rigorosamente esatte solo in regime continuo, cioè quando correnti e tensioni non variano nel tempo, mentre il modello di Maxwell è valido sempre, almeno nell'ambito della fisica classica.

Si apriva per noi un campo di ricerca di estremo interesse, anche perché, con il libro, Gasparini portò una rete di relazioni e di contatti con il mondo della ricerca sulla Fusione Termonucleare Controllata a confinamento magnetico di cui noi potemmo usufruire con grande vantaggio: l'ENEA di Frascati, l'Istituto Gas Ionizzati di Padova, l'esperimento JET di Culham, e il gruppo ALCATOR del MIT.

Per comprendere la relazione tra Elettrotecnica basata sui campi e Fusione Termonucleare Controllata, bisogna ricordare che l'idea alla base della FTC è quella di riprodurre in laboratorio le reazioni di fusione che avvengono nelle stelle, nelle qua-

li, per esempio, un atomo di deuterio e uno di trizio - questi due isotopi dell'idrogeno sono sempre citati come primo esempio in quanto per essi dovrebbe essere più facile ottenere la fusione - si fondono, appunto, producendo elio e un neutrone veloce da 14,1 MeV: questa è l'energia che vorremmo riuscire a catturare. Il fatto è che per indurre un atomo di deuterio a fondersi con uno di trizio, occorre che essi giungano a interagire a distanza molto ravvicinata, vincendo le forze di natura elettrica che naturalmente si opporrebbero. La soluzione è quella di dotare queste particelle di una tale velocità da trasformarle in veri e propri proiettili che superano le barriere repulsive. Ciò significa che bisogna portare il gas di deuterio e trizio ad altissime temperature, alle quali il miscuglio deuterio-trizio non è più un gas nel senso tradizionale del termine, perché tutte le sue particelle hanno perso almeno gli elettroni periferici, e quindi sono cariche elettricamente. Un tale gas viene denominato plasma, il quarto stato della materia, ed è, per intenderci, la materia di cui sono fatte le stelle.

Non è difficile immaginare che un gas di tale tipo non possa essere contenuto da pareti materiali; le stelle fanno uso della loro grande massa e confinano il plasma mediante la forza di attrazione gravitazionale. Noi, sulla Terra, possiamo contare solo sulle forze elettromagnetiche. Come pure non è difficile immaginare che il plasma non abbia molta voglia di farsi confinare: è altamente instabile. Questo è il grande tema della Fusione Termonucleare Controllata a confinamento magnetico: come confinare con pareti immateriali, le forze, un plasma a temperature elevatissime, per il tempo necessario affinché un ragionevole numero al secondo di reazioni di fusione possano avvenire e produrre quei neutroni veloci che portano con sé la loro energia.

La risposta è: con un campo elettromagnetico, naturalmente. D'altra parte, si vede subito che il campo elettrico non è adatto a questo scopo in quanto, per sua natura, tende a separare le cariche, positive da una parte e negative dall'altra, e non è questo quello che vogliamo. Resta solamente il campo di induzione magnetica B: infatti, è facile vedere che una carica elettrica, se fosse l'unica carica presente in una regione dello spazio in cui si trova ad agire un campo d'induzione B, tenderebbe a compiere orbite elicoidali attorno alle linee del campo, con un raggio tanto più piccolo quanto più grande è il valore di B: quindi sarebbe, in qualche modo, confinata. In presenza di più particelle, il problema si complica, ma l'obiettivo resta lo stesso.

D'altra parte, progettare campi adatti a un determinato scopo è un tipico problema di elettrotecnica. E così Bobbio e un consistente numero di ricercatori e collaboratori che si stava via via formando a Napoli stabilirono numerose collaborazioni sia con l'Istituto Gas Ionizzati di Padova che con l'ENEA di Frascati.

In quel periodo le nostre attività di ricerca, mie e di Bobbio, si diversificarono: io andai al Massachusetts Institute of Technology di Boston a lavorare con Bruno Coppi, e lui a Culham in Inghilterra a lavorare con il gruppo del JET: ci trovammo quindi su due fronti opposti. Dico opposti, perché, in effetti, c'era una certa competizione tra i sostenitori delle due linee di sviluppo proposte: quella, minoritaria in verità,

di coloro che avrebbero voluto che si continuasse con esperimenti ad alto campo di induzione B, come quelli che fino ad allora avevano dato i risultati migliori, per esempio l'esperimento del MIT, ALCATOR, da ALto CAmpo TORoidale, e quella, largamente maggioritaria, di coloro che erano favorevoli alla costruzione di un grande esperimento, sulla linea del JET, per intenderci, che fosse in grado di sperimentare non solo la fattibilità del confinamento magnetico, ma anche tutti gli aspetti tecnici di un dispositivo dalle dimensioni paragonabili a quelle del futuri generatori.

Per convincersi che l'alto campo richiede necessariamente dimensioni ridotte, mentre, di converso, le grandi dimensioni impongono un campo più basso, basta pensare che il campo B diminuisce come 1/r all'allontanarsi dalle sorgenti e quindi un alto campo B nel plasma richiede necessariamente un altissimo campo sugli avvolgimenti che lo creano, mettendo a rischio l'integrità della stessa struttura. Due linee, dunque, entrambe ragionevoli, che si contrapponevano però come la classica guerra dei poveri, anche se le cifre coinvolte erano di tutto rispetto: o si andava per una 'via' o per l'altra!

A posteriori, oggi credo che una maggior serenità di giudizio avrebbe consentito di seguirle entrambe. Ma la serenità di giudizio non è facile da raggiungere quando gli interessi sono quelli di interi Stati, magari in aperta competizione tra loro. Forse non saremmo oggi nella situazione attuale in cui di macchine ad alto campo si parla solo in alcuni Consorzi privati in cui volteggiano nomi prestigiosi come Bill Gates e Jeff Bezos, ma di cui comunque si sa poco, e nel progetto europeo, anzi mondiale, ITER, in costruzione in Francia, per il quale si continua a rinviare la data di avvio delle operazioni: si parla del 2030 e non più 2025, come l'ultima previsione prometteva. Si tenga conto che il progetto e la relativa decisione di realizzarlo risalgono formalmente al 2006, quando i partner internazionali accettarono di finanziare un piano decennale stimato in cinque miliardi di euro che avrebbe visto ITER entrare in funzione nel 2016. Il costo stimato complessivo attuale è, come è facile capire, molto superiore.

Non solo ricerca

Naturalmente c'era anche la didattica e a quel tempo era molto pesante, non tanto per le lezioni, ma per gli esami. Un numero enorme di esami, rigorosamente in commissione con Gasparini e Greco: abbiamo imparato più cose durante quelle ore che in quelle di studio personale.

Bobbio era un formidabile docente. Per diversi anni abbiamo tenuto lo stesso corso di Elettrotecnica, negli stessi orari e con gli allievi divisi secondo le iniziali dei cognomi. Le due grandissime aule del secondo piano erano, d'estate, piene e soffocanti. Il condizionamento, naturalmente, non funzionava. Ricordo che Bobbio usciva dall'aula con la camicia letteralmente inzuppata di sudore: quando spiegava si accalorava e camminava, avanti e indietro, lungo la pedana dietro la grande cattedra. Molti anni dopo, quando si trovò a collaborare con Città della Scienza, organizzò

una mostra didattica dall'emblematico titolo "Capire si può!" al quale scherzosamente, in privato, aggiungevamo "Spiegare si dovrebbe!".

Nel 1980 Bobbio vinse il concorso a cattedra, a soli 39 anni, e anche io venni trascinato nella corsa accademica. Mi ero candidato, su consiglio di Gasparini, per "farmi conoscere" - si diceva così in questi casi - ben sapendo, però, che era disponibile un solo posto e che era per Bobbio. Ricordo che ero a cena con una coppia di amici e mi raggiunse la telefonata che mi convocava a casa del professore. Fu una vera sorpresa per me: le cattedre erano diventate due. Deve aver giocato la mia permanenza di due anni al MIT e, soprattutto, il grande prestigio di Gasparini.

Nello stesso anno, il 1980, ci fu il terribile terremoto dell'Irpinia, che interessò anche la città di Napoli. La cittadinanza era spaventata e si interrogava sulla reale solidità di quello che era rimasto in piedi. Il Comune non aveva le forze per rispondere a una così vasta richiesta. I colleghi di Ingegneria Civile della Facoltà organizzarono dei gruppi, guidati da un ingegnere anziano, per verificare *in loco* lo stato delle strutture. Bobbio si aggregò a uno di questi gruppi e in quella occasione ebbe modo di consolidare l'amicizia con un collega, il prof. Salvatore D'Agostino; un'amicizia che si può dire duri tuttora.

I movimenti studenteschi degli anni '70 non avevano coinvolto Scipione Bobbio in modo significativo, ma questa attività, come pure il semestre di insegnamento presso l'Università di Mogadiscio in Somalia, che ebbe anche concrete conseguenze personali, modificarono il suo atteggiamento nei confronti della politica e degli aspetti sociali.

Nel 1981 un altro evento importante si verificò nella Università di Napoli: fu eletto Rettore Carlo Ciliberto, un matematico. L'Università di Napoli da diversi anni aveva avuto rettori di provenienza dall'area medica ed era l'unica università italiana ad avere due Policlinici. Chiunque abbia la pur minima conoscenza delle dinamiche accademiche, almeno in Italia, ben saprà che questa condizione è fortemente limitativa per uno sviluppo armonico e generalizzato dell'intero Ateneo. Peraltro, l'elezione di Carlo Ciliberto coincideva con la sperimentazione di una nuova struttura di gestione, introdotta dalla riforma universitaria del 1980: il Dipartimento.

Bobbio accettò di candidarsi al Consiglio di Amministrazione dell'Ateneo e fu eletto. Il decentramento amministrativo, che la riforma del 1980 comportava insieme ad altre notevoli innovazioni, era essenziale per tutte quelle facoltà che avevano l'esigenza di una ricerca sperimentale. Prima del 1980 ogni acquisto, doveva necessariamente passare per gli Uffici Centrali dell'Ateneo, con conseguenti difficoltà e ritardi inaccettabili. Bobbio, con un gruppetto di colleghi e amici del Consiglio di Amministrazione e dello staff del Rettore, riuscì a indirizzare i passi dell'attuazione della Riforma nella giusta direzione.

Anche a livello nazionale Bobbio ebbe una influenza significativa, sul piano organizzativo, con la creazione del Gruppo Nazionale di Elettrotecnica del CNR. Ricordo che in principio io ero perplesso, perché i gruppi del CNR erano stati concepiti

come organi di coordinamento della ricerca, mentre invece questo gruppo nasceva fondamentalmente in ambito didattico. Bobbio riuscì a convincere tutti dell'utilità di un tale organismo e il Gruppo nacque ed è ancora funzionante.

Ruolo della ricerca nell'università

Bobbio sosteneva con forza l'unitarietà della scienza e l'assoluta necessità di non vincolarla in nessun modo a interessi e discorsi di altra natura, anche accademica. All'accademia egli affidava il compito di promozione della ricerca condotta in prima linea, e, ove necessario, con la partecipazione a grandi progetti internazionali, ma anche il compito di quella che lui definiva la «manutenzione del sapere», cioè l'impegno costante a individuare, rimuovere e tenere libera la conoscenza dalle falsità e dagli errori sedimentatisi nel tempo. Un punto di vista molto simile a quello sostenuto in varie occasioni da Umberto Eco.

Naturalmente il termine manutenzione, come ben sa ogni addetto ai lavori, è solo ironicamente minimale in questo contesto. In realtà accade spesso che quando un pezzo della costruzione del modello scientifico dei fenomeni che si intende studiare, viene lasciato indietro semilavorato, non finito, non è solo per la fretta di andare avanti o perché esso non sembra essenziale: molto spesso è per cattiva coscienza. Là dove i pezzi della costruzione non si incastrano perfettamente, è segno che qualcosa di più grande è in ballo e che forse è necessario rivedere almeno una parte dei presupposti dell'intero modello, il che non è compito da tutti. Bobbio aveva individuato almeno due di queste situazioni nell'elettrodinamica dei mezzi materiali, situazioni che sono, poi, collegate tra loro: l'isteresi magnetica e le forze all'interno dei mezzi materiali. Sul primo problema ha lavorato a lungo, dando contributi notevoli; accanto a quello di Preisach c'è un altro modello dell'isteresi statica che porta il suo nome.

Bobbio pensava già da tempo di raccogliere le sue idee sul campo elettromagnetico in un testo e l'occasione per farlo venne da un incontro con Emilio Gatti, professore emerito del Politecnico di Milano. Nonostante la differenza di età, divennero rapidamente amici e concordarono di scrivere un testo a due mani. Il libro, che uscì nel 1991, con il titolo *Elettromagnetismo e Ottica*, ebbe subito successo e fu adottato da diverse Università in Italia. Aveva un solo difetto: era concepito per l'università di un tempo e non per quella che ci veniva incontro con la riforma del 3 +2. A chi conosce lo stile di Bobbio non sfugge, guardando l'opera nella sua interezza, che se l'impostazione, di tipo classico, è certamente opera di Gatti, il modo in cui gli argomenti vengono trattati, il rigore matematico e la profondità di analisi risentono della sua mano, come pure alcuni dei disegni più efficaci: Bobbio era un ottimo disegnatore e un appassionato di pittura.

Ma Bobbio aveva in animo di fare qualcosa di più, come è anticipato da queste sue parole tratte dall'introduzione al volume "Electrodynamics of materials: Forces, Stresses, and Energies in Solids and Fluids": **«**Il modo in cui l'elettromagnetismo è

abitualmente insegnato nei primi anni universitari presenta un aspetto del tutto particolare. Generalmente il punto di partenza è l'interazione tra i corpi materiali, nota da tempi immemorabili [...]. Successivamente vengono introdotti il campo E ed il campo B attraverso la forza di Lorentz […]. Quindi si enunciano le leggi generali che governano il campo elettromagnetico prodotte da assegnate distribuzioni di cariche e di correnti nello spazio libero […]. In realtà, uno si aspetterebbe che la costruzione dell'intera teoria trovasse il suo completamento nella determinazione delle forze esercitate dai campi elettrici e magnetici sui materiali…» (Bobbio, 1999). Il fatto è che quel complesso di leggi così magnificamente sintetizzate nel sistema di equazioni che vanno sotto il nome di Equazioni di Maxwell, mantiene la sua splendida coerenza e la sua semplicità soltanto nel vuoto. Nei mezzi materiali il modello procede con maggior fatica, deve fare compromessi e, a volte, sembra che neanche questi bastino. Combinando la teoria classica dell'Elettromagnetismo con la Meccanica del continuo e la Termodinamica, Bobbio affrontò il problema delle forze e dell'energia nei mezzi polarizzati. Tra gli altri meriti del libro, ricordo che in esso viene chiarita una dibattuta controversia sulle formule di Helmholtz e di Kelvin per le densità di forza nei dielettrici e nei materiali magnetici: tali formule diventano identiche se viene dato il corretto significato a un termine di pressione, presente in entrambe. Nella presentazione di questo testo, Isaak Mayergoyz, professore all'Università del Maryland e editor della serie di Elettromagnetismo dell'Academic Press, ha scritto: «*The book reflects the broad erudition, unique expertise, and strong interest of the author in the fundamental aspects of electromagnetism*».

Nel 1993, devo dire con mia sorpresa, Bobbio accettò di far parte della Giunta del Sindaco di Napoli, Antonio Bassolino: eravamo nel pieno della così detta Primavera napoletana, che io ritengo ancora oggi uno dei periodi migliori dell'amministrazione di questa città. Gli fu assegnato l'Assessorato alle risorse umane, un assessorato strano per uno come lui che di gestione del personale non aveva alcuna esperienza. Inoltre, il compito era molto difficile, quasi una trappola: bisognava consentire la ristrutturazione e il rinnovamento della macchina comunale e nello stesso tempo avviare un ridimensionamento del personale, richiesto dalla situazione di dissesto in cui il Comune si trovava. Forse nessun politico avrebbe accettato questo compito che prometteva solo impopolarità o insuccesso e invece questo professore prestato alla politica, come amava definirsi e come ha dimostrato di essere, riuscì nel suo compito senza licenziare nessuno, utilizzando gli ordinari strumenti della riqualificazione e del *turnover* naturale, guadagnandosi anche la stima dei sindacati. Nel 1994 l'assessorato fu ampliato e diventò Assessorato al personale e alla informatizzazione, titolo molto più consono alle competenze di Scipione. In questa nuova funzione Bobbio ha avviato l'informatizzazione della macchina comunale, in una condizione drammatica di carenza di risorse.

In questi anni si consolidò l'amicizia con Antonio Bassolino che ha sempre pubblicamente riconosciuto il ruolo trainante avuto da Bobbio nella succitata Primavera

Napoletana. In riconoscimento di questi meriti il Comune gli ha dedicato una targa un'aula al terzo piano della casa comunale in Palazzo San Giacomo e una via, che porta il suo nome, nel Quartiere Fuorigrotta.

Alla fine di questa esperienza Bobbio ritornò all'Università e ai suoi studi con gran piacere e con un entusiasmo che non credevo fosse ancora possibile. Se si pensa che alcuni dei suoi contributi migliori sul piano scientifico sono proprio di quel periodo, si capisce che in realtà non aveva mai abbandonato la ricerca; sul suo tavolo nell'ufficio a Palazzo San Giacomo, accanto ai documenti dell'assessorato c'erano i libri e i lavori scientifici sui quali stava maturando le sue idee. Aveva solo un rammarico, abbandonando quel periodo della sua vita: temeva che quell'opera di rinnovamento, tanto importante per Napoli, non sarebbe durata e che, finita la spinta iniziale, la politica, nel senso deteriore del termine, avrebbe ripreso il sopravvento.

Sono più di venti anni che il prof. Bobbio ci ha lasciati. È stata una gravissima perdita per tutti e non solo sul piano scientifico. La Scuola Napoletana di Elettrotecnica, che lui ha contribuito tanto a creare, vive ormai autonomamente e si è estesa a molte altre Università. Ma gli anni che ci dividono da quella data ci hanno mostrato che sempre più spesso si realizza ai tempi nostri un interscambio tra Università e Politica, e non sempre con esiti positivi. Bene, lasciatemi dire che io penso che Bobbio fosse destinato a quello e avrebbe operato bene, come bene ha fatto in tutti i ruoli che ha assunto.

Ringraziamenti

Questo breve ricordo di Scipione Bobbio non avrebbe potuto mai nascere senza l'aiuto di due carissimi colleghi e amici, nonché allievi della Scuola Napoletana di Elettrotecnica: Raffaele Martone e Giovanni Miano. Con grande affetto mi hanno aiutato a ricordare e a mettere insieme tutto il materiale. Ma ancor di più, questa nota deve la sua esistenza alla caparbia volontà del prof. Salvatore D'Agostino, che ha fortemente voluto che nelle pagine degli atti del XX Congresso dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria, sua prestigiosa creatura, trovasse spazio un ricordo di Scipione Bobbio.

Bibliografia di riferimento

Bobbio S., Gatti E. 1991. *Elettromagnetismo e Ottica*. Torino: Bollati Boringhieri.

Bobbio S. 1999. Elettrodynamics of materials: Forces, Stresses, and Energy in Solids and Fluids. Cambridge: Academic Press 1999.

Bobbio S. Marrucci G. 1994. A possible alternative to Preisach' model of static hysteresis. Il Nuovo Cimento, 15, 723-733.

Dyson Freeman. 1981. *Disturbing the Universe*. New York: Basic Books.

Küpfmüller's Karl. 1973. *Fondamenti di Elettrotecnica* (traduzione di F. Gasparini). Torino: UTET.

Someda G. 1964. *Elementi di Elettrotecnica Generale*. Bologna: Riccardo Patron.

Emilio Esposito

Mario Raffa: Uno dei padri fondatori dell'Ingegneria Gestionale a Napoli e in Italia

Mario Raffa: One of the founding fathers of Management Engineering in Naples and Italy

Sommario

L'obiettivo di questa nota è descrivere in poche pagine il contributo e il ruolo che ha avuto Mario Raffa non solo in ambito accademico ma anche rispetto alla società civile. Sintetizzare le attività di una figura così eclettica è compito estremamente complesso, in quanto si tratta di descrivere l'attività di un innovatore che parte da idee progettuali e crea le condizioni per concretizzarle. Nella consapevolezza di non essere esaustivi, questo contributo evidenzia solo alcuni aspetti che, sperabilmente, meglio mettono in luce la cifra della persona. In particolare, si rimarcano i principali ruoli istituzionali che ha ricoperto Mario Raffa, in ambito sia accademico sia sociale. Si sottolinea la partecipazione alle diverse associazioni scientifiche, da cui si evince l'ampiezza degli interessi scientifici e il contributo alla crescita di diverse aree culturali a livello nazionale e internazionale. Si descrive il percorso di costruzione del progetto di *management engineering*, che mostra la capacità di governare un progetto pluriennale e complesso, superando barriere, ostacoli e resistenze al cambiamento. Si argomenta l'eredita lasciata da Mario Raffa, da cui si evince che il Nostro ha avuto la grande capacità di creare un gruppo e una scuola di ingegneria gestionale. Infine, si sottolinea l'impegno sociale e politico che mette in luce lo spirito che ha guidato l'attività di Mario Raffa non solo per il mondo accademico ma anche per la società civile, da cui si evince anche la lezione che lascia a tutti noi: l'attenzione ai giovani, il senso delle istituzioni, l'impegno sociale e il senso della responsabilità.

Abstract

The aim of this note is to describe in a few pages the contribution and role that Mario Raffa had not only in the academic field but also in relation to civil society. Synthesizing the activity of such an eclectic person is an extremely complex task as it describes the activity of an innovator who starts from project ideas and creates the conditions to materialize them. Aware of not being exhaustive, this note underlines only some aspects which hopefully better highlight the character of the person. It is highlighted

the main institutional roles that Mario Raffa has held, both in the academic and social fields. *Participation in various scientific associations* is highlighted, which brings to fore the breadth of scientific interests and the contribution to the growth of various cultural areas at a national and international level. *The construction path of the "management engineering" project* is described, which shows the ability to govern a multi-year and complex project, overcoming barriers, obstacles, and resistance to change. *The legacy left* by Mario Raffa is discussed, from which it is clear that he had the great ability to create a group and a school of management engineering. Finally, the social and political commitment is underlined which highlights the spirit that guided Mario Raffa's activity not only for the academic world but also for civil society, from which the lesson he leaves for all of us can also be seen, attention to young people, sense of institutions, social commitment, and sense of responsibility.

Introduzione

Descrivere ciò che è stato Mario Raffa e ciò che ha rappresentato sia in campo accademico sia per la società civile è un compito al contempo impegnativo e complesso.

Compito impegnativo, perché Mario Raffa è stato un innovatore. Un antesignano che agli inizi degli anni Settanta percepì che i cambiamenti in atto nella società e nel mondo industriale rappresentavano il viatico per una nuova area dell'ingegneria, dove aspetti della gestione dei processi produttivi e dei rapporti con i mercati acquisivano un ruolo rilevante. Quindi una nuova ingegneria non in contrasto, ma complementare alle "ingegnerie tradizionali". Si trattava di un'idea piuttosto ambiziosa, poiché il problema non era quello di portare nella scuola di ingegneria insegnamenti e metodi gestionali per creare una sorte di *engineering management*, ma quello di inventarsi un nuovo progetto culturale che doveva far leva su un nuovo paradigma: utilizzare e applicare i metodi tipici dell'ingegneria al management. In sintesi, si trattava di far nascere una scuola, quella di "Management Engineering". In questa operazione il ruolo di Mario Raffa è stato centrale e fondamentale sia a livello nazionale, sia a livello locale.

Compito complesso, perché si tratta di una figura eclettica che ha avuto diversi ruoli istituzionali, non solo in ambito accademico, a livello sia nazionale sia internazionale, ma anche in ambito sociale e politico: Raffa fece parte del "Comitato Zamberletti", istituito in seguito al terremoto dell'Irpinia del 1980, dedicandosi con energia e senso di responsabilità alla fase di assistenza; dal 2008 al 2011 è stato assessore allo sviluppo della giunta comunale di Napoli, riuscendo ad ottenere, con poche risorse, risultati importanti grazie alle sue capacità e a una forte propensione all'innovazione.

Come tutti gli innovatori, Raffa ha dovuto superare barriere e ostacoli derivanti spesso dall'incomprensione, ma altre volte, in modo più esplicito, dalla resistenza al cambiamento. Con l'impegno e la costanza è riuscito a superare queste incomprensioni e a trasformare questa resistenza in collaborazione.

I principali ruoli accademici

Questa breve sintesi dei principali ruoli accademici ricoperti da Mario Raffa evidenzia la sua poliedricità, ovvero la sua capacità di intercettare contemporaneamente una pluralità di interessi e contribuire al loro sviluppo:

- nel 2016 è stato nominato ECSB Fellows, riconoscimento dell'European Council for Small Business per meriti nel campo della ricerca e dell'insegnamento sull'imprenditorialità;
- Direttore di Start Cup Campania dal 2016;
- nel 2009 è stato nominato White Wilford Fellow, primo italiano dal 1977, anno di istituzione del prestigioso riconoscimento da parte dell'ICSB-International Council for Small Business, per meriti scientifici, culturali e politici sui temi dell'imprenditorialità e della nascita e dello sviluppo di nuove imprese;
- delegato italiano per il comitato "Research for the benefit of SMEs" del 7° Programma Quadro nel biennio 2007-2008;
- Direttore del Premio Start Cup Federico II dal 2003 al 2008;
- Presidente di Campania Start-Up dal 2003 al 2008;
- Presidente dell'Associazione italiana di Ingegneria Gestionale (AiIG) dal 2003 al 2005;
- Direttore del Dipartimento di Ingegneria Economico-Gestionale (DIEG) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II dal 2000 al 2005;
- membro della Commissione "Ricerca e Innovazione" del Governo Prodi dal 1996 al 1998;
- Presidente del Consiglio di Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II dal 1995 al 2002;
- responsabile scientifico di ODISSEO, Osservatorio sull'innovazione tecnologica e l'organizzazione dell'Università degli Studi di Napoli Federico II dal 1990 al 2008;
- coordinatore del Dottorato di Ricerca in Ingegneria Economico-Gestionale attivato presso l'Università di Napoli Federico II (16°-18° ciclo);
- vice Presidente di Fondazione IDIS-Città della Scienza di Napoli;
- vice Presidente europeo dell'International Council for Small Business-ICSB;
- componente del Board editoriale delle riviste "Journal of Purchasing & Supply Management" e "Journal of Small Business Management";
- Direttore della Collana "Ingegneria Economico-Gestionale", edita dalle Edizioni Scientifiche Italiane;
- vice Direttore della rivista "Small Business/Piccola Impresa".

La partecipazione ad associazioni scientifiche

Mario Raffa ha collaborato attivamente e con diversi ruoli a numerose associazioni: AICA, ANIPLA, AICQ, AiIG, ECSB, ICSB, OMA, IPSERA, IFKAD. In particola-

re, è stato responsabile organizzativo o chairman delle seguenti conferenze nazionali/internazionali:
- maggio 1987: Giornata di Studio su "L'ingegneria gestionale", Napoli;
- ottobre 1989: Convegno Nazionale "L'innovazione tecnologica nell'industria e nei servizi", Napoli;
- novembre 1994: Convegno Nazionale AiIG-Associazione italiana di Ingegneria Gestionale "Leve strategiche nei mercati integrati", Napoli;
- settembre 1995: XIX Convegno annuale della rivista L'Industria "Cambiamenti istituzionali e sviluppo: c'è ancora posto per il Mezzogiorno?", Ravello;
- settembre 1996: IV Edizione della Scuola Estiva AiIG in Ingegneria Gestionale "I Sistemi di Imprese", Bressanone;
- marzo 1997: 6th International Annual IPSERA Conference "Supply Management, Innovation and Economic Development", Ischia;
- dicembre 1998: Convegno "Subfornitura e sistemi d'impresa", Caserta, Scuola Superiore della Pubblica Amministrazione;
- giugno 1999: 44th ICSB-International Council for Small Business World Conference "Innovation and Economic Development: The Role of Entrepreneurship and SMES", Napoli;
- ottobre 2000: XXIV Convegno annuale di Economia e Politica industriale della rivista *L'industria* "Istituzioni e mercato: il ruolo delle Autorità nell'economia italiana", Napoli;
- luglio 2002: Giornata di studio su "L'Ingegneria Gestionale a Napoli: bilancio e prospettive", Napoli;
- luglio 2004: IntEnt2004-Internazionalizing Entrepreneurship and Training Conference;
- novembre 2005: XIX EIASM RENT-Research on Entrepreneurship and Small Business Conference "Entrepreneurship, Competitiveness and Local Development", Napoli;
- dicembre 2007: 5° edizione del PNI - Premio Nazionale per l'Innovazione, Napoli.

Il progetto dell'Ingegneria economico-gestionale a Napoli

Il lungo percorso di costruzione del progetto di "management engineering" ha vissuto tre fasi:

a) l'incubazione;
b) lo sviluppo;
c) il consolidamento.

In queste tre fasi le intuizioni e la creatività, nonché la costanza e il lavoro quotidiano, sono state fondamentali per costruire quella che oggi chiamiamo scuola di Ingegneria economico-gestionale.

Per evidenziare il ruolo di Mario Raffa in questa piccola, grande rivoluzione, la cosa migliore è descrivere gli aspetti che hanno caratterizzato le suddette tre fasi di costruzione del progetto di Ingegneria Gestionale a Napoli.

La fase di incubazione

Questa fase ha inizio alla metà degli anni Settanta quando Mario Raffa, ingegnere elettrico, subentra ad Alfredo Del Monte, Professore di Economia industriale presso la Facoltà di Economia dell'Università di Napoli, sul corso di Economia e organizzazione aziendale presso la Facoltà di Ingegneria, precedentemente tenuto dal notaio De Cesare, presidente del consiglio notarile di Napoli. Per la prima volta a Napoli, un insegnamento di Economia e organizzazione aziendale viene affidato a un ingegnere. Si tratta di un insegnamento di base, offerto a tutti gli studenti di Ingegneria, non obbligatorio.

In questa fase, Raffa non si limita a erogare il corso così come fatto dai suoi predecessori, ma si pone nell'ottica di costruire un percorso di integrazione della cultura gestionale con la tradizione della scuola di ingegneria, con due principali obiettivi. Il primo obiettivo è avvicinare la cultura gestionale a quella dei corsi di laurea tradizionali; a tale scopo introduce nell'insegnamento di base una parte speciale di interesse per ciascun corso di laurea: l'insegnamento prevede una parte comune a tutti e una, anche se ridotta, dove vengono affrontate le tematiche gestionali delle diverse "ingegnerie tradizionali". Ovviamente questo comporta l'elaborazione di materiale didattico adeguato alla nuova impostazione. Uno dei risultati è lo sviluppo di tesi di laurea gestionali nell'ambito di tutti i corsi di Ingegneria. Il secondo obiettivo, estremamente ambizioso. riguarda il progetto di un osservatorio economico-gestionale sulle imprese dei vari settori industriali: alla metà degli anni '70 nasce Odisseo, costituito come centro di ricerca dell'Università degli Studi di Napoli, in cui è sviluppata la ricerca in Economia industriale e in Organizzazione aziendale relativamente al rapporto tra tecnologia e organizzazione, ai processi di innovazione tecnologica e ai settori innovativi.

Fase di sviluppo

Questa fase ha inizio alla fine degli anni Ottanta: le imprese operano in ambiente sempre più complesso e dinamico, il modello organizzativo tayloristico non più è in grado di dare risposta adeguate alle nuove sfide di un mercato che richiede prodotti e servizi sempre più personalizzati; si affermano forme organizzative adhocratiche che fanno leva su processi decisionali decentrati e conoscenza delle tecnologie e delle esigenze dei mercati, nonché sulla contaminazione di saperi professionali.

In questa fase vengono perseguiti due principali obiettivi: il rafforzamento della cultura gestionale e la costituzione del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale. In relazione al primo obiettivo Mario Raffa crea e sviluppa la collana di libri di "Inge-

gneria Economico-gestionale" edita dalle Edizioni Scientifiche Italiane. In pochi anni vengono pubblicati decine di volumi sulle varie tematiche delle diverse aree culturali che contribuiscono allo sviluppo dell'ingegneria gestionale. Si tratta sia di volumi prettamente didattici e adottati in vari corsi di laurea, sia monografie su specifiche tematiche del campo largo dell'ingegneria gestionale; questi volumi permettono di produrre una parte importante del materiale didattico per gli studenti, facilitandone il percorso formativo, e di consolidare il rapporto con numerosi professionisti e dirigenti di imprese pubbliche e private chiamati a contribuire con le loro competenze allo sviluppo e al consolidamento della cultura gestionale ed imprenditoriale presso l'Università degli Studi di Napoli. Per quanto riguarda il secondo obiettivo, grazie alla sua tenacia e al lavoro da Raffa svolto a livello nazionale e locale, anche l'Ateneo Federico II fa propria la sfida del cambiamento e l'anno accademico 1992-1993 registra la nascita del Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale, che vede la presenza di professionalità ed esperienze provenienti dalle università e dalle imprese che lavorano per rispondere alle esigenze del mondo della produzione e dei servizi.

Nel nuovo Corso di Laurea[1] le materie tradizionali dei corsi di ingegneria sono integrate da una serie di materie di tipo economico, organizzativo e giuridico riguardanti le diverse organizzazioni in generale e l'impresa in particolare. In linea con questa indicazione, il Corso di Laurea è caratterizzato da ben ventiquattro insegnamenti fondamentali, i cui contenuti sono riconducibili alle discipline di base, quali matematica, fisica e chimica, e a quelle applicative che hanno caratterizzato storicamente la cultura dell'ingegnere; su questi ventiquattro insegnamenti, ritenuti indispensabili a garantire quella professionalità flessibile che connota l'ingegnere gestionale, si innestano i quattro orientamenti: "Economico-organizzativo", "Gestione dei servizi", "Gestione dell'energia nei processi produttivi " e "Tecnologico-produttivo".

La fase di consolidamento

Questa fase ha inizio alla fine degli anni Novanta. L'Ingegneria economico-gestionale napoletana non ha ancora un proprio dipartimento e afferisce al Dipartimento di Informatica e Sistemistica - DIS. Ancora una volta Mario Raffa intuisce che è il momento di cambiare: pur riconoscendo al DIS di aver sostenuto e aiutato la crescita del gestionale presso la Facoltà di Ingegneria, ritiene che il settore, che deve sostenere un Corso di Laurea con un crescente e importante numero di immatricolati, abbia necessità di consolidare la propria identità. Partendo dal presupposto che è sempre più ampia l'esigenza di focalizzare l'attenzione sulle tematiche economico-finanziarie, sull'uso di metodi quantitativi per il supporto alle decisioni e sugli aspetti organizzativi, gestionali e giuridici e ritenendo che questa esigenza richieda l'integrazione di competenze tradizionali e innovative, grazie all'infaticabile opera di Raffa, che nel frattempo ha costituito una sua "squadra", nel marzo 2000 viene costituito il Dipartimento di Ingegneria Economico-Gestionale - DIEG, che aggrega

docenti e ricercatori dalla pluriennale e consolidata esperienza di ricerca e afferenti a quattro settori scientifico-disciplinari: l'Estimo, l'Ingegneria economico-gestionale, il Diritto privato e la Ricerca operativa.

L'eredità

Alla fine di questo breve excursus sull'impegno di Mario Raffa per la crescita e lo sviluppo dell'Ingegneria Gestionale presso la Facoltà di Ingegneria è lecito chiedersi cosa ha lasciato. La domanda non è superflua poiché spesso, dopo una fase in cui un soggetto leader spinge e costruisce un percorso innovativo e di successo, con la sua venuta meno, inizia una fase di riflusso. Ebbene ciò non si è verificato e questo rappresenta un ulteriore importante risultato dell'attività di Raffa. E ciò non si è verificato per due principali motivi.

In relazione al primo motivo, va sottolineato che i ricercatori e i professori che afferiscono alle diverse aree culturali dell'Ingegneria Gestionale hanno in maniera chiara acquisito la logica e lo spirito che hanno guidato le attività di Mario Raffa per il Corso di laurea, per il Dipartimento, per l'Università e per la società civile. Mario aveva alcuni punti fissi: l'attenzione ai giovani, il senso delle istituzioni, l'impegno sociale e il senso della responsabilità:

- l'attenzione ai giovani: Mario Raffa aveva una forte consapevolezza che il futuro è dei giovani e che quindi bisogna mettere in essere una serie di pratiche e percorsi atti a valorizzarne le idee e lo spirito innovativo, attraverso un confronto continuo con le loro associazioni, e a indirizzarli verso percorsi culturali da esplorare: in questo senso, ad esempio, il suo impegno per le start-up a livello locale e nazionale;
- il senso delle Istituzioni: Mario Raffa lo aveva alto. Durante gli anni del suo impegno politico in Democrazia Proletaria, ha avuto un grande rispetto per le istituzioni scegliendo di contribuire al cambiamento dal loro interno facendo proposte e non limitandosi alla mera critica;
- l'impegno sociale: negli anni della sua maturità Mario Raffa è stato assessore al Comune di Napoli e ha inteso la sua attività di assessore non come un "viatico politico" o una "attività politica", ma piuttosto come un servizio reso alla società civile. Molti ancora lo ricordano per il suo indefesso impegno e per la trasparenza del suo assessorato;
- il senso della responsabilità: Mario si faceva carico dei problemi e "martellava" fino a trovare una soluzione o ad avviare un percorso da cui si intravedeva una possibilità di sbocco positivo. Questa era una caratteristica di Mario, la grande disponibilità a risolvere problemi, che spesso non erano suoi.

Il secondo motivo deriva dal fatto che Mario Raffa non solo ha sviluppato un progetto innovativo, ma ha creato un gruppo di docenti e ricercatori nel settore dell'Ingegneria gestionale cui ha trasmesso lo spirito e la logica di funzionamento

del gruppo. Grazie a questo, oggi altri dopo di lui continuano a impegnarsi per il consolidamento e il rinnovamento del progetto iniziale. Alla fine degli anni Settanta l'Ingegneria gestionale contava su tre persone: un docente, un contrattista e un borsista; oggi conta dodici tra docenti e ricercatori, cui si aggiungono da cinque a otto professori a contratto. Alla fine degli anni Settanta esisteva solo l'insegnamento di Economia e organizzazione aziendale; oggi sia il Corso di Laurea in Ingegneria gestionale della logistica e della produzione, sia il Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria gestionale sono tra i più numerosi e rilevanti corsi della Scuola Politecnica e delle Scienze di Base dell'Università di Napoli Federico II.

Principale produzione scientifica

La produzione scientifica di Mario Raffa è stata ampia e variegata; nel seguito si riporta solo un elenco dei libri e delle riviste internazionali.

Libri (monografie e curatele)

2012

Esposito G., Evangelista P., Pastore G., Raffa M. (Eds.). *Purchasing & Supply Management in a Changing World*. Napoli: ESI.

Esposito G., Raffa M. (Eds.). *The evolution of supply systems management*. Napoli: ESI.

2011

Raffa M. *Napoli innovazione e sviluppo. Cronaca di una sfida*. Napoli: ESI.

2007

Iandoli L., Landstrom H., Raffa M. (Eds.). *Entrepreneurship, Competitiveness and Local Development. Frontiers in European Research*. Chelthenam: Edward Elgar Publishing.

Esposito G., Pastore G., Raffa M. (a cura di). *Ingegneria azienda e società*. Napoli: ESI.

Bartezzaghi E., Raffa M., Zollo G. (a cura di). *Produzione e trasferimento di conoscenze*. Napoli: ESI.

2006

Patrissi M., Raffa M. (a cura di). *Start-up, Spin-off, Incubatori, Idee di business: Esperienze e testimonianze nelle università italiane*. Torino: Associazione PNI Cube.

2005

Iandoli L., Raffa, M. (Eds.). *Entrepreneurship, Competitiveness and Local Development*. Napoli: ESI.

Iandoli L., Miettinen A., Raffa M. (Eds.). *Advances in Entrepreneurship Training and Education*. Piccola Impresa/Small Business, Special Issue.

Ancarani A., Raffa M. (a cura di). *Sourcing Decision Management*. Napoli: ESI.

2004

Iandoli L., Raffa M. (Eds.). *Internationalizing Entrepreneurship education and Training: Proceedings of the XIII IntEnt Conference*. Napoli: ESI.

2003

Bartezzaghi E., Raffa M., Romano A. (Eds.). *Knowledge Management e competitività*. Napoli: ESI.

2002

Esposito E., Raffa M. (a cura di). *Ingegneria gestionale a Napoli*. Napoli: ESI.

2001

Capaldo G., Esposito, E., Raffa M. (a cura di). *Subfornitura e Competitività*. Napoli: ESI.

2000

Raffa M., Zollo G. *Economia del software: elementi introduttivi*. Napoli: ESI.

1999

Capaldo G., Raffa M. (Eds.). *Innovation and Economic Development: the Role of Entrepreneurship and SMEs*. Napoli: ESI.

Capaldo G., Persico P., Raffa M. (a cura di). *Piccole Imprese e Mezzogiorno*. Napoli: ESI.

1998

Capaldo G., Esposito E., Lo Storto C., Raffa M. (Eds.). *Supply Management*. Napoli: ESI.

Raffa M., Zollo G. *Economia del software*. Napoli: ESI.

1996

Capaldo G., Persico P., Raffa M. (a cura di). *Economia e gestione delle piccole imprese del Mezzogiorno*. Napoli: CUEN.

1995

La Bella A., Raffa M., Zollo G. (a cura di). *Leve strategiche nei mercati integrati*. Milano: EtasLibri.

1994

Capaldo G., Passaro R., Pastore G., Raffa M. (a cura di). *Oltre la partnership. Strategie per l'innovazione e la produzione snella* (edizione italiana di Lamming R. *Beyond Parnership*, London: Prentice Hall, 1993). Napoli: CUEN.

1988

Raffa M., Zollo G. *Software Tecnologia e Mercato*. Bologna: Il Mulino.

1983

Raffa M., Zollo G. *Caratteristiche strutturali di un settore innovativo nel Mezzogiorno: indagine sul settore dell'automazione strumentale e sistemi*. Napoli: Centro Stampa Opera Universitaria.

1982

Ciambelli C., Del Monte A., Raffa M., Zollo G. *Decentramento internazionale e decentramento produttivo: il caso dell'industria elettronica*. Torino: Loescher.

Corti E., Raffa M., Zollo G. *Impatto dell'innovazione tecnologica nelle telecomunicazioni*. Napoli: Centro Stampa Opera Universitaria.

Riviste internazionali e contributi in libri internazionali

2016

Centobelli P., Cerchione R., Esposito E., Raffa M. The Evolution of Engineering Management Education. International Journal of Engineering Education, 32(4), 1813-1822.

Centobelli P., Cerchione R., Esposito E., Raffa M. The Revolution of Crowdfunding in social knowledge economy: Literature Review and Identification of Business Model. Advanced Science Letters, 22, 1666-1669.

Centobelli P., Cerchione R., Esposito E., Raffa M. Digital Marketing in SMEs: The Impact of Web-based Technologies. Advanced Science Letters, 22, 1473-1476.

Cerchione R., Centobelli P., Esposito E., Raffa M. What is the Engineering Management? Exploring the Emerging Knowledge and Skills for Engineers. Advanced Science Letters, 22, 1535-1537.

2015

Cerchione R., Esposito E., Raffa M. Tools and Practices for Knowledge Management in Small Supply Firms. In: *Research in the Decision Sciences for the Service Economy*, Ch. 16. London: Pearson.

2014

Cerchione R., Esposito E., Raffa M. A New Profile of Engineer: From Management Engineering to Entrepreneurial Engineering. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Humanities and Social Sciences, 1(4), 684.

2010

Esposito E., Evangelista P., Lauro V., Raffa M. The virtualisation potential of SME networks: an exploratory investigation. In: *The Theory and Practice of Entrepreneurship, Frontiers in European Entrepreneurship Research* (D. Smallbone, J. Leitão, M. Raposo and F. Welter Eds.), 169-194. Cheltenham: Edward Elgar.

2009

Evangelista P., Esposito E., Lauro V., Raffa M. The adoption of knowledge management systems in small firms. Electronic Journal of knowledge Management, 8(1), 33-42.

2007

Iandoli, L., Landstrom H., Raffa, M. Introduction. In: *Entrepreneurship, Competitiveness and Local Development. Frontiers in European Research* (L. Iandoli, H. Landstrom and M. Raffa Eds.). Cheltenham: Edward Elgar.

2006

Cannavacciuolo L., Capaldo G., Esposito G., Iandoli L., Raffa M. Universities and entrepreneurship-training: The role of the Business Plan Competitions. In: *International Entrepreneurship Education* (A. Fayolle and H. Klandt Eds.). Cheltenham: Edward Elgar.

2004

Bruno G., Esposito G., Iandoli L., Raffa M. The role of partnership in fostering ICT industry growth in developing nations: the case of ICT service firms in Morocco. Journal of Global Information technology Management, 7(3), 5-26.

2003

Capaldo G., Iandoli L., Raffa M., Zollo G. Moving Academic Knowledge to the market: competencies and barriers. In: *Research at the Marketing/Entrepreneurship Interface* (G. Hills Ed.). IES, University of Illinois.

Capaldo G., Iandoli L., Raffa M., Zollo G. The evaluation of innovation capabilities in software small firms: a methodological approach. Small Business Economics - special issue: Entrepreneurship in Europe, 21, 343-354.

Capaldo G., Iandoli L., Raffa M., Zollo G. The role of Academic Spin-Offs in connecting local knowledge. In: *Knowledge creation, collective learning and variety of institutional arrangements* (F. Belussi, G. Gottardi and E. Rullani Eds.). Dordrecht: Kluwer.

2002

Capaldo G., Iandoli L., Raffa M. Zollo G. Moving Academic Knowledge to the market: competencies and barriers. In: *Research at the Marketing/Entrepreneurship Interface* (G. Hills Ed.).

2001

Esposito E., Raffa M. Surviving a crisis? make or buy decisions in innovative industries and their effects on supply chain. Enterprise & Innovation Management Studies, 2(3).

2000

Capaldo G., Raffa M., Zollo G., Iandoli L. The evaluation of relationship between organizational transformations and innovation in small software firms. In: *SMEs in the 21st century – Impulses, Perspectives, Concepts* (H.J. Pleitner, W. Weber), 107-118. St. Gallen: KMU-HSG.

Capaldo G., Iandoli L., Raff, M., Zollo G. The evolution of market and technological innovation capabilities in small firms' life. Ciencias Empresariales, 7, 27-43.

Bellini E., Capaldo G., Raffa M., Zollo G. Strategic paths of small firms: a competence based approach to Academic-Spin-Offs. In: *Advances in Applied Business Strategy* (R. Sanchez Ed.). s.l.: JAI Press.

Esposito E., Raffa M. Make or buy strategies in period of crisis: the role of small and large firm. Enterprise & Innovation Management Studies.

1998

Bellini E., Capaldo G., Raffa M., Zollo G. Universities as Resources for Entrepreneurship. In: *Research at the Marketing/Entrepreneurship Interface* (G.E. Hills and M.P. Miles Eds.). Chicago: Institute for Entrepreneurial Studies.

Esposito E., Raffa M. Customer/subcontractor relationship. In: *The Changing Boundaries of the Firms* (M.G. Colombo Ed.)- London: Routledge.

1996

Esposito E., Raffa M. L'évolution de la gestion de la qualité totale dans les petites entreprises sous-traitantes du secteur de l'aeronatique. Revue internationale PME, 9(2). 57-80.

Raffa M., Zollo G., Caponi R. The development process of small firms. Entrepreneurship & Regional Development, 8, 359-371.

Caponi R., Raffa M., Zollo G. The short but interesting life of small software firms. In: *Achiving Quality Software* (S. Bologna and G. Bucci), 103-109. London: Chapman & Hall.

Raffa M., Esposito E., Zollo G., Passaro R. Strategies of Technological Co-operation: Evidence from the Aircraft Industry. In: *Innovation in Procurement Management* (A. Cox Ed.), 33-62. Boston: Earlsgate Press.

1995

Esposito E., Raffa M. Zulieferungsbeziehungen in der italienischen und französischen High-Tech-Industrie. Internationales Gewerbearchiv, 43(4), 223-237.

Capaldo G., Raffa M., Zollo G. Factors Influencing Successful Implementation of Computer Based Technologies in Knowledge-intensive Activities. Information Resources Management Journal, 8(4), 29-36.

1994

Esposito E., Raffa M. The evolution of Italian subcontracting firms: empirical evidence. European Journal of Purchasing and Supply Management, 1(2).

Raffa M., Zollo G. Sources of Innovations and Professionals in Small Innovative Firms. International Journal of Technology Management, 9(2-3).

Raffa M., Zollo G. The Role of Professionals in Small Italian Software Firms. Journal of Systems and Software, 26(1), 19-30.

Raffa M. A Relationships Typology in Firms Network. In: *SMEs: Internationalization, Networks and Strategy* (J.M. Veciana Ed.). Avebury: Aldershot.

Raffa M., Zollo G. The oscillating behavior of small innovative firms: A model. In: *SMEs: Internationalization, Networks and Strategy* (J.M. Veciana Ed.). Avebury: Aldershot.

1993

Raffa M., Zollo G. Growth paths of small innovative companies: some empirical evidences from small software companies. In: *Research at the Marketing/Entrepreneurship Interface* (G.E. Hills, R.W. LaForge and D.F. Muzyka Eds.) Chicago: UIC - University of Illinois at Chicago.

Esposito E., Lo Storto C., Raffa M. The complexity in the relationships between large and small firms: Some empirical evidence. In: *Frontiers of Entrepreneurship Research* (Churchill *et al*. Eds.). Babson Park: Babson College.

Raffa M., Zollo G. Technical Skills and Small Innovative Firms in Northern and Southern Italy. International Contributions to Labour Studies, 3, 101-127.

1992

Esposito E., Raffa M. Qualité et sous-traitance dans l'industrie italienne: quelques résultats d'une étude empirique. Revue Internationale P.M.E., 5(2), 57-82.

Note

[1] Dall'Anno Accademico 2001-2002 la laurea quinquennale viene progressivamente disattivata a beneficio del "3+2", laurea + laurea specialistica, quest'ultima divenuta in seguito laurea magistrale. In questo contesto, nell'A.A. 2001-2002 sono stati attivati i Corsi di Laurea in Ingegneria Gestionale della logistica e della produzione e Ingegneria Gestionale dei progetti e delle infrastrutture.

Salvatore D'Agostino

Ricordo di Salvatore Di Pasquale

Memory of Salvatore Di Pasquale

A venti anni dalla scomparsa dell'illustre studioso di Scienza delle Costruzioni e di Storia del Costruire, l'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria ha voluto ricordarne la memoria pubblicando tre contributi.

Il primo dovuto a Silvia Briccoli, Sua storica collaboratrice, al professore Claudio Alessandri e al professore Giovanni Di Pasquale, figlio di Salvatore e preclaro studioso della Meccanica e della tecnologia antiche. La nota traccia la trama del percorso scientifico di Salvatore, mettendo in luce i singolari, quanto importanti, contributi, che si articolano tra la Scienza delle Costruzioni e l'Arte del Costruire.

La seconda nota, scritta da Giovanni Di Pasquale, riporta un elenco di pubblicazioni ritrovato nel computer di Salvatore, che è stato in parte integrato con alcune informazioni utili al reperimento degli scritti in esso indicati.

La terza nota è di Mario Como, amico di Salvatore e illustre studioso di Tecnica delle costruzioni, ed in particolare della Statica delle costruzioni storiche in muratura. Il suo contributo tratta in dettaglio della statica della Cupola di Brunelleschi, mettendo in luce i numerosi e preziosi risultati, conseguiti da Salvatore, che ne rivelarono compiutamente, i secolari misteri.

In definitiva Salvatore Di Pasquale fu tra i primi e più consapevoli Autori che hanno concorso alla nascita dello studio della storia del costruire, portando contributi fondamentali che hanno consentito la nascita della Ingegneria per i Beni Culturali, in una visione scientifica della conservazione del patrimonio costruito storico, che rispetti i principi dell'antica concezione costruttiva e della Storia, materiale nella visione del monumento quale documento dell'archivio storico della umanità.

Claudio Alessandri, Silvia Briccoli Bati, Giovanni Di Pasquale

In memoria di Salvatore Di Pasquale (1931-2004)

In memory of Salvatore Di Pasquale (1931-2004)

Sommario
A quasi 20 anni dalla scomparsa, avvenuta a novembre 2004, gli Autori ricordano la figura di Salvatore Di Pasquale cercando di evidenziare la sua intensa e prolifica attività di ricerca e didattica. Ai primi anni trascorsi a Napoli presso la Facoltà di Architettura e caratterizzati dall'applicazione del nuovo linguaggio matriciale alla meccanica classica delle strutture seguì il lungo periodo presso la Facoltà di Architettura di Firenze, in cui egli si distinse per essere fra i più eminenti pionieri nel formulare in termini rigorosi problemi statici con materiali non reagenti a trazione riguardanti la conservazione e il restauro delle costruzioni in muratura di interesse storico. Le esperienze compiute negli anni fiorentini, in particolare il contributo fondamentale fornito allo studio della genesi costruttiva della cupola di Santa Maria del Fiore, sottolineano l'importanza della "geometria costruttiva", così egli soleva definirla, e della meccanica delle murature all'interno della meccanica dei solidi e delle strutture. Gli Autori mettono in luce le tappe più significative del suo lungo e insolito percorso didattico e di ricerca, caratterizzato dalla convinta necessità di un approccio interdisciplinare in cui la moderna analisi strutturale, "l'arte del costruire", la storia della Meccanica e delle Tecniche costruttive contribuiscano insieme a fornire una corretta comprensione del costruito storico.

Abstract
Almost 20 years after his death, in November 2004, the Authors remember the figure of Salvatore Di Pasquale by trying to highlight his intense and prolific research and teaching activity. The first years spent in Naples at the Faculty of Architecture and characterized by the application of the new matrix programming language to the classical mechanics of structures were followed by a long period at the Faculty of Architecture in Florence where he stood out as one of the most preeminent pioneers in formulating static problems involving no tension materials in rigorous terms and

concerning the conservation and restoration of masonry buildings of historical interest. The experiences carried out during the Florentine years and in particular the fundamental contribution he provided to the study of the constructive genesis of the dome of Santa Maria del Fiore underline the importance of the "constructive geometry", as he used to define it, and of the mechanics of masonries within the mechanics of solids and structures. The authors highlight the most significant stages of his long and unusual teaching and research journey, characterized by the convinced need for an interdisciplinary approach in which modern structural analysis, ancient "art of building", history of mechanics and construction techniques contribute all together to provide a correct understanding of the historical building.

Premessa

Agli inizi del novembre 2004 si spegneva a Firenze Salvatore Di Pasquale. Per quanto sia difficile descrivere una figura complessa e poliedrica quale la sua, si tenterà ugualmente di mettere in risalto quei tratti della sua personalità scientifica, culturale e umana che lo hanno reso singolare all'interno della comunità accademica nazionale e internazionale di cui faceva parte; ciò che egli ha prodotto nella sua lunga carriera di ricercatore e docente è già consegnato in varie forme alla storia e al giudizio di tutti.

La carriera accademica

Nato a Napoli nel 1931, si laureò in Architettura presso l'Università della sua stessa città nel 1955. La sua intera vita accademica fu dedicata alla didattica e alla ricerca che curò con straordinaria serietà e abnegazione. Presso la Facoltà di Architettura di Napoli ricoprì gli incarichi di Geometria descrittiva dal 1961 al 1968 e quello di Ponti e grandi strutture dal 1968 al 1970. Sempre a Napoli, a partire dal 1976, fu professore di Statica e stabilità dei monumenti presso la Scuola di specializzazione in Restauro dei monumenti dell'Università degli Studi di Napoli. Nel 1964 conseguì la libera docenza in Scienza delle costruzioni e nel 1973 divenne Professore Ordinario nella stessa disciplina. Trasferitosi nel 1971 presso la Facoltà di Architettura di Firenze, fu titolare dei corsi di Scienza delle costruzioni, Statica e del corso di Progettazione di grandi strutture. Nello stesso anno così si esprimeva Riccardo Baldacci, Professore Ordinario di Scienza delle costruzioni, nella prefazione al I Volume "Metodi di calcolo per le strutture spaziali" della collezione ITALSIDER "Progettare acciaio": «L'opera di Di Pasquale si inserisce autorevolmente nel panorama scientifico nazionale per la sua originalità metodologica e la completezza della trattazione». In particolare, due degli aspetti più interessanti da evidenziare sono il risalto dato alla dualità tra metodo delle forze e metodo degli spostamenti, nonché il passaggio dal discreto al continuo con il quale si aprì la via all'impiego dei risultati acquisiti per la lastra elastica continua nell'analisi di strutture reticolari a questa assimilabili. Sempre a Firenze fu Preside della Facoltà di Architettura dal 1986 al 1992

e Direttore del Dipartimento di Costruzioni, già Istituto di Costruzioni, fino al 1995. Si trasferì presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Catania nel 1998, di cui fu Preside e dove ricoprì gli insegnamenti di Statica e Scienza delle costruzioni. La sua attività didattica si svolse anche presso altre Facoltà di Architettura italiane, quali quella di Pescara, Venezia, Milano Bovisa e Ferrara, mentre all'estero fu Professore di *Statique de Constructions en Maçonnerie* presso la Scuola di Specializzazione in Conservazione dei Beni Architettonici dell'Università Cattolica di Lovanio.

È stato membro dell'*Advisory Board* di "Meccanica", rivista dell'Associazione Italiana di Meccanica teorica e Applicata, l'AIMETA, e di "Palladio", rivista di Storia dell'architettura e del restauro. Insieme ai colleghi Edoardo Benvenuto e Antonino Giuffrè fondò il Dottorato di ricerca in Storia delle scienze e delle tecniche costruttive, di cui fu coordinatore fino al 1998.

La ricerca scientifica

Nella vasta e multiforme attività scientifica di Salvatore Di Pasquale spiccano, tra i numerosi lavori pubblicati in forma di articoli su riviste e atti di convegni, alcune opere importanti, che hanno costituito e costituiscono ancora riferimenti fondamentali per studenti e ricercatori. Nella seconda metà degli anni Cinquanta, quando era ancora all'Università di Napoli, intraprese studi relativi alla soluzione di problemi elastici di gusci ribassati a doppia curvatura, piastre ortotrope e cupole di rotazione. Successivamente i suoi interessi si rivolsero all'analisi delle strutture reticolari spaziali e alla ricerca di possibili modelli di calcolo basati su tecniche, oggi si potrebbero definire di omogeneizzazione, che consentivano il passaggio da un discreto caratterizzato da schemi geometrici ripetitivi a un continuo equivalente. Come Giampietro Del Piero, Professore Ordinario di Scienza delle Costruzioni, ebbe modo di sottolineare nel Congresso nazionale AIMETA del 1976: «S. Di Pasquale in controcorrente riporta l'attenzione al "continuo" e alle soluzioni in forma chiusa quando tutti tendevano ormai a discretizzare e a ricercare soluzioni approssimate cavalcando l'onda delle più sofisticate tecniche di calcolo numerico». Egli faceva e studiava ciò che in ogni circostanza a lui, e a lui solamente, sembrava interessante, senza alcuna cura per le mode e i problemi che potevano agitare le menti degli altri ricercatori.

Il libro "Scienza delle Costruzioni – Introduzione alla Progettazione Strutturale", edito da Tamburini – Masson nel 1975, ma già in circolazione sotto forma di pubblicazione di Ateneo dal 1970, rappresenta, almeno nel panorama italiano di quei tempi, una svolta fondamentale nel modo di presentare a studenti e ricercatori contenuti già noti della Meccanica classica. Il formalismo matriciale adottato si propone come elemento unificatore e linguaggio adeguato a tradurre in termini operativi le emergenti esigenze del calcolo strutturale automatico. Nell'opera, per la prima volta, veniva messa in risalto, con carattere di assoluta originalità e innovazione per quei tempi, la dualità esistente tra l'aspetto statico e quello cinematico dei problemi clas-

sici della Scienza delle costruzioni. Su questa stretta interrelazione, a tutti forse già nota ma da nessuno ancora messa nella dovuta evidenza, veniva riordinato l'intero costrutto della Meccanica classica. Oggi, a distanza di anni, è frequente riscontrare lo stesso formalismo negli scritti di numerosi ricercatori e docenti.

Verso la metà degli anni '70 Di Pasquale fu tra i primi a recepire gli stimoli culturali e le suggestioni scientifiche provenienti dai problemi della conservazione del consistente patrimonio architettonico italiano costituito dalle costruzioni in muratura, in particolare da quelle di interesse storico. Indubbiamente giocò un ruolo determinante in questo nuovo orientamento della sua personale ricerca il problema, allora sul tappeto, della stabilità della cupola di S. Maria del Fiore a Firenze, per il quale fornì risposte soprattutto in merito all'individuazione della concezione strutturale, ovvero della "geometria costruttiva", come lui stesso amava definirla, che ne aveva reso possibile la costruzione. Anche in quell'occasione egli seppe dire, come era del resto sua prerogativa, qualcosa di nuovo, intervenendo quale studioso di Scienza delle costruzioni in un ambito di ricerca per tradizione afferente ad altre discipline. L'ipotesi da lui allora avanzata, basata su un accurato quanto inedito rilievo non solo della geometria complessiva ma anche e soprattutto dell'apparato murario, fu successivamente pubblicata nel volume "Brunelleschi – La costruzione della Cupola di Santa Maria del Fiore" edito da Marsilio e destò subito scalpore a livello nazionale e internazionale. Si aprì un appassionato dibattito, sostenuto da diversi animati pareri di esperti italiani e stranieri; tale dibattito fu così acceso ed intenso da far rivivere, a chiunque lo seguisse, il tempo delle violente ed irriverenti polemiche di Gherardo da Prato sul cantiere, allora in corso, della Grande Macchina. Fu indubbiamente l'occasione per una grande crescita di conoscenze e di proposte interpretative; quella di Di Pasquale, formulata dal suo incredibile e unico osservatorio sperimentale, contribuì in modo determinante a fornire una chiave di lettura convincente a uno dei più dibattuti problemi storico-strutturali. Come ha osservato Marco Dezzi Bardeschi, Professore Ordinario di Restauro dei monumenti: «Ora che la voce generosa ed appassionata di Salvatore si è improvvisamente spenta assieme a quella stessa di molti degli altri illustri protagonisti e testimoni della querelle (P. Sampaolesi, P. Rossi, H. Saalmann), nel campo della storia della Scienza e della Tecnica sembra tornato un insopportabile silenzio» *(Dezzi Bardeschi*, commemorazione del 2005).

Da quel momento gli interessi e gli sforzi di Di Pasquale furono prevalentemente assorbiti dall'esigenza improcrastinabile e totalizzante di comprendere il comportamento di strutture, quali quelle in muratura, che fino ad allora non erano mai rientrate, se non marginalmente, negli interessi dei cultori della Scienza delle costruzioni. Sono appunto di quegli anni i primi modelli matematici da lui messi a punto per formulare il problema dell'equilibrio delle murature come solidi rigorosamente non reagenti a trazione. Restano fondamentali al riguardo i contributi da lui forniti ai vari Congressi dell'AIMETA, il rapporto "Statica dei solidi murari – Teoria ed

esperienze*"* pubblicato nel 1984 come Quaderno del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di Firenze e il numero monografico di "Meccanica", "*Masonry constructions – Structural Mechanics and other aspects*", in cui il suo scritto "*New trends in the analysis of masonry structures"* compare accanto a quello dell'amico Jacques Heyman, docente dell'Università di Cambridge, anch'egli riferimento essenziale nella meccanica delle murature.

In particolare, a Di Pasquale è riconducibile l'inserimento di una teoria dei solidi murari nell'ambito della meccanica classica del continuo. Nel 1978, utilizzando il principio formulato da G. Colonnetti nel 1920, per il quale un'opportuna scelta dello stato di coazione fa sì che alcuni parametri dello stato di tensione assumano valori arbitrariamente scelti, egli inquadrò il problema dell'equilibrio dei solidi murari negli schemi canonici della teoria dell'elasticità. Nel 1982 definì un ente cinematico fittizio, detto tensore delle fratture distribuite o tensore di deformazioni a tensioni nulle, in grado di modificare gli stati di tensione non ammissibili per la muratura e tale da non dar luogo a energia vincolata. Il problema dell'equilibrio dei solidi murari venne quindi formulato come minimo dell'energia complementare con le condizioni aggiuntive che impongono l'equilibrio interno, al contorno e la non reagenza a trazione. Nel 1984 Di Pasquale pubblicò una raccolta degli studi realizzati negli anni precedenti sulla statica dei solidi murari, in cui introdusse una suddivisione del dominio di definizione del solido murario piano in tre tipi di sub regioni differenti, caratterizzate dal tensore di tensione che può essere nullo, canonico o singolare. Nel 1988 introdusse per la prima volta un'interpretazione debole della condizione di normalità fra tensioni e deformazioni anelastiche di fratture distribuite: nel rispetto della caratteristica di non dissipazione del materiale, assunse che il tensore di deformazioni anelastiche possa includere scorrimenti sulle direzioni principali di tensione. Tale ipotesi, formulata con lo scopo di ampliare la classe di problemi descrivibili con il modello continuo non reagente a trazione comunemente adottato, venne ripresa anche nei lavori successivi, in uno dei quali, datato 1992, fu fornita l'espressione analitica delle deformazioni anelastiche di scorrimento in funzione delle componenti di tensione. La soluzione di semplici problemi piani fu ricercata con una indagine numerica agli elementi finiti basata su distorsioni imposte e condotta attraverso una procedura *step-by-step*.

Tutti gli riconoscono il merito di aver individuato una nuova frontiera della meccanica e di avere formalizzato per primo in termini matematici intuizioni ed esperienze maturate in anni di intenso lavoro. Molti in seguito si sono cimentati nel settore di indagine da lui aperto nel tentativo di sviluppare e arricchire certe sue formulazioni iniziali. In particolare, sono stati proposti modelli continui equivalenti basati su processi di omogeneizzazione e definiti da leggi costitutive sempre più dettagliate, come pure modelli discreti a elementi rigidi o elastici dove la reagenza nulla o limitata a trazione è imposta nei legami di interfaccia, entrambi analizzati o con procedure incrementali iterative agli elementi finiti o con tecniche proprie dell'analisi limite.

L'originalità e la specificità della sua personalità scientifica è chiaramente rintracciabile in ciascuno dei suoi lavori, in particolare negli ultimi. Senza troppo indugiare, basti ricordare che fu autore di più di duecento memorie, un numero che forse ad alcuni ricercatori del settore può sembrare oggi più che normale, se non esiguo, ma che si rivela invece particolarmente significativo nella misura in cui ciascuna opera è il prodotto di lunghi e appassionati studi, meditazioni, osservazioni *in situ*, ricerche di archivio e sperimentazioni; i rapporti interdisciplinari caratterizzano la sua ricerca e la configurano come un *unicum* irripetibile e univocamente identificabile. Per l'autorevolezza scientifica da tutti riconosciutagli egli tenne corsi e lezioni, relazioni, conferenze e seminari non solo in Italia ma anche nelle sedi accademiche più prestigiose delle maggiori capitali europee.

Lo studio del costruito

Assieme a pochi altri, durante la sua lunga carriera accademica, ha rappresentato un'eccezione nel panorama scientifico nazionale per il suo sforzo continuo teso a coniugare le esigenze dettate dalla militanza in una disciplina squisitamente scientifica, con la consapevolezza che per soddisfare anche requisiti estetici il progetto architettonico e la sua conseguente realizzazione richiedono grande attenzione nella scelta dei materiali, delle modalità costruttive, delle forme e dei modi in cui le varie componenti del progetto possono interagire fra loro. È proprio questa sua specifica esigenza la chiave di lettura del suo insolito percorso di ricerca che lo portò a scegliere di volta in volta temi nuovi e a trattarli con indagini non limitate esclusivamente al suo ambito disciplinare, ma anche, e soprattutto, a scoprire e a mettere nel dovuto risalto le connessioni profonde tra la meccanica, l'architettura e il costruito in generale.

La sua stessa attività didattica fu sempre stata improntata alla massima attenzione per i problemi connessi al difficile e complesso rapporto intercorrente tra una disciplina quale la Scienza delle costruzioni, fondata su argomentazioni fisico-matematiche e rigore metodologico, e arte del costruire. L'atteggiamento culturale che contraddistinse i suoi comportamenti fu sempre stato ispirato dall'esigenza istintiva di soddisfare contemporaneamente i requisiti imposti da ambedue le valenze, quella scientifica e quella artistico-costruttiva. In questo senso ha dimostrato di essere pienamente e profondamente architetto.

Il suo libro "L'arte del costruire – Tra conoscenza e scienza" edito da Marsilio e pubblicato, nella sua prima edizione, nel 1996, è una sintesi raffinata, colta e particolarmente accurata di questa sua personale, ma da molti condivisa, visione del rapporto fra scienza e architettura, fra le ricerche sulla cupola di S. Maria del Fiore e quelle sulla meccanica delle murature, temi questi ritenuti a ragione strettamente interconnessi. L'opera riporta in una forma estremamente dotta, con colti riferimenti storici, i risultati degli studi da lui condotti sul comportamento meccanico delle murature e sul senso del termine struttura qualora riferito a costruzioni murarie. Essa

resta a testimonianza del suo impegno nel voler fornire chiare chiavi di lettura del complesso patrimonio architettonico e monumentale trasmessoci dal passato. Ai suoi allievi era solito dire «Avevano già capito tutto; a noi non resta che riscoprire umilmente quanto si è perduto nel tempo per incuria, ignoranza e presunzione».

L'abilità di Salvatore Di Pasquale nel trasferire in ambito applicativo le conoscenze maturate nella ricerca di base emerge anche negli studi da lui compiuti sul duomo di Parma e riportati nel libro "Architettura e terremoti – il caso di Parma", nelle esperienze condotte in Friuli e in Irpinia all'indomani dei rispettivi eventi sismici e nelle analisi condotte sulla stabilità di importanti siti archeologici, nonché nelle numerose prove sperimentali su materiali e modelli condotte nel Laboratorio del suo Dipartimento. L'incarico di Presidente della Commissione di valutazione della stabilità della Torre di Pisa fu al tempo stesso un riconoscimento e una riprova della sua capacità di saper coniugare teoria e prassi, ricerca teorica e applicata. Di Pasquale manifestò in ogni circostanza la sua volontà di non perdere mai di vista la reale dimensione fisica dei problemi che costituivano l'oggetto della sua speculazione teorica, non dimenticando mai l'oggetto ultimo delle proprie speculazioni: la struttura come parte resistente di una costruzione, a volte chiaramente manifesta, a volte celata e variabile. Le sue ricerche furono sempre motivate dalla necessità di comprendere, prevedere, controllare e simulare il comportamento meccanico di una certa tipologia strutturale o di un materiale costituente una certa struttura, dalle piastre reticolari alle strutture spaziali in generale, fino alle murature che lo videro impegnato negli ultimi venti anni della sua vita. Proprio con gli studi su queste ultime egli dimostrò la sua natura di ricercatore a tutto tondo, eclettico e polimorfo, erede quasi di un certo modo di essere e di pensare tipico del nostro Rinascimento. A partire da necessità contingenti, come la valutazione della stabilità delle cupola di Brunelleschi o della vulnerabilità sismica del duomo di Parma, del duomo di Pienza e di monumenti del ragusano, oppure dello stato di conservazione di un certo patrimonio architettonico, fu capace di fondare un intero filone di ricerca, per poi coltivarlo e svilupparlo con strumenti e linguaggi diversi: quelli del matematico, del meccanico e dello storico, a volte del filosofo, del geometra; strumenti e linguaggi che, pur nella loro diversità, erano da lui usati in stretta correlazione, tanto da non lasciar distinguere il più delle volte dove finisse il matematico e iniziasse lo storico o il meccanico. E comunque, in qualunque forma egli si esprimesse, era sempre evidente e percettibile la presenza del costruito come *leit motiv* di ogni sua opera scientifica, l'elemento reale in cui tutte le analisi potevano ricomporsi e fondersi. Diventa comprensibile in questo modo anche la sua attenzione a quell'arte del costruire ben nota ai costruttori del passato e sostituita dall'odierna scienza del costruire.

È significativo un episodio, da lui citato più volte e riportato anche nel suo libro "L'arte del costruire": un incontro fra il Maestro e un vecchio muratore di Ibla in cui i ruoli inaspettatamente si invertono, in quanto è il vecchio muratore a spiegare con

motivazioni basate sulla semplice osservazione di certi effetti ciò che il Maestro con la sua scienza e tutto il suo sapere moderno non era in grado di comprendere e giustificare. L'oggetto dell'interrogazione era l'architrave a tre conci di cui il vecchio muratore seppe suggerire la genesi, chiarendo in modo inequivocabile al Maestro il giusto modo di porsi di fronte alle costruzioni di una qualunque epoca, interpretabili e comprensibili soltanto da chi ha il coraggio di spogliarsi della cultura del proprio tempo e immergersi nella storia per fare propri i modi di osservare, pensare e sentire di un dato momento storico. Questa disponibilità a cambiare d'abito a seconda delle epoche diventò per Di Pasquale la chiave di lettura di tutto il passato, lo stimolo a cimentarsi con la lettura critica della trattatistica e dei documenti storici, la base dell'intesa profonda, sia culturale che umana, con il collega e amico Edoardo Benvenuto, anch'egli Professore Ordinario di Scienza delle costruzioni.

L'impegno nella didattica

Senza alcun dubbio egli concepì il proprio impegno istituzionale di docente e di studioso come abnegazione, spendendo tutte le sue energie nell'Università, pur manifestando avversione per la retorica dell'Accademia delle cui regole spesso non tenne conto. Mai indulgente con gli altri e tanto meno con sé stesso, pretese sempre da tutti impegno, rigore e dedizione. Certo, i suoi discepoli non poco soffrirono per il suo carattere non facile e per i suoi imprevedibili comportamenti, a volte fuori dagli schemi usuali; va però riconosciuto che ogni suo discepolo deve qualcosa di ciò che oggi egli è alla persona che per lunghi anni e con assiduità, a torto o a ragione, condizionò tratti della sua vita.

Fu sicuramente molto più indulgente con gli studenti, che rispettò profondamente, conscio degli stimoli e delle istanze innovatrici di cui possono farsi portavoce nell'Università; questi, da parte loro, lo hanno sempre considerato "il Professore" per la sua innata chiarezza espositiva e la capacità di farsi ascoltare mantenendo viva l'attenzione, premio questo al suo sforzo continuo nel cercare di rendersi comprensibile a chiunque e di fornire una dimensione culturale a ciò che andava insegnando, oltrepassando i recinti imposti dalla specificità disciplinare.

Quando, docente appena quarantenne, iniziò il suo insegnamento a Firenze in un contesto alquanto difficile, sia per i postumi del '68 che per l'innata diffidenza dei Fiorentini nei confronti degli "altri", raccolse un successo totale quanto inaspettato: con un linguaggio nuovo, che lasciava intuire collegamenti con l'informatica e il calcolo automatico, un universo allora ancora in gestazione, e soprattutto con un modo del tutto personale di relazionarsi con gli studenti, riuscì a raccogliere attorno a sé e ad alimentare della sua dottrina un uditorio inaspettatamente vasto e partecipe. E l'autorevolezza conquistata così rapidamente nell'ambito della didattica era chiaramente percepita dagli studenti come il riflesso di un'autorevolezza altrettanto grande maturata in attività di ricerca già da tempo avviate. Fu in virtù di ciò, oltre che per la sua particolare comunicativa e capacità di relazionarsi con gli altri, che

divenne un riferimento importante e significativo per studenti e docenti in momenti storici particolarmente delicati e difficili, quali quelli attraversati dalle Università italiane all'indomani del '68, e successivamente quando fu designato per due volte consecutive Preside della Facoltà.

Indubbiamente non è facile essere allo stesso tempo buoni ricercatori e buoni divulgatori. Di Pasquale riuscì brillantemente a compendiare in sé entrambi gli aspetti, a realizzare quella perfetta osmosi fra ricerca e didattica tanto più difficile in una Facoltà di Architettura dove le esigenze dell'insegnamento possono risultare molto distanti dalle necessità imposte dalla ricerca, o da un certo tipo di ricerca sensibile alle mode e agli orientamenti suggeriti dagli stessi raggruppamenti disciplinari. Come si è già avuto modo di sottolineare, non amava lasciarsi guidare dalle mode, seguire dei filoni precostituiti; preferiva seguire il proprio istinto, ciò che gli dettava al momento la sua curiosità scientifica, intraprendere percorsi nuovi verso mete ancora ignote e precluse ad altri e per questo ancora più affascinanti. In ogni caso, tuttavia, sia che si trattasse di riscrivere con un diverso formalismo matematico alcune pagine della Scienza delle costruzioni, o di evidenziare una più stretta e evidente relazione fra equilibrio e congruenza, oppure di fondare una nuova meccanica per le murature o ancora di fare una lettura critica di opere classiche della nostra trattatistica, egli ha sempre cercato di trasferire agli studenti, attraverso i corsi istituzionali, cicli seminariali e tesi di laurea, ciò che egli andava scoprendo e maturando nel corso delle proprie ricerche. La sua attenzione alla didattica e alla divulgazione del sapere scientifico ha lasciato dei segni tangibili: il suo libro di Scienza delle costruzioni, i suoi *report* su tematiche di ricerca a lui care che diventavano riferimenti essenziali per tesi di laurea, corsi di specializzazione e Dottorati di ricerca. Altrettanto vale per i contributi dati a un certo tipo di manualistica apparsa all'indomani di disastrosi eventi sismici; il dato tecnico era comunque sempre accompagnato da riferimenti culturali dotti, inquadramenti storici inediti e da considerazioni di grande valenza scientifica. Anche la collana di "Costruzioni" edita da Le Monnier, pensata per studenti Geometri ma di sicuro ausilio per studenti di Architettura e per architetti, testimonia le sue qualità di divulgatore dotto. Come scrisse Giovanni Klaus Koenig in una delle prefazioni ai volumi della collana «un libro di testo professionale può dirsi riuscito solo se è introvabile sul mercato dell'usato», e i libri di questa collana lo sono sempre stati in quanto non hanno mai abbandonato lo studente, neanche dopo la sua trasformazione in professionista.

La capacità di Di Pasquale di mettersi in gioco assieme a grandi progettisti o a strutturisti e tecnici di chiara fama nel progettare egli stesso architettura o nel valutare la stabilità di monumenti di fama internazionale testimonia la sua attenzione anche alle esigenze imposte dall'essere architetto. Partecipò infatti a concorsi nazionali di Architettura (Mercato di Pescia, Archivio di Stato a Firenze), fu membro della Commissione nazionale per le strutture ferroviarie dell'alta velocità e, come detto, della Commissione per la Torre di Pisa.

Ma Salvatore Di Pasquale si è interessato attivamente, con solerzia e dedizione, anche ai problemi che hanno attraversato e tuttora continuano ad attraversare i Corsi di laurea italiani in Architettura. Muovendosi all'interno degli organi nazionali di riforma degli ordinamenti didattici, nelle strutture di relazione con gli Ordini professionali, con gli Enti Pubblici, con la Comunità Europea egli ha svolto un mirabile lavoro di aggiornamento e di rivisitazione della didattica delle discipline strutturali in seno alle Facoltà di Architettura ricercando sempre un insegnamento della Scienza delle Costruzioni, o più in generale della Meccanica delle Strutture, non più fine a se stesso o costruito per un generico uditore, ma calibrato sulle reali capacità di approfondimento dello studente di Architettura, commisurato al tipo di strumenti matematici e fisici a sua disposizione e comunque ugualmente rigoroso nell'impostazione metodologica e nel linguaggio formale. Un insegnamento mirante a sfruttare al massimo le capacità intuitive degli studenti, la loro innata propensione a immaginare spazialmente o attraverso modelli geometrici, prima ancora che matematici, il loro costante bisogno di rapportarsi alla realtà visibile e tangibile. Di Pasquale ha avuto sempre ben chiaro il ruolo della Scienza delle Costruzioni nelle Facoltà di Architettura, un ruolo non di semplice servizio ma di protagonista al pari di altre discipline nel processo di elaborazione del progetto di architettura, il quale deve nascere e svilupparsi in ogni sua fase di avanzamento come sintesi di più saperi tra cui, fondamentale, quello relativo alla stabilità del costruito. Ed era talmente chiaro in lui il ruolo di questa disciplina che non esitò a dare il proprio sostegno all'ideazione e alla costruzione del nuovo ordinamento didattico delle Facoltà di Architettura attivato nell'anno accademico 1993/94, un ordinamento allora fortemente innovativo rispetto al passato, in cui per la prima volta venne evidenziato il ruolo centrale dell'area strutturale nel disegno generale che conduce al progetto del costruito, sia esso il nuovo o il già esistente, un ordinamento basato sull'interdisciplinarietà dell'insegnamento, grazie alla quale le Facoltà di Architettura italiane sono riuscite, anche se non tutte allo stesso modo e negli stessi tempi, ad adeguarsi ai corrispondenti modelli europei. A tal riguardo è significativo l'impegno da lui profuso nel riunire, anche nel linguaggio, due culture, quella squisitamente scientifico-tecnica e quella architettonico-costruttiva, che avevano già cominciato a separarsi nei primi anni del secolo XIX e di cui egli cercò con grande tenacia una chiave di ricomposizione. Di questo ordinamento, ormai appartenente al passato, restano attuali alcuni suoi principi ispiratori, alcuni suoi obiettivi primari, tuttora reclamati a viva forza dagli stessi studenti, quali la sinergia di alcune componenti culturali fondamentali, la interdisciplinarità dell'insegnamento, la necessità di articolare l'insegnamento in ambiti specifici senza perdere mai di vista l'esigenza di ricomporlo in una unità organica, il progetto di architettura, e a esso renderlo funzionale.

Ricordando un'altra bella espressione di M. Dezzi Bardeschi, «assunta a modello la frase leonardesca: "studia la scientia e poi seguita la pratica"», Salvatore Di Pasquale per tutta la vita ha inseguito con esemplare chiarezza quello che amava

chiamare «un sogno illuminista»: riflettere sull'arte e la scienza del costruire, due facce della stessa medaglia, richiamandosi all'essenza stessa del Discorso preliminare della "*Encyclopédie*": «l'unico modo corretto di filosofare, in fisica, consiste o nell'applicazione all'esperienza dell'analisi matematica, ovvero nell'osservazione pura, illuminata dal metodo e talvolta integrata da congetture, se queste possono produrre punti di vista nuovi». Una frase eccellente, questa di Diderot e D'Alambert, che oggi ci piace identificare con il suo stesso più fecondo testamento.

L'approccio al moderno

A tale sogno illuminista si rifà l'insegnamento tenuto da Di Pasquale nel Corso di Dottorato in Composizione Architettonica presso la Facoltà di Architettura Civile del Politecnico di Milano negli anni 1998 – 2004. Risale a questa esperienza l'idea di presentare un corso dal titolo "La costruzione dell'architettura moderna". È possibile ricostruire, almeno in parte, le idee sulle quali andava meditando per organizzare questo corso attraverso gli appunti che sono rimasti conservati nel suo computer. Per quanto incompleti, evidenziano il filo conduttore di quelle lezioni: "Il discorso sull'Architettura, da qualsiasi punto si intenda iniziare per discutere i problemi della costruzione, non può prescindere da una premessa dedicata ai materiali con cui essa è fatta. Naturalmente si deve ammettere che siano già acquisite le informazioni di base fornite dalle discipline specifiche che devono contribuire alla formazione, secondo i criteri fissati per l'acquisizione dei rispettivi crediti. Tuttavia, ciò non basta perché si ritiene necessaria la precisazione del rapporto struttura-materiali-forme dal punto di vista delle idee e dei concetti tipici delle discipline strutturali. Questo discorso deve costituire l'oggetto della prima lezione svolta sotto l'ottica storica con una panoramica che esemplifichi ciò che è possibile fare e ciò che è proibito, dai materiali storici a quelli High Tech...".

Gli appunti rivelano il progetto di un corso che ruotava attorno a sei temi principali:

- materiali, forme, strutture;
- la natura come metafora;
- il paesaggio alpino - Il concorso di Le Corbusier per il Soviet;
- la scuola ispano-americana per le grandi strutture in cemento armato – Richiami teorici;
- le dighe di B. Peruzzi. Disastri e mutamenti;
- la struttura nelle architetture di Mies van der Rohe e di Aldo Rossi.

È lavorando attorno a questa idea che Di Pasquale decise di soffermarsi sulla figura di Le Corbusier, che tra l'altro aveva avuto modo di incontrare di persona in occasione di un viaggio a Parigi nel 1961 con la Facoltà di Architettura di Napoli. Ne scaturirà il materiale per un libro, quasi concluso al momento in cui egli venne a mancare. Uscito postumo nel 2008, il volume "Le Corbusier. L'estetica come fi-

losofia della natura, la costruzione dell'architettura moderna e le nuove invenzioni strutturali", edito da Lombardi, prese le mosse dalle riflessioni scaturite dalla lettura di un testo poco noto di Le Corbusier, dal titolo "*L'architecture et l'esprit matématique",* opera uscita al termine della seconda guerra mondiale per rispondere all'invito del matematico François Le Lionnais, che lo aveva pregato di scrivere un saggio da collocare all'interno di una raccolta di testi a più voci incentrata sul superamento delle barriere tra il pensiero matematico e la produzione letteraria e artistica.

Nelle pagine di questo testo di Le Corbusier, che venne tradotto integralmente e commentato, Di Pasquale ritenne di trovare le linee guida essenziali per comprendere tutta l'opera dell'architetto francese, caratterizzata da un profondo legame tra la matematica, l'arte in tutte le sue forme e la natura. In particolare, si soffermò sulla necessità di un nuovo sistema di misura antropomorfo, la chiave per entrare nello spazio indicibile e la funzione ordinatrice di leggi matematiche. Sono questi i temi che Le Corbusier riprese nel *Modulor I* e *Modulor II* come concetti indispensabili per dominare i fatti architettonici. Ripercorrendo gli eventi che nel dopoguerra influenzarono le teorie di Le Corbusier e evidenziando l'attualità del rigore metodologico messo in pratica nella realizzazione del Palazzo dei Soviet, Di Pasquale raccolse idee, spunti e riflessioni sul grande maestro francese senza perdere di vista l'obiettivo di presentare un corso innovativo «… che proceda per interpreti di questo rapporto (architettura e costruzione) e per temi compositivi scelti alla luce di particolari occasioni, sempre caratterizzate dalla realizzazione: mostre, expo, affermazione di nuovi materiali o di nuove tecniche costruttive…».

La sua eredità

Ciò che Di Pasquale lascia è probabilmente un grosso fardello per tutti coloro che si sentono a lui culturalmente e scientificamente legati: le intuizioni, le scoperte, gli insegnamenti, le percezioni non ancora sviluppate esaltano, ma al tempo stesso spaventano chiunque per la loro varietà, profondità, ricchezza di contenuti e messaggi.

Salvatore Di Pasquale ha speso fino all'ultimo tutte le sue energie nell'Università. La sua esistenza e il suo insegnamento hanno reso certamente più ricco chiunque abbia avuto l'opportunità di conoscerlo e frequentarlo; ciò è certamente vero per tutti coloro che sono stati suoi studenti e allievi, e sono tanti; questo è ciò a cui teneva sopra ogni altra cosa: aprire le menti dei giovani e renderle in grado di generare nuove idee.

Con lui se n'è andato un fondatore di una certa Meccanica, più attenta ai problemi specifici dell'Architettura, più sensibile alle istanze della Storia delle Tecniche costruttive, del Restauro dei monumenti. Consegna in eredità il suo insegnamento, i suoi scritti, il suo modo umile e responsabile di porsi di fronte al problema della conoscenza. Spetta ai suoi allievi, a quanti hanno avuto la possibilità di collaborare con lui e a tutti coloro che, pur non conoscendolo personalmente si sono formati sui suoi scritti, il compito arduo di raccogliere tale eredità e di vivificarla nel tempo.

Giovanni Di Pasquale

Salvatore Di Pasquale - Pubblicazioni 1958-2008

Salvatore Di Pasquale - Papers 1958-2008

Sommario

Salvatore Di Pasquale è venuto a mancare all'improvviso all'inizio di novembre 2004. Tra gli appunti presenti nel suo computer figurava un file dal titolo "Pubblicazioni", una sorta di promemoria che egli stesso avrebbe voluto riordinare in seguito, contenente l'elenco dei suoi scritti dal 1958 al 2002. Lo pubblichiamo con qualche modifica, ritenendo che questo documento offra una fotografia quanto mai precisa dell'attività di ricerca svolta parallelamente all'insegnamento universitario. Sebbene lacunosa in alcuni punti, questa bibliografia permetterà comunque a chi fosse interessato a una particolare pubblicazione di trovarla all'interno di riviste, atti di convegni, volumi collettanei.

Abstract

Salvatore Di Pasquale passed away suddenly in early November 2004. Among the notes found on his computer was a file titled "Publications," a kind of reminder that he intended to organize later, containing a list of his writings from 1958 to 2002. We publish it as he prepared it, believing that this document offers a particularly precise snapshot of the research activity carried out concurrently with his university teaching. Although incomplete in some parts, this bibliography will still allow those interested in a particular publication to find it within journals, conference proceedings, and collective volumes.

1958

Di Pasquale S. Sulle determinazioni delle tensioni di membrana nei gusci a doppia curvatura su pianta rettangolare. Il cemento: il cemento armato, 8, 3-8. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 1958, 17.

1959

Di Pasquale S. Ulteriori considerazioni sul calcolo delle volte di traslazione a doppia curvatura. Tabelle per la determinazione degli sforzi di membrana nei paraboloidi ellittici a proiezione rettangolare. Il cemento: il cemento armato, 1, 3-11. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 1959, 18.

Di Pasquale S. Generalizzazione del metodo alle differenze finite per la soluzione delle equazioni a derivate parziali riducibili alla equazione di Laplace. Giornale del Genio Civile, 6, 486-497. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 22.

Di Pasquale S. Generalità per la determinazione delle direzioni principali nei gusci a doppia curvatura: applicazione ad un paraboloide ellittico a proiezione rettangolare e verifica sperimentale dei risultati. Il cemento: il cemento armato, 11. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 24.

1960

Di Pasquale S. Equazioni di Pucher in coordinate curvilinee ortogonali. La ricerca, 2. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 26.

1962

Di Pasquale S. Risoluzione del problema flessionale per la volta di traslazione ribassata poggiata su quattro timpani e soggetta a forze verticali generiche. In: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 30.

Di Pasquale S. Une nouvelle application des surfaces gauches, In: *Atti del Symposium RILEM. Research and tests on baked clay structures,* Milan, June 25-28 1962, 161-166, Milano: ANDIL. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 32.

Di Pasquale S. Risoluzione del problema dell'equilibrio flessionale per le volte di traslazione nei casi di inapplicabilità della soluzione di Wlassow. La ricerca, 2. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 33.

Di Pasquale S. Impostazione e risoluzione variazionale delle equazioni di Wlassow- Marguerre per le lastre curve ribassate. Giornale di Matematiche di Battaglini, 1. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli,* 35.

1963

Di Pasquale S. Sulle cupole di rotazione ribassate a spessore variabile. In: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 41.

1966

Di Pasquale S. Fondamenti teorici per un metodo di calcolo approssimato dei corpi reticolari a maglie cubiche. In: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 64.

Di Pasquale S. Statica dei fili, delle membrane e dei gusci; complementi analitici alle serie di Fourier; costruzioni metalliche; strutture a guscio. *Appunti per il Corso di Grandi strutture - A.A. 1966-1967*, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli.

Di Pasquale S. *et al*. Tre nuove opere di Nicola Pagliara. L'Architettura. Cronache e storia, 126(12), 792-799.

1967

Di Pasquale S. *et al*. Frei Otto - Expo '67 a Montreal: Progetto e realizzazione del padiglione per l'esposizione. Linea Struttura, 1/2, 84-89.

Di Pasquale S. *et al*. Insegnamento, sviluppo, ricerca: attrezzature residenziali, di cultura e di svago a Napoli Ponticelli. Casabella, 320, 36-41.

Di Pasquale S. Methode de calcul des plaques en treillis. In: *Space structures - A study of methods and developments in three-dimensional construction, resulting from the International Conference on Space Structures* (R.M. Davies Ed.). University of Surrey, September 1966, 71- 78. Oxford & Edinburgh: Blackwell Scientific Publications, 1967. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 1966, 73.

Di Pasquale S. On the elastic problem of the non-homogeneous anisotropic body resting on a lattice. Meccanica, 3, 153-156. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 1967, 80.

1968

Di Pasquale S., Buccino F. *Le strutture reticolari spaziali: le proprietà meccaniche dei mezzi reticolari. Note al Corso di Grandi Strutture A.A.1966-67*. In: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 1968, 85.

Di Pasquale S. Lezioni di Ponti e grandi Strutture. Note al Corso di Grandi Strutture A.A. 1967-68. In: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 1968.

Di Pasquale S. *et al*. Una selezione difficile. Casabella, 325, 17. Anche in: *Atti dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni, Facoltà di Architettura dell'Università di Napoli*, 1968, 88.

1969

Di Pasquale S. *et al*. Quasi un unico immenso edificio senza fine. Controspazio, 6/ 39. Appunti per un concorso urbano: Tavola di Concorso per l'allestimento del padiglione italiano alla XIV Triennale di Milano, 1968.

1970

Di Pasquale S. *Appunti delle lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze. Firenze: Editrice Cooperativa Libraria Universitatis Studii Florentinii.

Di Pasquale S. *et al*. Il nombre d'or. L'Architettura. Cronache e storia, 178(4), 216-237.

Di Pasquale S. *et al*. Notes on a geometric and static theory of space structures - sandwich plates and slabs. In: *Proceedings of the IASS Symposium on Folded Plates and Prismatic Structures*, Session IIB, Wien, 1970. 1.

1971

Di Pasquale S. Mechanical models of Chauchy-Poisson media. In: *Atti del I Congresso Nazionale AIMETA*, Udine, 26-30 giugno 1971, II(2), 299-324. Udine: CISM.

Di Pasquale S. *Metodi di calcolo per le strutture spaziali*. I ed., Collana Italsider. Milano: Tamburini editore. II ed. 1978. Milano: CISIA.

Di Pasquale S., Oliviero D., Pelliccia N., Vitale A. *Space frames associated with folded plates as structural components*, Honolulu, 10-15 October 1971.

Briccoli Bati S., Di Pasquale S. Applicazione di un metodo generale di calcolo alle travi ad asse rettilineo. In: *Atti delle Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio*, Alberobello 27-30 ottobre 1971.

Briccoli Bati S., Di Pasquale S. *Applicazione di un metodo generale di calcolo alle travi ad asse curvilineo*. Milano: Arti Grafiche Pinelli. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1973 (9, 1977).

1972

Di Pasquale S. Considerazioni e discorso sul metodo. In: *Atti del corso di didattica tecnologica per docenti di istituti tecnici*, Arenzano settembre 1972, 93-114. Milano: Tamburini editore. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1972 (7, 1977).

Di Pasquale S., Leggeri B, Nencioni S. Energy forms in the finite element techniques. In: *Proceedings of the International Conference on Variational Methods in Engineering* (C. Brebbia and H. Tottenham Eds.), Southampton, 25 September 1972, I, 4.33-4.43. Old Woking: Unwin Brothers ltd. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1972 (1, 1977).

1973

Di Pasquale S., Focardi F. Sulla ripartizione delle tensioni nell'accoppiamento pannello-telaio di irrigidimento. In: Atti del I Convegno Nazionale AIAS, Palermo, 4-7 aprile 1972, 349-357. Palermo: Telestar Editoriale Poligrafica. Anche in: Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze, 1972 (10, 1977).

Di Pasquale S. *Introduzione agli Appunti delle Lezioni di Morfologia Strutturale* (a cura di M.C. Forlani). Pescara.

Di Pasquale S. *et al*. Strutture composte con elementi imbutiti. I parte: R. Baldacci, E. Baroni, S. Di Pasquale. Indagine teorica e metodo di calcolo automatico. In: *Atti della Giornata Italiana della Costruzione in Acciaio*, Sorrento, 28-30 ottobre 1973.

Di Pasquale S. Static and dynamic problems of steel tall buildings - a comparison of the discrete and continuous approaches. In: *Proceedings of the Italian National Conference on tall buildings*, ASCE-IABSE 1973, Sorrento, 31 October 1973, 65-77. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1973 (8, 1977).

1974

Di Pasquale S. *et al*. Tolti dalla cassaforte i nomi dei progettisti dell'Archivio. La Nazione, 24 gennaio.

1975

Di Pasquale S. Notes on the optimization problem of finite element grids, In: Proceedings of the 3rd Post Conference on Computational Aspects of the Finite Element Method, Imperial College London 8-9 September 1975, 403-418. Anche in: Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze, 1975 (11, 1977).

Di Pasquale S. et al. Continuum methods in discrete structures analysis-General aspects, In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Space Structures*, Guilford, 15-18 September 1975, 65-72. Guilford and London: Billing & Sons Ltd. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1975.

Di Pasquale S. Metodi del continuo per l'analisi dinamica delle strutture: i grigliati di travi, In: *Atti delle Giornate Italiane della Costruzione in Acciaio*, Firenze 26-29 ottobre 1975. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1975 (14, 1977).

Di Pasquale S. *Scienza delle Costruzioni-Introduzione alla progettazione strutturale*. Milano: Tamburini editore.

1976

Di Pasquale S. *Appunti delle lezioni di Statica e Scienza delle Costruzioni per l'A.A. 1976-1977*, Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze. Firenze: Stampa Rotografica Fiorentina.

Briccoli Bati S., Di Pasquale S. Indagine sull'influenza del nodo nella definizione delle caratteristiche elastiche del continuo equivalente al mezzo reticolare. In: *Atti del III Congresso Nazionale AIMETA*, Cagliari, 13-16 ottobre 1976, II, 73-84. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1976 (6, 1977).

Di Pasquale S. Una ipotesi sulla struttura della cupola di S. Maria del Fiore. Restauro, 5(28), 3-77.

1977

Di Pasquale S. Attuali ricerche sulla Cupola di Santa Maria del Fiore. In: *Atti del Convegno su Brunelleschi,* Firenze, 1977.

Di Pasquale S., Bove A., Paradiso M. Matrix formulation and computational aspects of large deformation analysis. In: *Abstracts of the Euromech LXIX International Colloquia on Large Elastic Deformation of Discrete Systems*, Balatonszemzs, Hungary 13-15 April 1977, 20-21. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1977

Di Pasquale S., Bove A., Paradiso M. On some problems concerning large elastic deformations by means of F.E.M. In: *Abstracts of the Euromech LXIX International Colloquia on Large Elastic Deformation of Discrete Systems*, Balatonszemzs, Hungary 13-15 April 1977.

Di Pasquale S. La questione delle strutture murarie. In: *Atti del Congresso L'esperienza internazionale nella conservazione dei beni culturali nelle zone terremotate,* Udine 23-25 aprile 1977, II, 129-121.

Di Pasquale S. *Primo rapporto sulla Cupola di Santa Maria del Fiore*. Firenze: CLUSF. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1977 (1, 1977).

Di Pasquale S., Bandini P.L., Tempesta G. *Rappresentazione analitica e grafica della cupola di Santa Maria del Fiore*. Firenze: Cooperativa editrice universitaria.. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1978 (5, 1978).

Di Pasquale S. Scienza e progetto. Casabella, 423, 33-34.

1978

Di Pasquale S., Bandini P.L., Paolini L., Strigelli G. *Elaborazione dei dati concernenti il quadro fessurativo della cupola di Santa Maria del Fiore*. Firenze: Cooperativa Editrice Universitaria. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1978 (6, 1978).

Di Pasquale S. Elementi di statica delle costruzioni. Vol.1, In: Di Pasquale S. et al. *Costruzioni,* I edizione. Firenze: Le Monnier.

Di Pasquale S. La tecnica costruttiva gotica, il cantiere; Gli Ingegneri del primo Quattrocento nella tecnica costruttiva; Brunelleschi e la Cupola di S. Maria del Fiore: una rivoluzione nel panorama della tecnica costruttiva. In: Corsi e seminari di aggiornamento per insegnanti di scuole di ogni ordine e grado sul tema La personalità e l'opera di Filippo Brunelleschi nella realtà fiorentina tra il XIV e il XIV secolo, Firenze, novembre 1977-aprile 1978, 1-29.

Di Pasquale S. *La teoria degli stati di coazione per le strutture in muratura. Lezioni tenute alla Scuola di Perfezionamento in Restauro dei Monumenti dell'Università di Napoli nell'A.A. 1977-1978*.

Di Pasquale S. Strutture murarie: il metodo degli elementi finiti. Restauro, 7(35), 5-96.

Di Pasquale S. La Teoria delle strutture. In: *Struttura-Tecnologia, Enciclopedia Galileo,* 415-422. Torino: UTET.

1979

Di Pasquale S., Bove A., Briccoli Bati S., Leggeri B. Proposta per la istituzione di corsi di laurea in Conservazione dei Beni Culturali. Restauro, 42, 31-36. Anche in: *Atti del IV Incontro di Studio sull'insegnamento del Restauro dei Monumenti,* Napoli, 28-29 aprile 1978.

Di Pasquale S. Brunelleschi, la cupola, le macchine: I Parte. Informazioni ASSIRCO, II(2), V-XI.

Di Pasquale S. Brunelleschi, la cupola, le macchine: II Parte. Informazioni ASSIRCO, II(3), 84-87.

Di Pasquale S. La rappresentazione matematica dello spazio e problemi ad essa tangenti. In: *Disegno-Atti del I Convegno Nazionale dei Docenti della rappresentazione,* S. Margherita Ligure, 3-5 maggio 1979, 2, 12-19.

Di Pasquale S. Gaudì costruttore. In: *Antoni Gaudì, Catalogo critico dell'opera e della mostra* tenutasi a Firenze, Palazzo Vecchio, luglio-settembre 1979, 37- 42, Firenze: Vallecchi.

Di Pasquale S. The Dome of S. Maria del Fiore - an opportunity to state a theory of masonry structures, In: *Proceedings of The 20th World Congress IASS,* Madrid, 24-28 September 1979, 5, 8.43-8.62, Madrid 1979. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze,* 1983 (13, 1983).

Di Pasquale S. Brunelleschi, la coupole, les machines. In: *Filippo Brunelleschi 1377- 1446, Catalogo delle mostre: Brunelleschi, oeuvres et hypotheses - Chapelle de la Sorbone; Florence au temps de Brunelleschi - Ecole Nationale de Beaux Arts,* 22-30, Parigi 1979.

1980

Di Pasquale S. La Scienza delle costruzioni oggi. In: *Atti del Convegno Insegnamento delle materie scientifiche nelle Facoltà di Architettura* (a cura di G. Acidini), Napoli, 16-17 maggio 1980, 18-20, Notiziario U.M.I., VII, suppl. al n.11.

Di Pasquale S. Dall'eredità di Brunelleschi a Galileo. In: *Atti del Convegno Firenze e la Toscana dei Medici nell'Europa del* '500, Firenze 23 luglio 1979, sez. Il potere e lo spazio.

Di Pasquale S., Bove A., Briccoli Bati S., Leggeri B. Questioni marginali concernenti il rapporto Ghiberti-Brunelleschi nella costruzione della cupola di S. Maria del Fiore. In: *Atti del Convegno Ghiberti e il suo tempo,* Firenze 18-21 ottobre 1978, II, 553-560. Firenze: Leo S. Olschki Editore.

Di Pasquale S. Distorsioni fittizie per problemi di strutture a vincoli unilateri, In: *Atti del V Congresso Nazionale AIMETA,* Palermo 23-25 ottobre 1980, 2, 183-190.

Di Pasquale S. La natura come metafora. In: *Giovanni Michelucci: la pazienza delle stagioni* (a cura di S. Di Pasquale, L. Quaroni, G. Landucci), 43-63. Firenze: Vallecchi.

1981

Di Pasquale S. Il restauro delle costruzioni in muratura - Problemi metodologici e tecniche di consolidamento. In: *Atti del II Corso di Informazione ASSIRCO*, Venezia, 21-23 maggio 1980, III, 121-125, Roma 1981.

Di Pasquale S. La matematica nelle facoltà di Architettura. In: *Atti del Convegno La matematica nelle facoltà di Architettura,* Firenze, 27-28 marzo 1981, (a cura di G. Conti e M. Galeotti), 86-88, Notiziario U.M.I., VIII, suppl. al n.15.

Di Pasquale S. Applicazioni della ricerca scientifica e della tecnologia all'analisi e al consolidamento delle strutture architettoniche. In: *Atti della VI Assemblea Generale ICOMOS. Nessun futuro senza passato,* Relazione generale, 1, 405-438. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze,* 1981, 11.

Di Pasquale S. Brunelleschi, la cupola, le macchine. In: *Atti del convegno sul Restauro Strutturale*, Arcavacata di Rende, 5-6 giugno 1981, 405-438.

Di Pasquale S. Il ruolo del cemento nel restauro e le prospettive future alla luce delle esperienze acquisite. *Tavola rotonda al Convegno Il restauro dei monumenti e il ruolo del cemento-Risultati di un'indagine e prospettive future*, Lucca, 15-17 ottobre 1981.

Di Pasquale S. Gianfranco Malfatti e il problema degli appoggi. In: *Atti del Convegno Gianfranco Malfatti nella cultura del suo tempo*, Ferrara 23-24 ottobre 1981, 253-264.

Di Pasquale S. Problemi di base nel calcolo delle ossature murarie. Relazione presentata al IV Corso di Informazione ASSIRCO, Ravenna 1981.

1982

Di Pasquale S. Tipologie e tecniche di consolidamento delle strutture murarie. In: *Restauro delle Costruzioni in muratura - Problemi metodologici e tecniche di consolidamento, Atti del III Corso di Informazione ASSIRCO*, Palermo, 22-25 ottobre 1980, II, 99-103.

Di Pasquale S. Ecco come nacque quello splendido oggetto d'acciaio (Il mercato dei fiori di Pescia). Rivista Finsider, 3/1981, 30-34, 1982.

Di Pasquale S. Restauro dei monumenti e questioni sismiche. In: *Atti del Convegno di Ingegneria Sismica e Protezione Civile*, Ragusa. 7-20 ottobre 1981, 253-296. Anche in: *Atti dell'Istituto di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1981, 10.

Di Pasquale S. Architettura e terremoti. In: *Questioni di dinamica per il restauro dei monumenti*, Prefazione. Restauro, 11, 59-61, 1982, 5-34. Anche in: *Studi e documenti di architettura n. 11 - Omaggio a L. Vagnetti*, 57-83. Firenze: Alinea.

Di Pasquale S. Le Scienze meccaniche nel '700 napoletano. In: A*tti del Convegno La storia delle matematiche in Italia*, Cagliari 29 settembre-1° ottobre 1982, 115-144, Notiziario U.M.I., IX.

Di Pasquale S. Questioni di meccanica dei solidi non reagenti a trazione, In: *Atti del VI Congresso Nazionale AIMETA*, Genova 7-9 ottobre 1982, II, 251-263.

Di Pasquale S. I problemi della cupola di S. Maria del Fiore. Notiziario, V(10).

Di Pasquale S. Dissesti e consolidamenti - Architettura e terremoti. In: *Atti della Giornata di Studio Restauro edilizio nei centri storici: filosofia e tecnica,* Ascoli Piceno 19 dicembre 1982, Proposta, 22/1983, 9-20.

Di Pasquale S. Riflessioni e note sui progetti di Baldassarre Peruzzi per la formazione di un lago artificiale nel territorio di Siena. In: *Rilievi di fabbriche attribuite a Baldassarre Peruzzi* (a cura di Marisa Forlani Conti), 71-88. Anche in: *Atti del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1983, 24.

1983

Di Pasquale S. *et al*. *Lo stato dell'arte - Bibliografia ragionata sulle strutture murarie, 1. Programma di ricerca e sperimentazione sul patrimonio architettonico e artistico danneggiato dal sisma del 23/11/1980*. Salerno: Pietro Laveglia ed.

Di Pasquale S. Problemi e prospettive per le moderne tecniche di consolidamento. In: *Atti del Convegno Internazionale La salvaguardia delle città storiche in Europa e nell'Area Mediterranea*, Bologna, novembre 1983, 261-266. Bologna: Nuova Alfa Editoriale,

Di Pasquale S. Riflessioni e note marginali sul rapporto struttura-restauro. In: *I confini perduti: inventario dei centri storici-Analisi e metodo*, Catalogo della mostra tenutasi a Bologna, novembre-dicembre 1983, 133-142. Bologna: Clueb Bologna. Anche in: *Atti del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di* Firenze, 1983, 8.

Di Pasquale S. Risultati dell'indagine preliminare su Traffico e Tutela dei Monumenti, su richiesta dell'Assessorato Polizia e Traffico del Comune di Firenze. In: *Atti del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di* Firenze, 1983, 8.

Di Pasquale S. Structural Analysis of the Dome of Florence. In*:* Final Report of *the IABSE Symposium Strengthening of building structures: diagnosis and therapy*, Session 3: Mathematica and Physical Models, Venezia, 46, 161-168. Zurich: IABSE.

1984

Di Pasquale S. *et al*. *L'esperienza di Salvitelle - Indagine sperimentale su edifici in muratura. Programma di ricerca e sperimentazione sul patrimonio architettonico e artistico danneggiato dal sisma del 23/11/1980, Legge 219/81*. Salerno: Pietro Laveglia ed.

Di Pasquale S. Il ruolo del cemento nel restauro e le prospettive future. Restauro e cemento in architettura, 2, 434-437.

Di Pasquale S. *et al*. Indagine teorico-sperimentale sul comportamento di edifici in muratura. In: *Atti del II Congresso Nazionale La città difficile*, Ferrara 30 maggio-2 giugno 1984, 455-465.

Di Pasquale S. L'uso dei modelli nella costruzione di S. Maria del Fiore. In: *Atti del Seminario di Architettura 1983*, Università degli Studi di Firenze-Facoltà di Architettura, 49-98. Firenze: Centro stampa Palagi. Anche in: *Atti del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di Firenze*, 1984, 26.

Di Pasquale S. Questioni concernenti la meccanica dei mezzi non reagenti a trazione. In: *Atti del VII Congresso Nazionale AIMETA,* Trieste, 2-5 ottobre, 1984, V, 227-238.

Di Pasquale S. La Casa di Salomone. Intervento sul tema Storia della Scienza in Italia dal Medioevo all'epoca dei lumi, IV puntata. RAI-Dipartimento Scuola Educazione.

Di Pasquale S. *et al*. Sant'Angelo dei Lombardi (AV) - San Guglielmo al Goleto, Cappella di San Luca. Restauro e cemento in architettura, 2, 344-351, scheda n. 42.

Di Pasquale S. Statica dei solidi murari: teoria ed esperienze. In: *Atti del Dipartimento di Costruzioni dell'Università di Firenze,* 1984, 7.

Di Pasquale S. Sulla meccanica delle murature. Proposta, 27(4), I, 3-11.

1985

Di Pasquale S. *et al*. Il Dipartimento di Costruzioni alla Tsukuba Expo 1985. Notiziario, VIII(5), 3-5.

Di Pasquale S. *et al*. L'esperienza di Salvitelle: primo approccio per la interpretazione dei risultati. In: *Atti del Convegno Stato dell'arte in Italia sulla meccanica delle murature,* Roma ottobre 1985.

Di Pasquale S. L'uso dei modelli nella costruzione della cupola di S. Maria del Fiore. I Parte. Restauro e città, 2, 122-133.

Di Pasquale S. Riccardo Morandi ingegnere italiano. Presentazione della mostra. Firenze: Alinea.

Di Pasquale S. *et al*. Una grande tradizione di ingegneria, Tsukuba Expo '85-Sessione Italiana, 160-163. Milano: Electa.

Di Pasquale S. Architettura e terremoti da Aristotele ad Emanuele Kant. In: *Questione sismica-compiti e nuovi ambiti operativi dell'architetto, Atti del seminario di aggiornamento organizzato dall'Ordine degli Architetti di Firenze e Livorno,* Firenze marzo - aprile 1983, 283-309.

1986

Di Pasquale S. *et al*. *Architettura e terremoti: Il caso di Parma - 9 novembre 1983*. Parma: ed. Pratiche

Di Pasquale S. Filippo Brunelleschi dal mito al mistero. In: Paolo Monti fotografo di Brunelleschi - Le architetture fiorentine (a cura di F. Bonaiuti), 9-58. Casalecchio di Reno: Grafis Edizioni.

Di Pasquale S. I materiali, le strutture e l'architettura. In: *Architettura e mestieri del restauro. Materiali e modi edili storici*, 47-54. Casalecchio di Reno: Grafis Edizioni.

Di Pasquale S. L'uso dei modelli nella costruzione della cupola di S. Maria del Fiore. II Parte. Restauro e città, 3-4, 147-167..

Di Pasquale S. Lo sviluppo della città. In: *Firenze Nuova Primavera, Atti del convegno,* Firenze, 20-22 marzo 1986, Parte IV *Firenze verso il nuovo millennio,* tavola rotonda 106-132; 114-115. Firenze: EDIFIR.

Di Pasquale S. Statica delle murature, strutture di Michell e questioni di ottimizzazione strutturale. Restauro, 15, (87-88), 57-66.

Di Pasquale S. Verifica e consolidamento delle strutture murarie. Restauro, 86- 87, 57-66.

Di Pasquale S. *et al. Studio di fattibilità del museo nazionale di storia naturale nell'area ex-macelli. Rilievo ed analisi della situazione strutturale dei fabbricati.* Firenze: Dipartimento di Costruzioni.

Di Pasquale S. *et al*. Unilateral and quasi-unilateral problems in masonry structures, In: *Proceedings of the 4h meeting on Unilateral Problems in structural analysis* (F. Maceri e G. Delpiero Eds.). Milano: Springer Verlag Italy.

Di Pasquale S. Restauro e cemento. Informazioni IBC, 6, 5-8.

1987

Briccoli Bati S., Di Pasquale S., Paradiso M., Tempesta G., Tonietti U. Confronto tra esperimento e modello teorico per un problema di strutture in muratura, In: *Proceedings of the 3rd meeting on Unilateral Problems in structural Analysis*, Prescudin Valley 17-20 giugno 1985,61-79. Milano: Springer Verlag Italy.

Di Pasquale S. Il legno nell'opera dei trattatisti. Riflessioni e note marginali su due ponti di Andrea Palladio. In: *Atti del Convegno Legno nel Restauro e Restauro del Legno*, Firenze, 30 novembre-3 dicembre 1983, 2, 87-92. Milano: Palutan.

Di Pasquale S. Architettura e terremoti. In: 5th European Postgraduate Course: La protection des monuments dans les zones a risques sismiques, Ravello, 2-13 dicembre 1985, (18) III.5, 215-264.

Di Pasquale S. Archeologie mythique et pratique constructive dans le De Re Aedificatoria d'Alberti. Amphion, 1, 17-22..

Di Pasquale S. Changes in the concept of structure between the Middle Ages and the Renaissance. The Cupola of Santa Maria del Fiore. In: *Brunelleschi 1377-1446*, Sidney 29 August-20 Septmber 1987, Art Gallery of New South Wales, 11-19.

Di Pasquale S. L'uso del modello architettonico tra medioevo e tardo rinascimento. In: *Brunelleschi 1377-1446*, Sidney 29 August-20 September 1987, 10.

Di Pasquale S. Indagini concernenti la consistenza statica delle mura di Ferrara e proposte di consolidamento. Restauro e città, 3(7), 90-99.

Di Pasquale S. Leonard, Brunelleschi et les machines de chantier. In: *Leonard Ingenieur, catalogo della mostra Leonard de Vinci ingenieur et architecte*, I parte, 163-181, Torino: Industrie Grafiche Zeppegno Torino per Giunti Barbera Firenze.

Di Pasquale S. Rilievo ed analisi della situazione strutturale dei fabbricati. In: *Museo nazionale di Storia Naturale a Firenze. Ipotesi di insediamento*, 159-183. Firenze: Alinea.

1988

Di Pasquale S. Il problema della frattura nel pannello rettangolare in muratura. In: *Atti del seminario Tecnologia, scienza e storia per la conservazione del costruito*, 1987, Annali della Fondazione Callisto Pontello 1, 215-238.

Di Pasquale S. Monumenti e rischio sismico. In: *Progetto Ibla, dall'intuizione al riuso, Atti del Convegno sul significato culturale e socioeconomico del risanamento*, Ragusa 5-7 marzo1987, 67-75.

Di Pasquale S. *Appunti per il corso di Progettazione di Grandi Strutture - A.A.1987- 1988*. Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze.

Di Pasquale S., Aoki T. Finite element analysis of masonry domes In: *Proceedings of the IASS-MSU International Symposium*, Istanbul, 30 maggio-3 giugno 1988, 327-336.

Di Pasquale S. On the equilibrium of masonry domes. In: *Proceedings of the IASS-MSU International Symposium*, Istanbul, 30 maggio-3 giugno 1988, 327-336.

Di Pasquale S. Franco Jossa - Progresso tecnico e spiritualità cristiana. In: Nel cinquantenario della Facoltà di Architettura di Napoli, Franco Jossa e la sua opera, XI- XXXII. Napoli: Giannini Editore

Di Pasquale S. Problemi meccanici delle strutture murarie. In: *Atti del Convegno Problemi storici, tecnici e normativi dei centri urbani in zona sismica*, Roma 29 settembre 1987, Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica, Relazione generale, 225-230, Roma.

Di Pasquale S. Questions concerning the mechanics of masonry. In: *Stable-unstable?* (M. Lemaire and K. Van Balen Eds.), 249-264. Leuven: Un. Press.

Di Pasquale S. Sulla cinematica dei mezzi non reagenti a trazione, In: *Atti del IX Congresso Nazionale AIMETA*, Bari, 4-7 ottobre 1988, 2, 599-602.

1989

Di Pasquale S. Il ruolo della storia nel restauro strutturale monumentale. La Cupola di Brunelleschi - indagini storiche di base. In: *Restauro strutturale* (a cura di G. Sarà), 4, 164-201. Napoli: Liguori Editore.

Di Pasquale S. Tavola rotonda su Le indagini non distruttive nel recupero del patrimonio architettonico ed archeologico, Gruppo Italiano RILEM, Giornata Seminariale del 24 giugno 1988, Università di Salerno, 50-51. Salerno: Centro Stampa dell'Università di Salerno.

1990

Di Pasquale S. Ricordo di Paolo Sica. In: *Atti del Convegno Paolo Sica: immagine, cultura e storia della città, Atti IRTU 89/90: Studi sulla città e sul paesaggio*, Firenze, 11 ottobre1989. 1. Firenze: Alinea.

Di Pasquale S., Briccoli Bati S., Ranocchiai G. Comportamento di strutture in muratura sotto azioni cicliche, In: *Atti del Convegno G.N.D.T*, 1990, 3, 255-277..

Di Pasquale S. La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso emblematico di Castel d'Alfero. In: La risorsa Appennino-il patrimonio edilizio (a cura di G. Conti e P. Tamburini), 48-59.

1991

Di Pasquale S. La statica degli edifici a torre. In: *Campanili e torri - Le strumentazioni di controllo, il monitoraggio, la diagnostica, Atti della I Giornata di studio e di informazione*, Venezia, 3 giugno 1989, 27-30. Venezia: Cluva.

Di Pasquale S. *Leonardo da Vinci, Attualità e mito - Ricerca 026: GruBrunelleschiana*. In: Volume della mostra sulle Giornate della Cultura Italiana, Budapest 1 marzo-20 aprile 1991, 151. Campi Bisenzio: Arti Grafiche.

1992

Di Pasquale S. Analisi della stabilità del monumento. In: *Atti del Convegno Il Duomo di Pienza - Cinque secoli di restauri*, 6 giugno 1992, 37-44. Monteriggioni: CentrOffset.

Di Pasquale S. Aspetti generali della meccanica delle murature e della interpretazione dei dissesti. In: *Atti del Seminario dell'Ordine degli Architetti della Valle d'Aosta Il recupero del patrimonio architettonico*, Aosta, 5 maggio-2 giugno 1990, 146-150. Aosta: Tipografia Valdostana.

Di Pasquale S. New trends in the analysis of masonry structures. Meccanica, 27, 173-184.

Di Pasquale S. Storia delle scienze e delle tecniche costruttive. In: *Atti dell'Incontro nazionale Il ruolo delle riviste negli orientamenti attuali della ricerca nei campi della storia dell'architettura, del restauro, delle scienze e delle tecniche costruttive*, Roma 7-8 giugno 1991, relazione introduttiva. Palladio, 1991, 8, 101-102.

Di Pasquale S. Tracce di statica archimedea in Leon Battista Alberti. Palladio, 9, 41-68.

1993

Di Pasquale S. L'Arché trabs del foro pompeiano. In: *Atti del Convegno Internazionale Ercolano 1738-1988, 250 anni di ricerca archeologica* (a cura di L. Franchi dell'Orto), Ravello-Ercolano-Napoli-Pompei, 30 ottobre-5 novembre 1988, 201-218. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Di Pasquale S. Criteri di indagine sui problemi di consolidamento del patrimonio edilizio in zona sismica. In: *Atti dell'incontro-dibattito Il recupero edilizio in zona sismica. Indagine sui problemi di consolidamento ed adeguamento del patrimonio architettonico*. 16 maggio 1992, 3-10 e 94-95.

Di Pasquale S. Il nuovo ordinamento della facoltà di Architettura. Arnolfo, 6, III, 15-16.

Di Pasquale S., Rapallini M. Le analisi strutturali. In: *Il Duomo di Siena - documenti, studi, restauri*, 61-73.

1994

Di Pasquale S. Calcolo vettoriale e statica dei sistemi rigidi, In: *Corso di costruzioni per i programmi sperimentali*, I edizione, 1. Firenze: Le Monnier.

Di Pasquale S. Analisi delle sollecitazion In: *Corso di costruzioni per i programmi sperimentali*, I edizione, 2. Firenze: Le Monnier.

Di Pasquale S. Giovanni Poleni tra dubbi e certezze nell'analisi della Cupola Vaticana. Palladio, 14, 273-278.

Di Pasquale S. Problemi di base nella statica delle murature. In: *Argomenti di Ingegneria Antisismica, Atti del corso di aggiornamento in Ingegneria Sismica*, Augusta, marzo-maggio 1991, 577-612. Roma: Esagrafica.

Di Pasquale S. Questioni tecniche della ricostruzione. In: *Per ricostruire - Incontro di studio*, Università degli studi di Firenze, Facoltà di Architettura, 25-26 settembre 1992, 54-57. Firenze: Litografia IP.

Di Pasquale S. *Struttura e architettura*. In: *Dispense del Cavaliere Azzurro 5: Dialoghi e materiali di architettura*, Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano. Milano: Officina di Architettura.

1995

Di Pasquale S. Una testimonianza per Vincenzo Franciosi. In: *Vincenzo Franciosi e la Scienza delle Costruzioni - Giornata di Studio in memoria del prof. Vincenzo Franciosi*, Napoli 10 marzo 1993. Napoli: Giannini Editore.

Di Pasquale S. La Scienza del Costruire prima di Galilei In: *Atti del XII Congresso Nazionale AIMETA,* Napoli 3-6 ottobre 1995, 1, 241-246. Napoli: Giannini Editore, Napoli.

Di Pasquale S. La Scienza dell'Arte del Costruire. In: A*tti dell'Incontro Internazionale di Studio ICOMOS La Carta di Venezia, Trenta anni* dopo, Napoli 6-7/11/1995, I Sessione: Attualità della Conservazione dei Monumenti. Restauro, 133-134, 47-56.

Di Pasquale S. Le fratture della Cupola di Santa Maria del Fiore. In: *Alla riscoperta di Piazza del Duomo in Firenze*, 4: La Cupola di Santa Maria del Fiore, 66-88. Firenze: Centro Di.

Di Pasquale S. On the art of building before Galilei. In: Entre Mécanique et Architecture - Between Mechanics and Architecture (a cura di P. Radelet de Grave e E. Benvenuto), 102-121. Basel: Birkhauser Verlag.

Di Pasquale S. Sui manuali per il recupero. In: *Atti del II Convegno Nazionale ARCO Manutenzione e Recupero nella Città Storica*, Roma, 12-13 settembre 1995, 113-116. Roma: Gangemi Editore.

1996

Di Pasquale S. Considerazioni elementari sulla statica degli archi in muratura. In: *Atti delle Giornate di Studio sulla Meccanica delle Strutture Murarie*, Capri 7-8 maggio 1995.

Di Pasquale S. Sicurezza e conservazione. In: *Atti del Convegno Criteri, materialie tecniche per il recupero dei centri storici - Incontro del laterizio*, Napoli, 21 giugno 1996.

Di Pasquale S. *L'arte del costruire tra conoscenza e scienza*. Saggi Polis. Venezia: Marsilio Editore.

Di Pasquale S. La Scienza dell'Arte del Costruire, Restauro, 135, 5-50.

Di Pasquale S. Restauro, conservazione e la scienza dell'arte del costruire. In: *Atti del Seminario di Qualificazione per addetti alla tutela e conservazione dei Beni Culturali Lo spessore storico in architettura tra conservazione, restauro, distruzione*, Milano 20-21 ottobre 1995.

Di Pasquale S. Fondamenti di meccanica delle murature. In: *Il Progetto di Restauro e i suoi Strumenti*, sezione *La concezione strutturale del restauro*, II Corso di Perfezionamento in restauro architettonico, IUAV, 239-247.

Di Pasquale S. *Questioni concernenti la Statica dei Materiali Unilateri - Appunti dalle lezioni per gli allievi del dottorato di ricerca in Storia delle scienze e delle tecniche costruttive, 1991-1995.*

Di Pasquale S. Recent researches on masonry construction and critical discussion of examples of rehabilitation. In: Protection of the Architectural Heritage against Earthquakes (V. Petrini and M. Save Eds.), CISM Courses and Lectures no. 359, 201-259. Berlin: Springer Verlag.

1997

Di Pasquale S. La cupola, le fratture, le polemiche. In: *Atti del Convegno Internazionale di Studi L'Architettura della Basilica di S. Pietro: storia e costruzione*, Roma 7-10 novembre 1995, Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura, 381-388, Roma: Bonsignori.

Di Pasquale S. *L'Arte del Costruire. Tra conoscenza e scienza*. Casalecchio di Reno: Grafis Industrie Grafiche.

Di Pasquale S. Materiali da costruzione e tecniche costruttive con riferimento allemurature e alle tipologie strutturali. In: *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica, II Seminario Nazionale di Studio*, Roma 9-10 aprile 1997, 115-120. Roma: Gangemi Editore.

Di Pasquale S. L'Arte del Costruire.Area, 31, marzo-aprile, 4-7.

Di Pasquale S. Computers e Unificazione delle Teorie Strutturali. In: *Atti del Convegno La Matematica per l'Architettura*, Firenze, 16-17 mggio 1997, 53-64. Firenze: Alinea Editrice.

Di Pasquale S. La Scienza dell'Arte del Costruire. Restauro, 138, 79-82.

Di Pasquale S. Le distorsioni di Somigliana. Restauro, 139, 5-42, 1997.

Di Pasquale S. The cupola of Santa Maria del Fiore. In: *Résumé des interventions du Colloque Les structures dans les bâtiments patrimoniaux européens*, Mons, 16-18 ottobre 1997.

Di Pasquale S. The cupola of Santa Maria del Fiore; Brunelleschi, la coupole, les machines. In: *Résumé des interventions du Colloque Les structures dans les bâtiments patrimoniaux européens*, Mons, 16-18 ottobre 1997.

Di Pasquale S. Sul ruolo delle discipline strutturali nel nuovo ordinamento degli studi delle facoltà di architettura. ARCHINT-Architettura Intersezioni, 5, 1997, 24-29.

Di Pasquale S. La scienza dell'arte del costruire (a cura di T. Mannoni) Archeologia dell'Architettura, II, suppl. a Archeologia Medievale XXIII.

1998

Di Pasquale S. Luca Pacioli, Vitruvio e L.B. Alberti. In: *Atti del Convegno Internazionale Luca Pacioli e la matematica del Rinascimento*, Sansepolcro, 13-16 aprile 1994, 209-218. Città di Castello: Petruzzi.

Di Pasquale S. L'Arte del Costruire. In: *Atti del I Campus post-universitario in diagnosi e terapia dei dissesti* statici (a cura di G. Tosti), Saluzzo, 1-31 ottobre 1997, 177-183. Torino: Celid.

Di Pasquale S. *et. al*. Materiali da costruzione e tecniche costruttive con riferimento alle murature e alle tipologie strutturali. In: *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica, II Seminario Nazionale di Studio*, Roma, 9-10 aprile 1997, 115-121. Roma: Gangemi Editore.

Di Pasquale S. *et. al*. Materiale da costruzione e tecniche costruttive proprie del patrimonio storico della Toscana con particolare riguardo al mattone nei suoi diversi impieghi (mattone crudo, mattone cotto). In: *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica, II Seminario Nazionale di Studio*, Roma, 9-10 aprile 1997, 701-722. Roma: Gangemi Editore.

Di Pasquale S. Pukotine kupole katedrale Santa Maria del Fiore u Firenzi (Le fratture della cupola di Santa Maria del Fiore). Arhitektura, 1, 213, 155-160 (in croato) e 161-165 (in italiano).

Di Pasquale S. La costruzione: tecniche e materiali. In: *Preprint degli Atti del Convegno Internazionale di Studi Progettare l'architettura*, Roma 25-27 maggio 1998, relazione introduttiva alla quarta sessione. Napoli: DigitalColorpress S.r.l.

Di Pasquale S. Teoria delle proporzioni come Scienza del Costruire. In: *Nexus 2: Architecture and Mathematics. Proceedings of the 2nd International Interdisciplinary Conference Nexus'98: Relationships between Architecture and Mathematics* (a cura di K. Williams), Mantova, 6-9 giugno 1998, 113-125. Firenze: Edizioni dell'Erba.

Aoki T., Miyamura A., Di Pasquale S. Failure analysis of masonry arches In: *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Structures Technology*, Edinburgh, August 18-20, 213-219.

Di Pasquale S. Sull'uso del cuneo nelle antiche costruzioni in muratura. Archeologia dell'Architettura, III, 1998, suppl. a Archeologia Medievale, XXIV, 9-14.

Di Pasquale S. Masonry arches: Volterra's and Somigliana's dislocations. In: Proceedings of the Second International Arch Bridge Conference, Venezia, 6- 9 ottobre 1998.

Di Pasquale S. Architettura, Computer, Teorie Strutturali. Vecchi problemi e nuovi strumenti. In: *Atti del convegno L'architetto in Europa. La Formazione Universitaria e i nuovi orizzonti della Professione*, Napoli 23-25 ottobre 1998, 8-15.

1999

Di Pasquale S. Le radici storiche della leggerezza. In: *Architettura e leggerezza. Il significato del peso nella costruzione* (a cura di A. Capasso), Strumenti Ambiente Territorio - Edilizia Urbanistica n. 13, 40-45. Rimini: Maggioli Editore.

Di Pasquale S. Leonardo, Brunelleschi and the Machinery of the Construction Site. In: *Proceedings of Max-Planck Institut fur Wissenschaftsgeschichte Workshop in Florence Structure of Planning and Organisation of Knowledge in the Construction of the Florentine Cupola,* March 15-18 1999. Berlin: MPIWG.

Di Pasquale S. Sull'uso del cuneo nelle antiche costruzioni in muratura. Ripristino architettonico- Restauro o restaurazione?, 27-37.

Di Pasquale S. Sergio Musmeci e i problemi di ottimizzazione strutturale. In: *Sergio Musmeci. Forma e struttura, numero monografico del Bollettino degli*Ingegneri, XLV(4), 10-12.

Di Pasquale S. Le murature tra Arte del Costruire e Scienza delle Costruzioni. In: *Manutenzione e Recupero nella città storica. Conservazione e sicurezza, Atti del III Convegno Nazionale*, Roma 7-8 maggio 1999, 83-94.

Di Pasquale S. L'Arte del Costruire. In: *Manuale per la riabilitazione e la ricostruzione postsismica, Regione dell'Umbria*, 547-587. Roma: DEI.

Di Pasquale S. Ancora sull'insegnamento delle discipline scientifiche nelle Facoltà di Architettura. In: Atti dell'Incontro Matematica ed Architettura, Napoli 13-14 maggio 1999.

Di Pasquale S. Antiche formulazioni teoriche e nuovi strumenti di indagine. In: Il progetto di Architettura (a cura di P. Portoghesi e R. Scarano), sezione *La costruzione: Tecniche e materiali*, 579-590. Roma: Newton & Compton.

Di Pasquale S. Statica delle murature: questioni aperte. Restauro, 150.

Di Pasquale S. Sulla costruibilità della volta cilindrica del salone superiore. In: *La Scuola Grande della Misericordia di Venezia. Storia e progetto*. Milano: Skira.

2000

Di Pasquale S. Leon Battista Alberti. In: *DANTEUM* (a cura di G.C.Leoncilli Massi), 47-54. Firenze: Pontecorboli Editore.

Di Pasquale S. Nota letta per la commemorazione di Edoardo Benvenuto alle giornate di studio tenute a Genova alla fine di novembre. Basilea: Birkhauser Verlag.

Di Pasquale S. Antichi metodi di consolidamento e nuove tecnologie. In: *Atti della IV Conferenza Internazionale sulla Conservazione e il Restauro Il rischio naturale e la tutela dei beni* (a cura di E. D'Angelo), Firenze 25-27 novembre 1998.

Di Pasquale S. Ricordo di Lucetta Zorgno. In: *Anna Maria Zorgno: Sei scritti di tecnologia dell'architettura*. Torino: Celid.

Di Pasquale S. In tema di consolidamento strutturale. In: *Atti del Convegno di Studi Catastrofi naturali e beni culturali. Strategie di riabilitazione e prevenzione*. Firenze 3- 4/11/2000.

Di Pasquale S. Composizione, costruzione, storia nella sintesi del progetto. *Presentato al Convegno Internazionale alla memoria di Romeo Ballardini*, Venezia, 4-5 novembre 1999.

Di Pasquale S. Sull'uso del cuneo nelle costruzioni in muratura. Restauro architettonico Cultura e metodi, 99-116.

Di Pasquale S. Identità nella qualità-Italian Embassy in Washington. L'Araca, 154,14-23. Anche in: *Architectural Record: Piero Sartogo-The Italian Chancery-Washington D.C.*

2001

Di Pasquale S. La coupole de l'église Sainte-Marie-de-la-fleur à Florence. In: *Encyclopedie des Métiers-La maçonnerie et la taille de pierre*, Tome 7(1) *Les voûtes et les planchers*, 38-39. Paris: Le Compagnons du devoir.

Di Pasquale S. Galilei, der Knochen des Riesen und der falsche Ariost. In: *Der ungebändigte Galilei, Beiträge zu einem Symposion* (M. Segre and E. Knobloch eds.), Sudhoffs Archiv Beihefte, 49-58. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.

Di Pasquale S., Briccoli Bati S. La teoria dell'ellisse di elasticità: apoteosi e fine della statica grafica. In: *Atti del Convegno Matematica e Architettura-Metodi analitici,metodi geometrici e rappresentazione in Architettura*, Firenze 13-15 gennaio 2000, 103-112. Firenze: Alinea.

Di Pasquale S. Composizione, costruzione, storia nella sintesi del progetto, (già presentato al

Torricelli M.C. A colloquio con Salvatore Di Pasquale. Intervista pubblicata su Costruire in laterizio, 82, Luglio/Agosto 2001, 36-40.

Di Pasquale S. *Brunelleschi. La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore.* Venezia: Marsilio.

Di Pasquale S. Le Dôme de Florence. In: *Mésure & Grand Chantiers - 4000 ans d'Histoire* (J. Sakarovitch Ed.), 54-57. Paris: Editions Publi-Topex.

2003

Di Pasquale S. Feletti I. Proposte per gli Anfiteatri di Pozzuoli e S.M. Capua Vetere. In: *Atti del III Convegno Nazionale ARCO*, Roma, Roma: Gangemi Editore.

2004

Di Pasquale S. L'estetica come filosofia della natura, la costruzione dell'architettura moderna e le nuove invenzioni strutturali. In: *Europa. Civiltà del costruire. Dodici lezioni di cultura tecnologica dell'architettura* (a cura di G. Morabito), 177-198. Roma: Gangemi Editore.

Di Pasquale S. L'evoluzione del rapporto tra costruzione e struttura sino a Viollet Le Duc. Il ruolo elle nuove tecnologie e dei nuovi strumenti teorici. In: A*nnali del Barocco in Sicilia. Il restauro del Barocco nella città storica*, 7, 9-11. Roma: Gangemi Editore.

2008

Di Pasquale S. *Le Corbusier. L'estetica come filosofia della natura, la costruzione dell'architettura moderna e le nuove invenzioni strutturali*. Siracusa: Lombardi.

Mario Como

Salvatore Di Pasquale e la cupola del Brunelleschi

Salvatore Di Pasquale and the Brunelleschi Dome

Sommario
Ricordare Salvatore Di Pasquale a venti anni dalla sua scomparsa non può che far ricordare i suoi studi ostinati ed appassionati sulla statica delle strutture in muratura e, in particolare, sulla cupola del Brunelleschi, tema che lo affascinò costantemente per tutta la sua vita. Ricorderò pertanto le sue scoperte sui più importanti artifici costruttivi ideati da Brunelleschi per costruire la cupola per comprendere come questi si potessero tutti ricondurre a un unico principio costruttivo: quello di realizzare una cupola di rotazione, malgrado fosse costruita con otto vele cilindriche su tamburo ottagonale.

Abstract
Remembering Salvatore Di Pasquale twenty years after his death can only bring to mind his obstinate and passionate studies on the statics of masonry structures and on Brunelleschi's dome, a subject that fascinated him throughout his entire life. I will therefore remember his discoveries on the most important construction devices devised by Brunelleschi to build the dome, understanding how these could all be traced back to a single construction principle: that of creating a rotating dome, despite being built with eight cylindrical rib vaults on the octagonal drum.

Introduzione
Salvatore di Pasquale era appassionalo delle architetture del passato. Queste opere erano state costruite in muratura, un materiale il cui comportamento è del tutto diverso dal quello del modello linearmente elastico, assunto come base in tutti i corsi di Scienza delle costruzioni: per la loro analisi si sarebbe dovuta infatti escludere la resistenza a trazione, quasi nulla nelle murature storiche. Gli studi di Di Pasquale (1984) si erano quindi indirizzati a formalizzare il comportamento a compressione del solido elastico non resistente a trazione, non in linea col nuovo modello di materiale murario di Heyman, rigido a compressione e non resistente a trazione,

che, in connessione con la teoria della plasticità, si andava sviluppando in quegli stessi tempi (Heyman, 1966; 1995). Il modello di Di Pasquale (1984), più elegante e vicino alla tradizione degli "elasticisti" italiani, era però molto più complicato e non ebbe gli sviluppi dell'altro.

Ricordo la gioia di Salvatore quando si trasferì, come professore di Scienza delle Costruzioni presso la facoltà di Architettura di Firenze, sita nel piazzale Brunelleschi, vicino al Portico degli Innocenti. La grande cupola del Brunelleschi divenne il suo costante tema di riflessione e ricerca; Di Pasquale si dedicò infatti quasi completamente allo studio della sua struttura e del suo processo costruttivo, sviluppando una lunga e ostinata indagine (Di Pasquale, 1977) durata venticinque anni, dal 1977 al 2002, i cui risultati sono contenuti nel suo volume, in Figura 1 (Di Pasquale, 2002). Per mettere in luce quanto egli abbia contribuito alla comprensione delle caratteristiche costruttive del monumento e alla individuazione della sua effettiva struttura resistente, occorre premettere qualche notizia sulla geometria e sulla costruzione del monumento, a partire dal bando del 1418 dell'Opera del Duomo per la costruzione della cupola (King, 2001) che richiedeva il progetto per realizzare, sull'esistente tamburo ottagonale, una grande cupola del diametro esterno di circa 54 m e che si sarebbe dovuta elevare fino all'altezza di circa 116 m. Alla fine, a vincere fu lo straordinario progetto di Brunelleschi che prevedeva di costruire la cupola senza l'uso di centinature fisse.

Fig. 1 - La copertina del libro sulla cupola del Brunelleschi (Di Pasquale, 2002).

Geometria e struttura della cupola

All'esterno, la cupola si adegua alla geometria ottagonale del sottostante tamburo e risulta quindi formata dall'unione di otto vele che nascono da ciascuno dei lati del tamburo ottagonale, in Figura 2, e concorrono tutte verso l'alto, in contatto lungo gli spigoli. Tra due spigoli adiacenti, o "speroni d'angolo", si sviluppa quindi ognuna delle otto vele. Ogni sezione orizzontale è una corona ottagonale.

La cupola, con diametro esterno di 54 m e interno di 45,5 m, è composta da due calotte, una esterna e una interna, rese tra loro solidali da complessive trentadue nervature meridiane e da ottanta semiarchi orizzontali posti tra i costoloni di spigolo e quelli mediani, dieci per ogni vela. In ogni vela vi sono due costoloni d'angolo e due costoloni interni, gli "speroni mediani", in Figura 2.

Le vele, per seguire la geometria del tamburo, sono superfici cilindriche ad asse verticale e si intersecano negli otto spigoli, a due a due contenuti in quattro distinti piani verticali. Ogni costolone ha la sagoma di un arco di cerchio con raggio uguale ai 4/5 della distanza tra gli spigoli interni del tamburo ottagonale e si sviluppa per un'angolatura al centro pari a circa 60°, come mostrato in Figura 3.

Nell'intercapedine tra i due gusci, in Figura 4, si svolge il percorso di salita alla lanterna. Facendo riferimento alla sezione mediana tra due spigoli, la calotta esterna ha spessore variabile tra 0,60 m alla base e circa 0,40 m in sommità, mentre lo spessore della calotta interna varia da circa 2,10 m alla base a circa 1,60 m in sommità. L'intercapedine tra la vela interna e quella esterna ha uno spessore di circa 1,50 m, per cui, all'imposta, la cupola ha uno spessore complessivo di circa 4,20, pari a quello del tamburo. In figura si distinguono, tratteggiate, le sezioni di dieci semiarchi di irrigidimento posti tra speroni mediani e di angolo.

Fig. 2 - La cupola: la struttura (Di Pasquale, 2002).

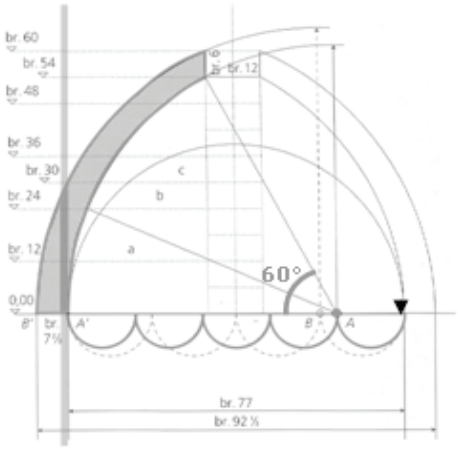


Fig. 3 - L'arco di spigolo (Ippolito e Peroni, 1997).

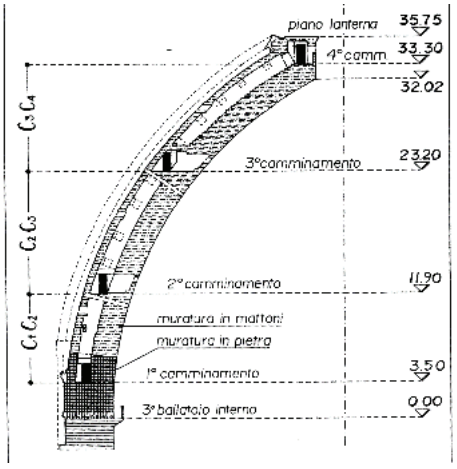


Fig. 4 - Il costolone d'angolo: struttura (Ippolito e Peroni, 1997).

Il tamburo

Il tamburo, di pianta ottagonale, simile a una corona, ha una fascia superiore, dell'altezza di 13 m, e una fascia inferiore, dell'altezza di 11 m a contorno mistilineo, di cui quattro lati si innestano con continuità sui quattro pilastri di sostegno della cupola e gli altri quattro sono archi a sesto acuto posti tra i pilastri, come in Fig. 5.

Le misure di cui alla Figura 5 sono le seguenti (Como 2010; 2016):

– lunghezza del lato dell'ottagono esterno:

$$L = 2 \cdot \mathrm{OH} \cdot \sin 22{,}5° = 2 \cdot 27{,}01 \cdot 0{,}3827 = 20{,}67 \text{ m}$$

– lunghezza del lato dell'ottagono interno:

$$L_i = 2 \cdot \mathrm{OZ} \cdot \sin 22{,}5° = 2 \cdot 22{,}48 \cdot 0{,}3827 = 17{,}21 \text{ m}$$

– spessore s_{cc} della corona circolare inscritta nell'ottagono:

$$s_{cc} = R_{teso} - R_{ico} = 24{,}95 - 22{,}48 = 2{,}47 \text{ m}$$

– spessore del tamburo:

$$s_d = \mathrm{KW} = s_{dc} \cdot \cos 22{,}5° = 4{,}18 \text{ m}$$

che eguaglia lo spessore della sezione di base della cupola al punto centrale del lato del tamburo:

$$s_{dtamb} = \mathrm{KW} = \mathrm{ZH} \cdot \cos 22{,}5° = 4.53 \cdot \cos 22{,}5° = 4{,}18 \text{ m}$$

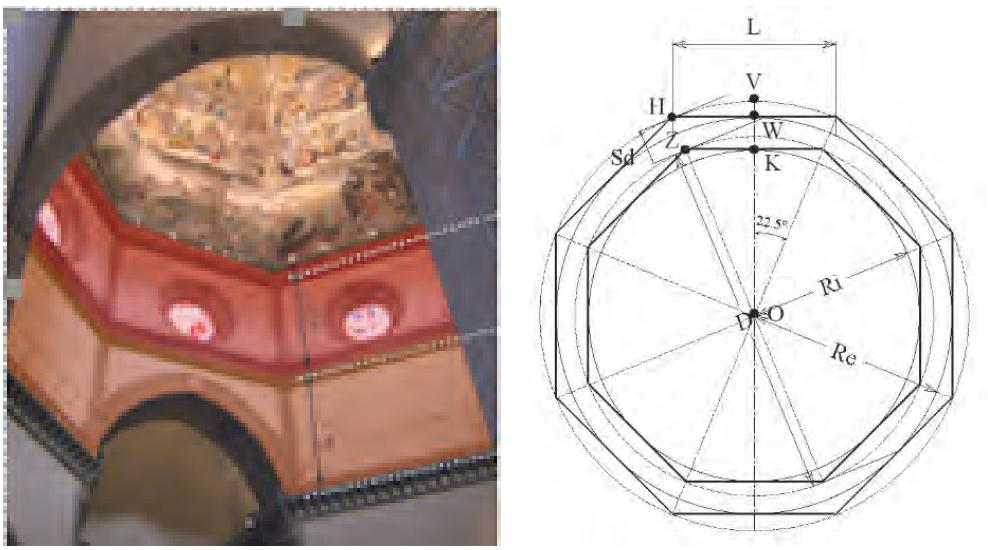


Fig. 5 - Il tamburo: vista (Scarano, 2007–2008)*, a sinistra, e pianta* (Como, 2010)*, a destra.*

Artifici costruttivi. L'enigma di Brunelleschi e le scoperte di Di Pasquale

È probabile che Brunelleschi, nel suo progetto di costruzione della cupola, si sia ispirato al Pantheon in Roma, dove trascorse un lungo periodo prima del bando di concorso del 1418. Il Pantheon, con l'ampio foro centrale, gli dimostrava che l'assetto di equilibro del Pantheon poteva essere quello che si sarebbe determinato in ogni fase della erigenda cupola del Duomo di Firenze, se costruita aperta, giro dopo giro, fino alla sua chiusura al completamento.

In realtà, Filippo Brunelleschi non aveva lasciato nessuna spiegazione delle sue incredibili scelte sulla complessa articolazione geometrica adottata, e ciò per molti secoli ha indotto alla formulazione di tante ipotesi sui cosiddetti segreti della cupola. In occasione del sesto centenario della nascita di Brunelleschi, nel 1977, con l'intensificarsi a Firenze degli studi sulla cupola e sui suoi quadri fessurativi, si cominciarono a delineare molte delle tecniche da lui utilizzate per la costruzione del monumento. Salvatore Di Pasquale fu il primo a individuare i più importanti artifici costruttivi ideati dall'Architetto e a comprendere come questi si potessero tutti ricondurre a un unico principio costruttivo: quello di realizzare, malgrado le apparenze, una cupola di rotazione.

La costruzione della cupola in continuità all'interno delle sezioni ottagonali

La stretta connessione, in ogni vela, tra cupola interna ed esterna consente di considerare all'interno delle otto vele un'unica cupola di rotazione di spessore costante e pari a quello della corona circolare iscritta nel tamburo di base con raggio medio R_m = 24,7 m. Lo spessore di questa corona circolare, come visto, risulta pari a 2,47 m, esattamente uguale a $R_m/10$, nel rispetto delle regole proporzionali medioevali (Como *et al.*, 2019). La scelta di realizzare una cupola di rotazione, inscritta nelle sezioni orizzontali ottagonali, costituisce la prima importante scelta progettuale di Brunelleschi, in linea con la dottrina architettonica di Leon Battista Alberti (1452).

La corda blanda scoperta da Di Pasquale

Nella fotografia di Figura 6, che risale al 1977, e che ho ripreso da una pubblicazione di Carlo Blasi (2021) da lui gentilmente fornitami, si vede una parte della vela della cupola a rivestimento rimosso, che ha consentito a Salvatore Di Pasquale di individuare la singolare disposizione dei mattoni "in piatto", per fasce circolari su letti conici, e di quelli verticali, disposti a spina pesce.

La disposizione dei filari dei mattoni in piatto, tutti in giro intorno alla cupola, costituisce il secondo artificio costruttivo di

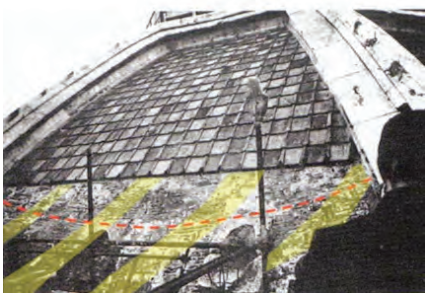


Fig. 6 - La cupola: parte di vela a rivestimento rimosso. Di spalle Di Pasquale (Blasi, 2021).

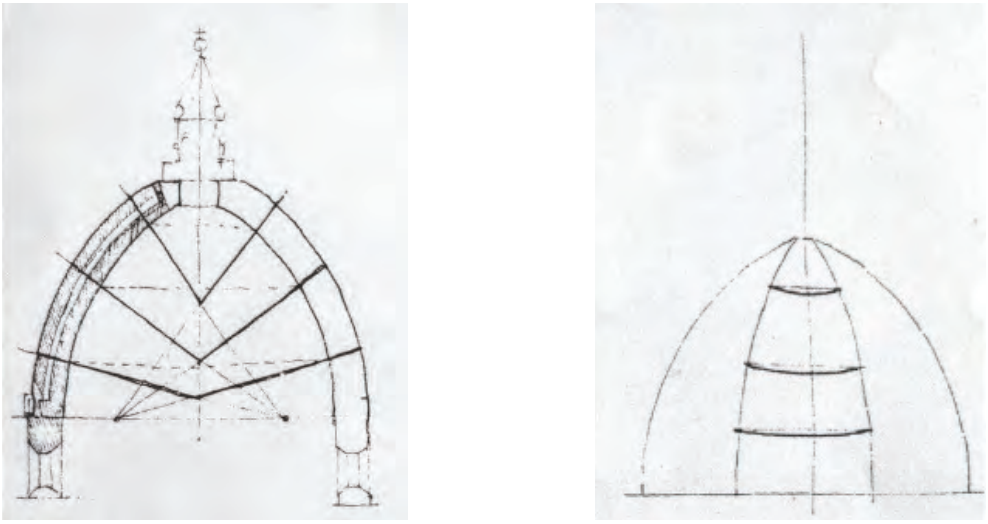


Fig. 7 - La cupola: i letti conici, a sinistra, e le corde blande, a destra. Disegno di Di Pasquale (2002).

Brunelleschi. Questi, invece di seguire le generatrici rettilinee orizzontali delle otto vele, sono infatti disposti con continuità su letti conici all'interno della cornice ottagonale lungo curve continue, circolari nella loro proiezione sui piani orizzontali. Agli spigoli esterni della cupola la sezione conica raggiunge le vele in una posizione più alta rispetto alla sua intersezione con la fascia della cupola posta al centro dei lati dell'ottagono. Pertanto i filari dei mattoni in piatto, se visti dall'esterno, presentano una cuspide agli angoli e prendono la forma leggermente incurvata verso il basso, detta a "corda blanda". Ciò dipende dal fatto che la giacitura dei mattoni in piatto è sempre disposta sulla superficie di un cono rovescio, il cui asse coincide con l'asse della cupola. Il vertice del cono si sposta verso l'alto man mano che la costruzione procede.

La Figura 7 riporta due schizzi di Salvatore Di Pasquale eseguiti dopo la scoperta della corda blanda. Di Pasquale comprese che Brunelleschi, usando l'artifizio della corda blanda, decise di costruire, al di sopra di un tamburo ottagonale, una cupola a struttura interna di rotazione, a comportamento statico molto più regolare di quello della cupola segmentata ottagonale.

La spina pesce

Lo studio della evoluzione della variazione dell'assetto statico della cupola durante la costruzione contribuì a determinare la scelta del terzo grande artificio costruttivo di Brunelleschi. Fin quando l'altezza del costruito, giro dopo giro, è sufficientemente contenuta, il tratto dello spicchio di vela, considerata un unicum tra quella interna e quella esterna, per tutti i suoi irrigidimenti, è autoportante. Ciò sta a significare che alla base

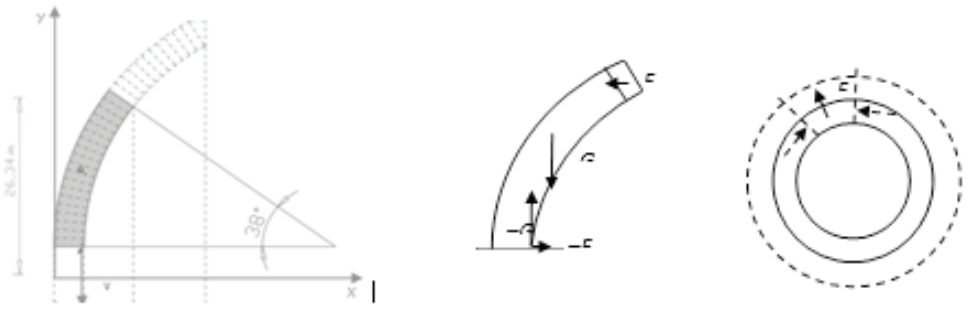


Fig. 8 - La vela in costruzione col ribaltamento contrastato dall'anello.

la forza peso corrispondente cade all'interno dell'impronta della base dello spicchio di vela. Via via che la costruzione procede, tale risultante diverrà sempre più eccentrica, fin quando raggiungerà il bordo interno della sezione di base; la Figura 8 illustra il verificarsi di tale condizione critica. Al di sopra dell'altezza critica, cioè al crescere ulteriore dell'altezza del tratto costruito di vela, ognuna di queste vele tende a ribaltarsi all'interno. Di conseguenza gli anelli, e particolarmente quelli superiori dei segmenti costruiti di vela, vanno in compressione. La fatale variabilità, da spicchio a spicchio, delle loro condizioni di equilibrio avrebbe determinato elevate interazioni tensionali sulla zona del parallelo su cui andavano a convergere gli spicchi in fase di costruzione.

L'artifizio della spina pesce consistette nel disporre sempre dallo stesso lato, man mano che procedeva la costruzione, mattoni lunghi disposti di taglio in verticale e ad assi convergenti. Questi, per la loro lunghezza, si connettono compenetrandosi con le due file sottostanti circolari di mattoni a corda blanda lungo l'anello. La compenetrazione dei mattoni lunghi con quelli piatti sul letto conico del livello circolare inferiore rende continua la costruzione della muratura della cupola. in modo da determinare una continuità strutturale tra i vari cerchi sovrapposti. Si realizzano in tal modo anelli in grado di assorbire compressione e sostenere, al ribaltamento, i segmenti di spicchi meridiani durante la costruzione.

Disponendo i mattoni lunghi, sfalsati e sempre dallo stesso lato, si realizzano delle eliche di mattoni lungo la verticale, continue agli spigoli tra una vela e l'altra, che emergono all'esterno, come evidenziato nella Figura 9. Le eliche sono continue agli spigoli e finiscono per incontrarsi in alto nel "serraglio". Sempre in Figura 9 è mostrata la continuità dei mattoni radiali realizzata al livello dello spigolo. Tutti questi tre artifici costruttivi sono stati scoperti da Di Pasquale.

La tecnica costruttiva della spina pesce, dopo l'invenzione brunelleschiana, venne applicata sistematicamente e perfezionata in Toscana e nel Lazio nei due secoli successivi, in particolare da Antonio da Sangallo il Giovane, e gelosamente conservata (Pizzigoni *et al.*, 2020). Di tale tecnica nel tempo si perse però la memoria.

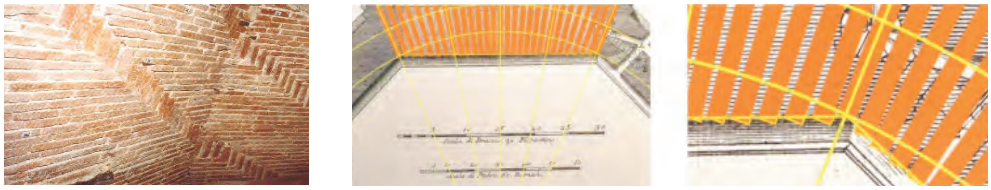


Fig. 9 - La spina pesce, a sinistra, e la continuità dei mattoni radiali allo spigolo, a destra (Blasi, 2021).

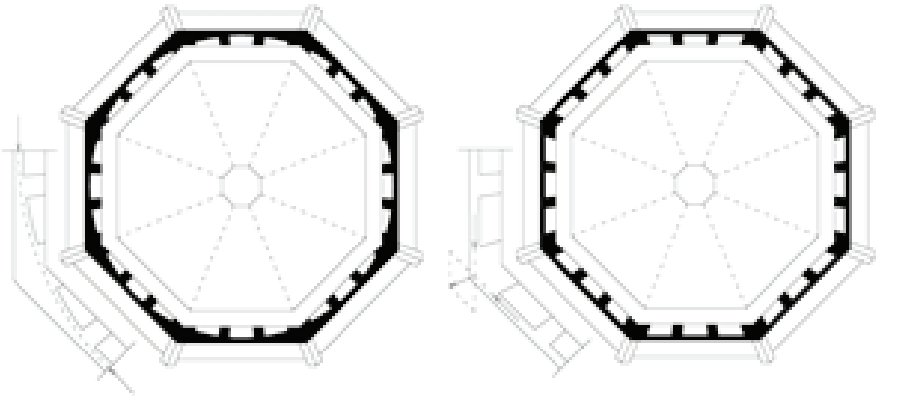


Fig. 10 - Sezione orizzontale della cupola esterna insieme agli archi orizzontali che collegano gli speroni d'angolo e quelli mediani adiacenti, a sinistra, e sezione orizzontale senza i suddetti archi orizzontali, a destra (Como, 2012).

Auguste Choisy (1899) e successivamente Mainstone (1977) avevano notato le giaciture coniche dei mattoni. A Di Pasquale (2002) spetta il merito di averne compreso il significato costruttivo nella visione unitaria dell'idea progettuale di Brunelleschi.

Gli archi orizzontali interni

Il quarto artificio costruttivo di Brunelleschi riguarda la costruzione dei semi-archi orizzontali in connessione tra gli speroni d'angolo e i due speroni mediani tra essi interni, per realizzare l'anello circolare continuo lungo i dieci livelli come illustrato nelle Figure 2 e 10. Tale intervento, inizialmente non programmato, venne realizzato da Brunelleschi in corso d'opera. Di Pasquale (2002), pur non mettendo specificatamente in evidenza il ruolo dei semiarchi, stabilì l'importanza del completamento di ogni anello durante la costruzione della cupola. Mainstone (1977) puntualizzò, per la prima volta, l'utilità della costruzione degli anelli anulari e Como (2012) dimostrò l'utilità statica della costruzione dei semiarchi per la sicurezza della sottile cupola esterna.

Il centro di mezzo

I lati dell'ottagono hanno lunghezza superiore a 20 m e notevoli sarebbero state le difficoltà esecutive per costruire la muratura seguendo uniformemente il profilo del quarto del quinto acuto. Blasi (2021) espone la tecnica costruttiva ideata da Brunelleschi: si posizionavano guide rampanti sugli otto spigoli, con profilo ad arco di cerchio, di raggio pari al quarto del quinto acuto; gli archi dovevano servire da guida per la costruzione uniforme dei tratti di muratura lungo il perimetro e le guide venivano ancorate alla muratura mediante staffe, ancora oggi esistenti.

Man mano che si costruiva la cupola, il gruppo delle otto centine mobili doveva essere spostato più in alto e ogni volta le centine dovevano avere una inclinazione maggiore rispetto a quella del gruppo precedente per seguire lo sviluppo della circonferenza meridiana. Veniva pertanto disposta una stella di fili orizzontali che partivano dalla base delle guide e si incontravano al centro e si controllava, con filo a piombo, che la proiezione dell'estremità superiore di ognuna delle centine mobili sulla stella orizzontale di fili avesse dal centro la stessa distanza orizzontale prestabilita dalla sua base. Questa tecnica è illustrata in Figura 11.

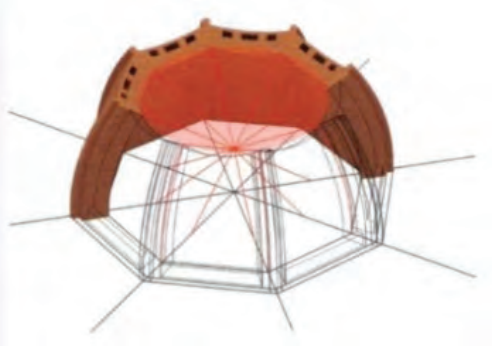


Fig. 11 - Sistema per il controllo del posizionamento delle centine mobili (Blasi, 2021).

Il quadro fessurativo. Il chiarimento dell'enigma.

Notizie documentate dei primi quadri fessurativi rilevati nella cupola risalgono al 1639 (Blasi e Gusella, 1991, Ottoni *et al*., 2010) Una serie di fratture, ad andamento meridiano, comparve all'intradosso della cupola interna. In Figura 12 sono riportati il disegno di una lesione nella cupola rilevata da G. Nelli del 1690, che si propagava dall'occhio centrale fino al tamburo seguendo l'orditura seghettata a spinapesce dei mattoni, e uno schizzo di Viviani raffigurante le lesioni che attraversavano anche il tamburo sottostante la cupola.

Come si evince dal rilievo di Blasi e Ceccotti (1984) e in quelli di Ottoni *et al*. (2010) e Ottoni (2012), vi sono due grosse lesioni che attraversano la calotta interna in corrispondenza della vela di nord-est e di quella di sud-est, la cui apertura massima è dell'ordine di 5÷6 cm. Non sono certamente meno importanti le lesioni presenti nelle vele di nord-ovest e di sud-ovest con apertura massima dell'ordine di 2÷3 cm. Le lesioni meridiane, presenti solo su quattro delle otto vele, tagliano la continuità degli anelli orizzontali e quindi escludono la presenza di sollecitazioni di trazione agenti orizzontalmente in quasi tutta la cupola. Le vele non fessurate sono tutte quel-

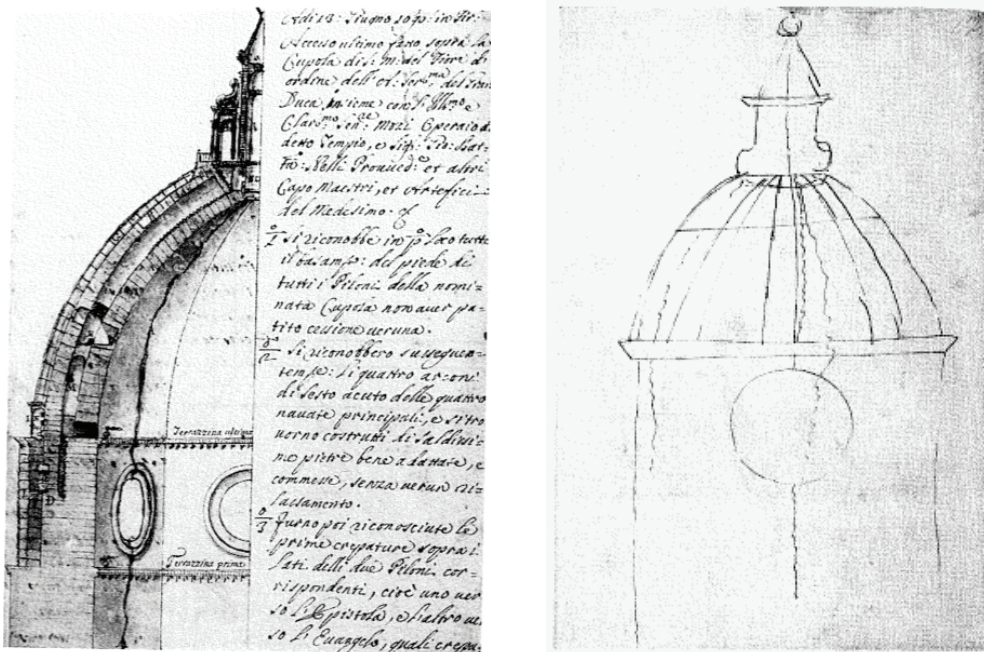


Fig. 12 - Le lesioni rilevate da Nelli. a sinistra, e lo schizzo di Viviani, a destra (Ottoni, 2012).

le che poggiano sui grandi arconi presenti all'intradosso di quattro degli otto lati del tamburo ottagonale, interessate dalle compressioni che si producono nelle loro fasce centrali a causa dell'arco che si mobilita in esse in continuità, in modo che il flusso delle tensioni possa scavalcare gli occhi del tamburo e trasferire il carico della vela sulle fasce laterali del tamburo. In Figura 13 sono riportati il rilievo effettuato da Blasi e Ceccotti (1984) e il disegno della tipica fessurazione meridiana di una cupola. Il quadro fessurativo rilevato è quello tipico delle cupole in muratura di rivoluzione, caratterizzato dalla presenza di lunghe lesioni meridiane che si formano quando nella cupola di rotazione, col prodursi della fessurazione negli anelli tesi di base, scompare lo stato di sollecitazione di trazione. Al contrario, il quadro fessurativo tipico di una vera cupola segmentata a padiglione è caratterizzato dallo sviluppo di lesioni verticali e orizzontali di strappo lungo gli spigoli.

Nessuna lesione è stata invece rilevata lungo gli spigoli della cupola di Brunelleschi, a differenza di quelle già presenti allora, ai tempi del Bando, nella adiacente cupola del Battistero di San Giovanni. (Blasi, 2021). Si deve pertanto presumere che Brunelleschi giustamente temesse che se la grande cupola del Duomo fosse stata costruita seguendo direttamente la geometria del tamburo, e quindi disponendo i mattoni lungo generatrici rettilinee, come quella del Battistero, si sarebbero verificati

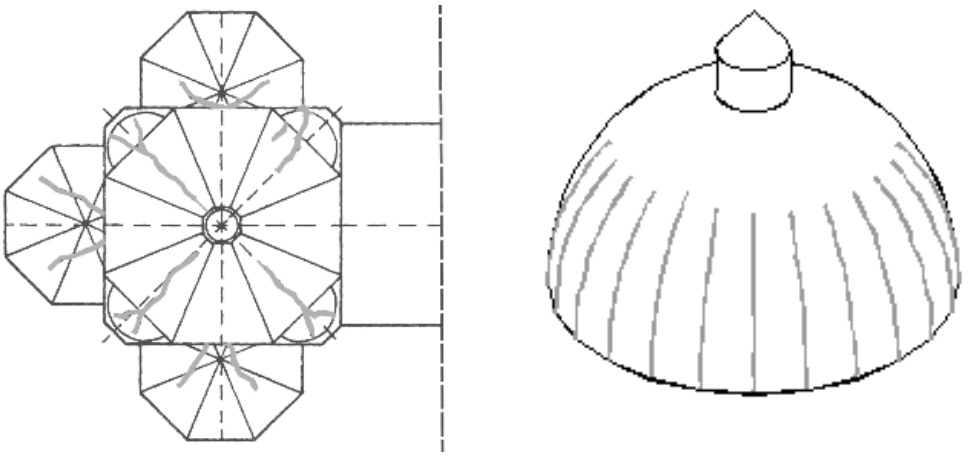


Fig. 13 - Rilievo effettuato da Blasi e Ceccotti (1984)*, a sinistra, e tipica fessurazione meridiana di una cupola* (Heyman, 1995)*, a destra.*

analoghi forti distacchi lungo le diagonali agli spigoli, accompagnate da pericolose concentrazioni di compressione.

La fessurazione rilevata nella cupola del Duomo ha quindi dimostrato che gli artifizi costruttivi ideati da Brunelleschi, confermando il pensiero di Salvatore Di Pasquale, sono stati in grado di mobilitare il comportamento di cupola di rotazione, pur costruita con otto vele cilindriche su tamburo ottagonale.

Conclusioni

Il lavoro vuole ricordare Salvatore Di Pasquale a venti anni dalla sua scomparsa soffermandosi sui suoi studi ostinati e appassionati sulla statica delle strutture in muratura e, in particolare, sulla cupola di Brunelleschi, tema che lo affascinò costantemente per tutta la vita. Attraverso le scoperte di Salvatore Di Pasquale degli artifizi costruttivi ideati da Brunelleschi per costruire la cupola, si è potuto comprenderne il funzionamento statico, nascosto dalla geometria esterna. Il lavoro è stato incentrato quindi sulla descrizione di questi sistemi costruttivi scoperti da Salvatore Di Pasquale mostrando come essi debbano ricondursi a un unico principio costruttivo, quello della costruzione di una grande cupola di rotazione.

Lo studio del Pantheon effettuato a Roma da Brunelleschi deve avergli suggerito l'idea di poter costruire la cupola giro dopo giro, in modo da riprodurre, in tutte le sue fasi costruttive, la struttura del Pantheon con il suo foro centrale.

L'opera, completata, si eleva a un'altezza di circa 116 m. L'esame svolto dei quadri fessurativi presenti nella cupola, evidenzia ancora la presenza in essa del comportamento a rotazione e il genio costruttivo di Brunelleschi.

Bibliografia

Alberti L.B. 1452. De re aedificatoria, (traduzione di G. Orlandi, con introduzione e note di P. Portoghesi). Milano: Edizioni Il Polifilo.

Blasi C., Ceccotti A. 1984. La Cupola del Brunelleschi: Indagine sullo stato di fessurazione. In: Atti INARCOS Ingegneri-Architetti-Costruttori, Bologna, 228-236.

Blasi C., Gusella V. 1991. Evoluzione nel sistema fessurativo della Cupola di Santa Maria del Fiore. In: Metodi di elaborazione dei dati provenienti da sistemi di monitoraggio: il caso della Cupola di Santa Maria del Fiore (a cura di G. Bartoli, C. Blasi, F. De Robertis, R. Foraboschi). Bollettino degli Ingegneri, XXXVIII.

Blasi C. 2021. La volta del Battistero e la cupola di Santa Maria del Fiore. Firenze: Mandragora.

Choisy A. 1899. Histoire de l'Architecture. Parigi: Gautier Villar.

Como M. 2010. Statica delle Costruzioni Storiche in Muratura. Roma: Aracne.

Como M. 2016. Statics of Historic Masonry Constructions. Seconda edizione. Berlino: Springer-Verlag.

Como M., Iori I., Ottoni F. 2019. Scientia Abscondita. Venezia: Marsilio.

Como M.T. 2012. Structural Devices Concerning the Progressive Outer Shell Construction in Brunelleschi's Dome. In: Nuts and Bolts of Construction History. Culture, Technology and Society (R. Caravais, A. Guillerme, V. Nègre, J. Sakarovitch Eds.),1. Parigi: Picard.

Di Pasquale S. 1977. Primo rapporto sulla Cupola di Santa Maria del Fiore. Firenze: CLUSF.

Di Pasquale S. 1984. Statica dei solidi murari, teoria ed esperienze. Università d Firenze, Dipartimento di Costruzioni, Pubblicazione n. 27.

Di Pasquale S. 2002. Brunelleschi, La costruzione della cupola di S. Maria del Fiore. Venezia: Marsilio.

Heyman J. 1966. The stone skeleton. International Journal of Solids Structures, 2.

Heyman J. 1995. The stone skeleton, Structural Engineering of Masonry Architecture. Cambridge: Cambridge University Press.

Ippolito L., Peroni C. 1997. La cupola di Santa Maria del Fiore. Firenze: La Nuova Italia Scientifica.

King R. 2001. Brunelleschi's Dome: the Story of the Great cathedral in Florence. Milano: Rizzoli editore.

Mainstone R. 1977. Brunelleschi's Dome. Architectural Review, 162.

Ottoni F., Blasi C., Coisson E. 2010. The Crack Pattern in Brunelleschi's Dome in Florence: Damage Evolution from Historical to Modern Monitoring System Analysis. Advanced Materials Research, 133-134.

Ottoni F. 2012. Delle cupole e del loro tranello. La lunga vicenda delle fabbriche cupolate tra dibattito e sperimentazione. Roma: Aracne.

Pizzigoni A., Paris V. S. Adriaenssens 2020. Statics of self-balanced masonry domes constructed with a cross herrinbone spiraling pattern. Engineering Structures, 215.

Scarano M. 2007-08. Cupola di Santa Maria del Fiore, Costruzione e Statica. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

Salvatore D'Agostino

Maria Letizia Conforto (1940-2024): una Architetta Archeologa

Maria Letizia Conforto (1940-2024): an Architect Archaelogist

Sommario
Voglio commemorare la nobile figura di Maria Letizia Conforto, preclara Architetta che per trenta anni ha curato i maggiori monumenti di Roma Antica e ha elaborato nei Suoi scritti e nelle Sue opere un'aulica visione del fare architettura, fondato sulla matematica e sulla geometria che presenta singolari assonanze con l'esecuzione musicale.

Abstract
I want to commemorate the noble figure of Maria Letizia Conforto, a distinguished Architect who for thirty years cared for the major monuments of Ancient Rome and elaborated in her writings and works a courtly vision of architectural practice based on geometry, which presents singular resonances with musical execution.

Premessa
È con particolare emozione che cerco di tracciare la vita e l'opera dell'architetta Maria Letizia Conforto, alla quale mi hanno legato oltre trenta anni di intensa e fruttuosa amicizia che ha arricchito la mia cultura e la mia vita. Cercherò di illustrarne la complessa e poliedrica personalità nelle sue diverse componenti tra architettura e archeologia che l'hanno resa una esemplare figura di intellettuale sia sul piano teorico, sia nella prassi corrente del progettare, sia nell'impegno di Conservatrice di alcuni tra i monumenti più insigni dell'Antica Roma.

Tutto ciò si è articolato in una diuturna azione sul campo, nel confronto continuo con Istituzioni nazionali e internazionali, nell'insegnamento e infine in una ricerca scientifica costante e perseguita fin quando ha potuto. Ciò è anche sinteticamente evidenziato nella commemorazione che l'ICOMOS ha voluto dedicarLe, all'indomani della Sua scomparsa a causa di un inguaribile male che l'ha segnata per decenni e contro cui ha combattuto con una indomabile forza d'animo, mai gravando sul Suo intenso lavoro né, tampoco, sulle tante e articolate relazioni culturali.

Cina, questo il Suo nome per gli amici, questa Signora dal raffinato stile di vita e dalla poliedrica cultura, rimarrà sempre nel cuore di tutti coloro che hanno avuto la fortuna di frequentarLa.

Il mio più vivo ringraziamento va a Silvia, figlia carissima, che con struggente affetto ha seguito il doloroso viatico di Cina e mi ha fornito preziosi ricordi.

L'impegno di una vita

La singolare personalità di Cina Conforto si manifestò fin dalla giovinezza quando, completando gli studi liceali, si recò da sola negli Stati Uniti con una borsa di studio, cosa quasi incredibile per una ragazza a fine anni '50. Laureatasi nel 1967 entrò subito a far parte dell'Istituto di Progettazione della Università di Roma La Sapienza.

Poco dopo, insieme ad altri colleghi ha fondato lo studio di architettura "METAMORPH", studio che ha ricevuto molti importanti riconoscimenti, con il quale ha collaborato fino al 1980.

Dal 1977 è stata Architetto Direttore del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, iniziando il Suo impegno presso la Soprintendenza di Pisa con interventi di restauro a Lucca, Pisa e Livorno e partecipando per l'Italia al Seminario UNESCO per i restauri a Praga e in Boemia.

Dal 1980 è stata progettista e Direttore dei lavori della Soprintendenza Archeologica di Roma per alcuni tra i più importanti monumenti dell'architettura Romana: l'Arco di Tito al Palatino, il Colosseo e la sua valle, le Terme di Caracalla, la cripta Balbi. Su tutti questi monumenti Cina ha lasciato una profonda traccia, sempre nello spirito di un'attenta ed efficace conservazione, e importanti testimonianze nei Suoi scritti.

Per l'Arco di Tito ha rilevato l'inesistenza di un conclamato cedimento in fondazione, dimostrando che il quadro fessurativo era dovuto all'ossidazione delle staffe che collegavano le lastre di travertino che rivestivano e qualificavano il restauro di Valadier.

Al Colosseo ha dedicato una cura e una attenzione durata tutta la vita, limitando, al Suo arrivo, la grave offesa indotta da un incauto intervento della Fondedile con cuciture armate nei poderosi blocchi di travertino. Ha dialogato con costanza con tutti gli studiosi che, negli anni, hanno studiato il monumento, eseguendo nel 1990 il progetto per l'area espositiva al suo interno, realizzato tra il 1995 e il 2000.

Alle Terme di Caracalla ha progettato e diretto diversi interventi di restauro e nei primi anni '90 realizzò, con la collaborazione del Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, un Progetto Quadro per la messa in sicurezza e la realizzazione di servizi per i visitatori e il personale di custodia.

Infine, il grande progetto e l'esecuzione dell'intervento di restauro della Cripta Balbi, cui ha dedicato inesauribili energie: un complesso che comprende un isolato storico di circa un ettaro di superficie costruito al di sopra del Portico Romano del Teatro di Balbo. Il progetto ha riguardato sia il complesso di ruderi romani, ancora oggi prati-

cabili, sia la realizzazione del Museo Nazionale Romano dedicato all'archeologia del Medioevo. Il Museo, inaugurato nel 2000, costituisce una «lezione di museografia", articolandosi tra i ruderi archeologici, la stratificata struttura storica del palazzo e il complesso materiale da esporre. In questo progetto si può leggere non solo una complessa consapevolezza della storia e della conservazione, ma si può cogliere anche il contributo dell'architettura moderna a cominciare dalla bella copertura spaziale.

Oltre a questo prezioso e poderoso impegno con la Soprintendenza Archeologica di Roma, Cina ha svolto incarichi di consulenza presso numerosissime Soprintendenze italiane e straniere. Voglio qui ricordarne almeno due, la prima presso il *Berlin Pergamon Museum* per il restauro dell'Altare di Pergamo, la seconda, in collaborazione con l'Istituto Centrale per la Conservazione e il Restauro, per la conservazione e l'esposizione di complessi resti archeologici e sculture di epoca romana nella stazione Duomo della Metropolitana di Napoli.

Di tutto questo enorme lavoro restano cospicue tracce nei Suoi scritti.

Inoltre ha svolto studi specialistici sui Centri Storici e sui problemi del Restauro e della Conservazione per il Recupero Urbano, oltre che per il Patrimonio Storico e Archeologico. Ha affrontato questi problemi con studi specialistici e Conferenze presso numerose Università italiane e straniere tra le quali Parigi, Atene, Berlino, Mosca, Brasilia e Shangai.

Ha costantemente collaborato con le maggiori Istituzioni per la salvaguardia del patrimonio costruito storico: I.C.R., C.N.R., UNESCO; A.R.Co., ICCROM, ICOMOS, Do.Co.Mo.Mo. Tutti questi studi sono stati oggetto di pubblicazioni su riviste specializzate e negli Atti di convegni nazionali e internazionali.

Una esperienza singolare fu vissuta da Cina quando nel 2010 si recò con una delegazione ICOMOS a Haiti in seguito al disastroso terremoto. Ne ritornò particolarmente segnata per le condizioni di degrado e di estrema povertà dell'isola, oltre che per i gravi danni causati dal terremoto. Collaborò attivamente con l'ICOMOS nella progettazione del Restauro dei monumenti colpiti dal sisma e facenti parte della lista UNESCO.

Dal 1998 al 2007 è stata Professore a contratto presso la Facoltà di Architettura di Ferrara e presso l'università di Roma Tor Vergata.

L'ultimo periodo è stato particolarmente tormentato da un male incurabile, ma Cina non ha mai smesso di lavorare, riflettere e dialogare con una singolare lucidità e un eloquio colto e raffinato.

L'Architetta

Certamente Cina è stata una Architetta dalla cultura e dalla pratica professionale sorprendenti, lasciando anche importanti testimonianze della Storia e del fare in architettura. La Sua personalità ha spaziato con pari consapevolezza dai lavori e dai problemi da affrontare nella archeologia classica, alla più pregnante visione dell'architettura moderna.

L'intrinseca formazione matematica che ne ha caratterizzato la personalità, l'ha portata a individuare nella geometria il cardine fondamentale della progettazione: «[…] gli strumenti della matematica e della geometria potranno essere utilizzati per interpretare l'intima organizzazione dello spazio o per rappresentare le caratteristiche morfologiche alle diverse scale. Si individuerà così con processi analogici, dal noto all'ignoto, una scienza dei rapporti che studia, dai particolari all'insieme le connessioni e le relazioni tra le varie parti della fabbrica con l'intorno» e ancora «[…] se solo il nulla può definirsi realmente infinito, in quanto senza limiti, nello spazio il limite che definisce l'infinito può essere superato dall'immaginazione che diviene così un possibile strumento non solo di progetto, ma anche di indagine e conoscenza». Conoscenza complessa a volte cosciente, a volte intuita: «la costruzione dello spazio architettonico non rappresenta solo la fase conclusiva del progetto che si avvale di materiali e tecniche disponibili in natura o rese disponibili da processi di trasformazione, ma anche da una precisa concezione strutturale filosofica del mondo». E infatti, nel diuturno operare di Cina si riscontra sempre la presenza di una forte tensione teorica, se non ideologica.

In definitiva, pur meditando profondamente sull'architettura e la sua storia, come attestano le Sue pubblicazioni scientifiche, Cina ha vissuto sempre l'impulso del "fare" del progettare, del realizzare, attuando, nella prassi, la Sua visione dell'architettura e ciò l'ha resa un insolito modello di moderna Architetta-Intellettuale.

L'Architetta Archeologa

Nel Suo lungo impegno per la conservazione dei grandi monumenti dell'antichità Cina ha portato la Sua cogente visione dell'architettura, cosa che l'ha indotta spesso a complessi dialoghi con la cultura archeologica. Per Lei «l'architettura è per definizione un sistema finito, ma indefinite sono quasi sempre le antiche strutture, anche quelle meglio conservate, perché amputate e confinate all'interno di spazi programmaticamente separati dalla concitazione della modernità».

Cina, coerentemente con la Sua formazione, la Sua cultura e la Sua personalità rimane sempre una tenace architetta che legge il monumento antico sostanzialmente attraverso i canoni architettonici. e infatti: «il disegno dell'architettura procede secondo sezioni omologhe e si sviluppa in crescita dal basso, il disegno archeologico procede invece, in analogia con le procedure di scavo dall'alto. Il primo ha come limite il fabbricato, il comparto urbano, il paesaggio, il secondo un taglio arbitrario e casuale che attribuisce nel tempo all'immagine valori diversi». Ed ecco così una radicale diversità tra architettura e archeologia ma il rapporto si connette e si manifesta nella Conservazione e Restauro, progetti delicati di architettura che devono fare i conti con «la storia del monumento inteso come sistema documentario testuale e come documento costruito ha un peso concettuale importante, e porta con sé un bagaglio di analisi delle stratificazioni di cui è composto l'edificio e delle sue com-

plessità costruttive. In contesti storici e nell'attività di restauro la scelta di decidere quanto conservare e quanto innovare, rimanendo contemporanei, implica un serrato confronto con l'unicità dell'originale, con la compatibilità delle possibili repliche con l'eventualità che le copie si trasformino in falsi». Così Cina diventa protagonista del complesso dibattito sulla utopia di "Com'era, dov'era".

La discrasia tra mondo antico e mondo attuale è ancora sistematicamente evidenziata: «Il mondo antico era solido e reale, capace di produrre, sulla base di una immutabile esperienza, manufatti dotati di una grande durevolezza traducendo il pensiero in koinè. La contraddizione e l'incertezza del mondo moderno, generate dalle sconfitte basate sui numeri, sul calcolo, sulla economia, inducono a contare, analizzare le opere piuttosto che a produrle. E qui infine può cogliersi il diuturno rovello di chi è chiamato a muoversi tra la Conservazione dell'Antico e la progettazione della modernità». Rovello che ha per tema Roma che ha il racconto della storia scritto sulle costruzioni, nelle architetture, sui muri. È qui che l'archeologa ritorna architetta: «l'obiettivo del progetto è dunque generare sistemi di risposte coerenti da sintetizzare nell'intervento, proponendo un equilibrio dialettico fra gli aspetti astratti del progetto, componendo un lavoro rigoroso sul Restauro dell'esistente e uno più suggestivo da esprimere nelle innovazioni e nelle varie azioni degli assetti trovati. Potrà così nascere una nuova unità in cui elementi inediti, a volte apparentemente estranei, sono legati a suggestioni nelle quali la fantasia, l'ironia, la sorpresa, l'allusione giocano un ruolo decisivo. Una narrazione dunque rispettosa del luogo, degli eventi storici che hanno contribuito a determinalo e delle potenzialità del progetto contemporaneo, che riscatti dal decadimento e dall'abbandono». Emblema di questa concezione è il progetto del Restauro della Cripta Balbi che conduce, senza dicotomie, il visitatore dall'antichità alla più recente modernità.

Un ricordo personale. Le Raccomandazioni

Dagli anni '80, in seguito alle crisi sismiche del Friuli (1976) e dell'Irpinia (1980), la cultura italiana, più attenta alla conservazione del patrimonio storico archeologico, si batteva contro gli invasivi interventi del cosiddetto consolidamento, che aveva cementificato moltissimi monumenti, e l'architetta Conforto era ovviamente in prima linea. Erano però carenti raccomandazioni specifiche per i siti archeologici, che presentavano importanti peculiarità.

Il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali della Università Federico II di Napoli promosse, nel 2007, una esemplare ricerca interdisciplinare, costituendo il seguente gruppo: l'architetta Maria Letizia Conforto, la dottoressa Emanuela Guidoboni, il professore Fulvio Cairoli Giuliani e il professore Salvatore D'Agostino. Si confrontavano così le complesse esperienze architettoniche e archeologiche dell'architetta Conforto con la profonda conoscenza della storia sismica italiana della dottoressa Guidoboni, la preclara conoscenza dell'edilizia e dell'ar-

chitettura romane del professore Giuliani e l'apporto dello strutturista, professore D'Agostino, già membro del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio culturale dal rischio sismico, promosso dal Ministero dei Beni Culturali. Fu una indimenticabile esperienza umana e di cultura interdisciplinare; il gruppo mise subito in campo una preziosa armonia e una insolita convergenza culturale. Le riunioni, pressoché mensili, si svolgevano con regolarità presso la Biblioteca di palazzo Massimo a Roma e si concludevano in incontri conviviali, indimenticabili per l'amicizia e l'armonia che si manifestava nel gruppo. Il risultato del lavoro furono le "Raccomandazioni per la redazione di progetti e l'esecuzione di interventi per la Conservazione del Costruito Archeologico", che furono presentate a Stefano De Caro, illustre archeologo, allora responsabile della Direzione Generale per l'archeologia del Ministero dei Beni Culturali. De Caro le apprezzò al punto da richiederne la traduzione in inglese per poi inserirlo sul sito della Direzione Generale; il testo fu stampato nel 2009 e inviato a tutte le Soprintendenze Archeologiche d'Italia. Fu un grande successo tanto da richiederne la ristampa nel 2014.

Le "Raccomandazioni" oggi fanno parte del corredo didattico che viene fornito agli allievi del Corso di Perfezionamento in Ingegneria per i Beni Culturali che si svolge da circa venti anni presso il Centro che promosse l'iniziativa.

Una sintesi completa: il Teatro dell'Assurdo

La sintesi dell'operare in architettura e in particolare nella difficile elaborazione del Progetto di Restauro è stata da Cina configurata nella polifonia di esecuzione di una partitura musicale. «Il risultato delle difficili scelte compiute su uno spartito può soddisfare i soli esecutori o ottenere consensi e successi sul palcoscenico dell'esibizione senza in nulla alterare il valore del documento originario che può, a ogni esecuzione, condurre ad audizioni diverse e diversamente apprezzabili ma la cui scrittura resta inalterata […] La decisione di conservare, restituire alla contemporaneità e all'uso un manufatto trascurato, reso inutilizzabile, abbandonato ne conferma il valore […] L'opera di conservazione, manutenzione o radicale trasformazione riguarda la consistenza materiale in cui l'immagine si manifesta e agisce sulla materia che all'immagine da forma, deve rispettarne perciò l'istanza estetica che, tradita, lascia la materia vuoto scheletro». E qui il pensiero di Cina unifica in una unica visione architettura e archeologia: «Il progetto di restauro inevitabilmente condizionato dalla natura e dalla qualità dell'opera, dovrà dunque riconoscere e segnalare sulla materia stessa della costruzione i segni del passaggio del tempo e della storia, interpretandone tracce significative, alterazioni, deformazioni, senza alterare l'unità dell'opera e l'originaria concezione strutturale».

Corpose e articolate le pagine del libro "Architettura nel Teatro dell'Assurdo" che Cina ha pubblicato nel 2013 per i tipi di Aracne, in occasione della Mostra Embrice, al quale si rimanda per un approfondimento del Suo complesso lavoro, progettuale, conservativo e teorico.

La ricerca scientifica

Cina, pur avendo una intensa frequentazione professionale, sociale e profondi legami di amicizia, apparteneva ancora a quella complessa generazione di studiosi per i quali la ricerca era un processo individuale e talvolta un confronto e una condivisione con qualche sporadico collega. Ciò avveniva quando anche la comunità scientifica apprezzava sostanzialmente gli studi a un solo autore: si era ben lontani dalla moda attuale nella quale, per ciascuno studio, gli autori si moltiplicano numerosi, raggiungendo così, facilmente, le diverse centinaia di pubblicazioni; la conseguenza era che un accanito ricercatore riusciva in circa quaranta anni di attività a produrre qualche centinaio di lavori, come avvenuto per Cina con i Suoi circa cento lavori, tra scientifici e professionali, che esprimono spesso una lunga ricerca e un acuto impegno scientifico.

Cina ha sempre dialogato con una estesa comunità culturale, ma forse il Suo rapporto più cogente fu la lunga amicizia e l'intensa frequentazione con Alessandra Melucco Vaccaro, Archeologa vicaria dell'Istituto Centrale del Restauro, che nel 1989 pubblicò il volume "Archeologia e Restauro" che segnò per tutti noi una svolta culturale. Alessandra fu anche il catalizzatore della mia amicizia con Cina.

Riportare in dettaglio gli studi elaborati in tanti anni di intensa attività è compito arduo che richiederebbe una monografia.

Conclusioni

Questo articolo vuole essere solo la testimonianza del pensiero e dell'opera di una personalità di grande rilievo culturale anche per la Storia dell'Ingegneria, a testimonianza della imprescindibile interdisciplinarietà che sempre più si manifesta nella cultura moderna.

Credo di poter affermare che l'Architetta Maria Letizia Conforto abbia lasciato un segno indelebile nel Suo prezioso operare e nei Suoi studi, ma ancor più resta per sempre presente in quanti hanno avuto la fortuna di frequentarLa e ancor più nel cuore di chi ha avuto il privilegio di godere della Sua preziosa amicizia.

Bibliografia di Cina Conforto

1966

Conforto C., De Giorgi G, Muntoni A., Pazzaglini M., Remiddi G. Un Pattern metamorfico per la città. Marcatre 26-29, 72-83.

1971

Angeletti P., Conforto C., De Giorgi G., Muntoni A., Pazzaglini M., Remiddi G. *Metamorph, dimensioni di architettura*. Roma: Fantini.

1976

Conforto C., De Giorgi G., Muntoni A., Pazzaglini M. *Città come sistema di servizi*. Roma: Magma.

1977

Conforto C., De Giorgi G., Muntoni A., Pazzaglini M. *Il dibattito architettonico in Italia 1945-1975*. Roma: Bulzoni.

1979

Conforto M.L. Il centro storico nella urbanistica europea. In: AA.VV. *Il patrimonio architettonico tra conservazione e urbanistica: applicazioni della legge 457*. Ufficio Studi del Ministero BB.CC.AA., documento di lavoro n.7. Roma.

1980

Conforto M.L. La centralità della Fortezza Vecchia rispetto allo sviluppo della città. In: AA.VV. *Livorno, progetto e storia di una città tra i1 1500 e il 1600*, Catalogo della Mostra Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, 67-74. Pisa.

Conforto M.L. Le tipologie edilizie della città nuova. In: AA.VV. *Livorno, progetto e storia di una città tra i1 1500 e il 1600*, Catalogo della Mostra Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, 155-172. Pisa.

1982

Conforto M.L. Problemi del recupero urbano. In: *Archeologia urbana a Roma: il progetto della Crypta Balbi* (a cura di D. Manacorda). 75-80. Sesto Fiorentino: All'insegna del Giglio.

1983

Conforto M.L., Frattarelli L. Il prospetto delle case di Livorno alla metà del '700. Storia Urbana, 21.

Conforto M.L., Frattarelli. Livorno da città granducale a città borghese. Bollettino Storico Pisano, 52.

Conforto M.L. Il patrimonio archeologico da rovina a architettura. Ricerche compositive e uso dei materiali. In: *Atti del Convegno Marmo restauro: situazione e prospettive*. Carrara

Conforto M.L. La politica dei comparti archeologici finalizzata agliinterventi di restauro. Da processo artistico creativo a processo conoscitivo. In: *Atti del Convegno archeologia e progetto*. Roma.

Conforto C. Il patrimonio archeologico di Roma: ipotesi di ricerca e proposte operative. *Atti del Convegno Consulto su Roma*.

1984

Conforto M.L. Sul Patrimonio Archeologico di Roma. Controspazio, XV(4).

Conforto M.L., Leone I. La meta Sudans. In: AA:VV. *La durata del progetto. Proposte per 9 luoghi*. Roma: Kappa Edizioni.

1985

Conforto M.L. Dall'infinito al finito: geometria e achitettura. Metamorphosi n.1/2, 138-143.

Conforto M.L. Forma e rappresentazione. In: AA.VV. *Il giardino del Conservatorio di S. Caterina della Rosa (Archeologia Urbana a Roma: il progetto della Crypta Balbi 3)*.119-133. Sesto Fiorentino: All'insegna del Giglio.

Conforto M.L. L'Anfiteatro Flavio: costruzione, ricostruzione e restauri, Metamorphosi Quaderni di architettura, 3, 81-84.

Conforto M.L., Panella C. Le Colisée. In: *Roma Antiqua, Envois degli architetti francesi 1788-1924, L'Area Archeologica Centrale*. Roma: Editore Scuola Tip.S.PioX.

Conforto M.L., Martines R. Per la definizione di un Piano di Settore delle aree archeologiche romane. Parametro, XVI(139).

1986

Conforto M.L. Tecniche antiche e restauro moderno. Archeo Dossier, 21, 48-53.

Conforto M.L. Contributi scientifici per una disciplina del restauro. AR, 9-10.
Conforto M.L., Martines R., Melucco Vaccaro A. Materia e storia nella metodologia di un intervento: il restauro dei monumenti marmorei romani. In: *Atti del Convegno di Studi Bressanone, Scienza e Beni culturali* (a cura di G. Biscontin), Bressanone 24-27 giugno 1986. 725-732. Padova: Libreria Progetto Editore.

1987

Conforto M.L., Iacopi I. Terme di Caracalla: studi e proposte per il controllo idrico. In: *Il trionfo dell'acqua:Aatti del Convegno Gli antichi acquedotti di Roma: problemi di conoscenza, conservazione e tutela*. 189-198.
Conforto M.L. Concezioni teoriche e cultura materiale nella costruzione dell'abitazione. Metamorphosi, 5.

1988

Conforto M.L., Martines R. Ancient Marble Monuments in Rome: A Contribution to Their Conservation. Durability of Building Materials, 5, 495-498.
Conforto M.L. Terme di Caracalla, dati acquisiti ed ipotesi di ricerca. In: *Les Thermes Romains, Actes de la Table ronde organissée par l'Ecole francaise de Rome.* 43-48.
Conforto M.L. Il Colosseo: originalità del modello architettonico. In: *Anfiteatro Flavio, Immagini Testimonianze Spettacoli*. 47-51. Roma: Edizioni Quasar.
Conforto M.L. La conoscenza della città antica per il recupero dell'opera edilizia. In: Archeologia e Restauro dei Monumenti. I Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia (a cura di R. Francovich e R. Parenti). 97-103. Sesto Fiorentino: All'insegna del Giglio.

1989

Cassatella A., Conforto M.L. *L'Arco di Costantino*. Pesaro: Maggioli.
Conforto M.L. La conservazione dei monumenti archeologici. L'esempio di Roma, in AA.VV., Conservazione e manutenzione di manufatti edilizi ridotti allo stato di rudere (a cura di L. Marino). Report 1. 77-78. Firenze: Opus libri.

1990

Conforto M.L. Roma, Terme di Caracalla: problemi di conservazione dei pavimenti in mosaico. In: *Conservacion in situ Palencia 1990.* 97-104. Palencia: Excma Diputation provincial.

1992

Conforto M.L., Martines R. L'area archeologica di S. Lorenzo in Lucina, Il cantiere sotto la basilica: le volte e le sottofondazioni. Scavi e Scoperte. In: *Bollettino di archeologia (Ministero per i Beni Culturali e Ambientali)*. 13-15. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
Conforto M.L., Iacopi I. Le Terme di Caracalla. In: *Roma Antiqua, Envois degli architetti francesi 1786/1901*. 234-250. Roma: Carte segrete.

1993

Conforto M.L., Rea R. Il Colosseo: alcune considerazioni tecniche (pp.71-74).In: Atti del I Convegno Nazionale ARCo e ANIDIS. 71-74. Roma: Esagrafica s.r.l.

1994

Conforto M.L., D'Agostino S. Archaeological Ruins and Sismic Vulnerability. In: *Proceedings Symposium on Strengthening and Repair of Structures in Seismic Area*. Nizza. 99-110.
Conforto M.L., Capponi G., Gambarotta L., Lagomarsino S., Morbiducci R. Identification of a structural model for Constantine's arch. In: *Proceedings Symposium on Strengthening and Repair of Structures in Seismic Area*. Nizza.

Conforto M.L., D'Agostino S., Melucco Vaccaro A. The use of brickwork in the conservation and restoration of archaeological monuments: tradition and current views. In: Ceramics in architecture: proceedings of the International Symposium on Ceramics in Architecture of the 8th CIMTEC-World Ceramics Congress and Forum on New Materials. Firenze, 28 giugno 1 luglio. 247-260. Faenza: Techna 1995.

1995

Cassatella, Conforto M.L. *La Fortezza Vecchia, difesa e simbolo della città di Livorno. Catalogo*. Milano: Silvana Editoriale.

Conforto M.L. La Fortezza Vecchia di Livorno: residenza ducale e sviluppo urbano dal Cinquecento a oggi. In: *La Fortezza Vecchia, difesa e simbolo della città di Livorno*. 135-155. Milano: Silvana Editoriale.

Conforto M.L., D'Agostino S. Sulla concezione strutturale dell'architettura antica, un caso emblematico: la sostruzione romana. In: *Atti del XII Congresso Nazionale AIMETA*. II, I, 101-106. Napoli.

Conforto M.L., De Luca M. Disegno, materiali e lavorazioni che caratterizzano gli spazi esterni. Roma, le aree archeologiche centrali, In: *Atti del II Convegno Nazionale ARCo* (a cura di M.M. Segarra Lagunes), Roma, 12-13 settembre 1995. 251-260. Roma: Gangemi.

1997

Conforto M.L. Una lacuna urbana nel centro di Roma e le antiche strutture della Crypta Balbi. In: *Lacune in architettura, aspetti teorici e operativi. Atti del Convegno Scienza e Beni Culturali.* 187-193.

Conforto M.L. Continuità, discontinuità e interferenze di antiche strutture nella Crypta Balbi in Roma. In: *La reintegrazione nel restauro dell'antico, Atti del seminario di studi ARCo* (a cura di M.M. Segarra Lagunes). 11-22. Roma: Gangemi

Conforto M.L., D'Agostino S. Mechanical resistence and structural behavior of some constructive prototype in the Mediterranean area. In: *Proceedings of 4th International Symposium on conservation of Monuments in the Mediterranean*. Rodi. 561-570.

1998

Conforto M.L. Architetture fantastiche. In: *AA.VV. Adriano e il suo Mausoleo, studi, indagini e interpretazioni, Catalogo della Mostra*. Castel Sant'Angelo. 95-100.

2000

Conforto M.L. L'arco dedicato a Costantino. In: AA.VV. *Adriano, architettura e Progetto, Catalogo della Mostra di Villa Adriana*. 107-112. Milano: Electa.

Conforto M.L. Lavori per la nuova sede del Musei Nazionale Romano. In: *Atti del III Convegno Nazionale ARCo*.

Conforto M.L. La città del futuro nella lezione della storia. In: *Archeologia urbana e progetto di architettura*(a cura di M.M. Segarra Lagunes). Roma: Gangemi.

Conforto M.L. Villa Adriana: significati simbolici, connotati formali, scelte funzionali nell'architettura del paesaggio. In: *Atti del Convegno Villa Adriana, paesaggio antico e ambiente moderno* (a cura di A.M. Reggiani). Napoli: Electa.

2001

Conforto M.L. Museo Nazionale Romano - Crypta Balbi. Storia e progetto. In: *L'inserzione del nuovo nel vecchio a trenta anni da Cesare Brandi. Atti del IV Convegno Nazionale ARCo* (a cura di M.M. Segarra Lagunes). 233-244. Roma.

Conforto M.L., Conti C. Crypta Balbi. Progetto di recupero. In: *Archeologia e Giubileo: gli interventi a Roma e nel Lazio nel Piano per il grande Giubileo del 2000* (a cura di F.

Filippi). 73-76. Napoli: Electa.
Conforto M.L., Conti C. Arco di Costantino. In: *Archeologia e Giubileo: gli interventi a Roma e nel Lazio nel Piano per il grande Giubileo del 2000* (a cura di F. Filippi). 170-172. Napoli: Electa.
Conforto M.L., Conti C. Le Terme di Caracalla. In: *Archeologia e Giubileo: gli interventi a Roma e nel Lazio nel Piano per il grande Giubileo del 2000* (a cura di F. Filippi). 133-137. Napoli: Electa.
Conforto M.L., Conti C. Arco di Tito. In *Archeologia e Giubileo* (AA.VV.), 170-172. Napoli: Electa.
Conforto M.L. L'arco dedicato a Costantino: la sovrapposizione di due monumenti. In: *Adriano e Costantino, le due fasi dell'arco nella valle del Colosseo* (a cura di M.L. Conforto, A. Melucco Vaccaro, P. Cicerchia, G. Calcani, A.M. Ferroni). 10-21. Milano: Mondadori.
Conforto M.L., D'Agostino S. Some observations on the concept of construction. Transactions on the Built Environment, 55, 609-615.
2003
Conforto M.L., D'Agostino S. Extraordinary maintenance work carried out on the arch of Titus in Rome. WIT Transactions on The Built Environment, 66, 1368-1435.
Conforto M.L. I restauri dell'Acropoli di Atene 1975-2003. Anastilosi in breve. Quaderni ARCo Roma. 227-229.
Conforto C., Hopkins A. *Architettura e tecnologia, acque, tecniche e cantieri nell'architettura rinascimentale e barocca.* Roma: Nuova Argos.
2004
Conforto M.L., Storti. Le terme di Caracalla: tutela restauro e valorizzazione. In: *Conservazione e normativa: esperienze recenti Atti del V Convegno Nazionale ARCo* (a cura di A. Centroni e M.G. Filetici). 295-306. Roma: Gangemi
2005
Conforto M.L. Conservazione e manutenzione di edifici allo stato di rudere: marmora romana. Restauro Archeologico, 2, 14-17.
2007
Como M., Coccia S., Conforto M.L., Ianniruberto U. 2006. Historical Static Analysis of the Colosseum. Proceedings of The Second International Congress on Construction History, Cambridge, Cambridge: CSH Pub.
2008
Conforto M.L., Nicolucci S. Per una storia dell'ingegneria idraulica dell'antichità. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 2° Convegno Nazionale* (a cura di Alfredo Buccaro, Giulio Fabricatore, Lia Maria Papa). II, 421-430. Napoli: Cuzzolin Editore
2009
Conforto M.L., D'Agostino S., Giuliani C.F., Guidoboni E. *Raccomandazioni per la redazione di progetti e l'esecuzione di interventi per la conservazione del costruito archeologico*. Napoli: Cuzzolin Editore.
2010
Conforto M.L., Nicolucci S. Roma, Terme di Caracalla, volte a concrezione. In: Storia dell'Ingegneria. Atti del 3° Convegno Nazionale. II, 599-610. Napoli: Cuzzolin Editore.
Conforto M.L. Haiti: vulnerabilità e sicurezza dei Monumenti della Libertà. In: Responsabilità nella conservazione del costruito storico, Atti del Convegno per il ventennale dell'ARco (a cura di A. Centroni e M.G. Filetici). 123-128. Roma: Gangemi.

2011

Conforto M.L., Nicolucci S. architettura d'acqua nella Roma antica. In: *Le fontane storiche: eredità di un passato recente. Restauro, valorizzazione e gestione di un patrimonio complesso, Atti del convegno internazionale*. Cesena, 29-30 aprile. Firenze: Alinea.

2012

Conforto M.L. Roma, il contributo dell'archeologia alla definizione dello spazio urbano. In: *Atti del Convegno ARCo, Made Expo 2008-2010* (a cura di A. Centroni e M.G. Filetici). 77-82. Roma: Gangemi.

Conforto M.L., Nicolucci S. Tecniche costruttive a confronto nel Nuovo Mondo. In: *Storia dell'Ingegneria. Atti del 4° Convegno Nazionale* (a cura di Salvatore D'Agostino). II, 643-654. Napoli: Cuzzolin Editore.

2013

Conforto M.L. L'arco dedicato in Roma al trionfo di Costantino. In: AA.VV. *Volume in Memoria del Prof. Bouras*, 123-130. Atene.

Conforto M.L. *Architettura nel teatro dell'assurdo*. Roma: Aracne.

2018

Conforto M.L. Rappresentare il progetto di architettura In: *Proceedings of the 3rd International Conference on History of Engineering - Atti del 7° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). II, 599-610. Napoli: Cuzzolin Editore.

2020

Conforto M.L. Terme di Caracalla, misura e calcolo per la conservazione. In: *Proceedings of the 4th International Conference on History of Engineering - Atti dell'8° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano). II, 599-610. Napoli: Cuzzolin Editore.

2022

Conforto M.L. Geometria e architettura: varianti e invarianti di trasformazione. In: *Proceedings of the 5th International Conference on History of Engineering - Atti del 9° Convegno Nazionale* (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano, E. Manzo). I, 439-452. Napoli: Cuzzolin Editore.

Author Index / Indice degli Autori

ABITA Matteo	Università degli Studi dell'Aquila	997, 1011, 1023
ALESSANDRI Claudio	già Università degli Studi di Firenze	1201
AMABILE Alessandro	Storico della Fisica	457
AMBROGI Vincenzo	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	281
ANTUONO Giuseppe	Università degli Studi di Napoli Federico II	861
ARMONE CARUSO Arturo	Direttore Sanitario AIAS di Afragola (NA)	317
ARRIGHETTI Andrea	Correspondant ètranger, École normale supérieure Université PSL	195
AUSIELLO Gigliola	Università degli Studi di Napoli Federico II	431
AVALLONE Mariandrea	Archivista	329, 341
BARSANTI Lucia	già Università degli Studi di Firenze	61
BATTOCCHIO Andrea	Dottorando di ricerca, Università degli Studi di Bari Aldo Moro	581, 967
BELLICOSO Alessandra	Università degli Studi dell'Aquila	925
BELLOMO Mariangela	Università degli Studi di Napoli Federico II	645
BELLUCCI Giovanni	Assegnista di ricerca, Alma Mater Studiorum Università di Bologna	717
BIANCONI Fabio	Università degli Studi di Perugia	765
BILOTTA Francesca	Assegnista di ricerca, Università della Calabria	73
BLASI Carlo	Studio Associato Comes	143
BOERI Elisa	Politecnico di Milano	947
BONACCORSI Mariano	Laureando magistrale in Ingegneria Meccanica, Sapienza Università di Roma	979
BONGIOVANNI Margherita	Politecnico di Torino	557
BORRI Claudio	già Università degli Studi di Firenze	1071
BOVOLIN Vittorio	Università degli Studi di Salerno	1035
BRANCALEONI Fabio	già Università degli Studi Roma Tre	1145, 1159
BRICCOLI BATI Silvia	già Università degli Studi di Firenze	1201
CAIRA Chiara	Ingegnera	495
CALAMELLI Filippo	Dottorando di ricerca, Politecnico di Milano	1061
CALAMIA Mario	già Università degli Studi di Firenze	61
CANGI Giovanni	Libero professionista	243
CANONACO Brunella	Università della Calabria	73
CANZONERI Vincenzo	Ingegnere, libero professionista	305
CAPRIUOLI Federico	Acas3D Spin off Università di Pisa	887, 901
CAPUTO Francesco	già Università degli Studi di Napoli Federico II	421
CASTIGLIONE Federica	Ingegnera	73
CHIARENZA Stefano	Università Telematica San Raffaele	95

CIARDIELLO Emilio	Associazione Storia dell'Elettronica, Napoli	219
CIGOLA Michela	Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale	495
CIRANNA Simonetta	Università degli Studi dell'Aquila	621, 657
COCCIA Simona	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	387
COCOZZA Maria Rosaria	Architetta	937
COLELLA Carmine	già Università degli Studi di Napoli Federico II	543
COMO Maria Teresa	Università Suor Orsola Benincasa	269
COMO Mario	già Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	387, 1229
COPPOLA Antonio	Presidente dell'Automobile Club Napoli	481
CORRADI Massimo	Università degli Studi di Genova	669
CORRADINI Elena	Università di Modena e Reggio Emilia	531
CUCCO Pasquale	Università degli Studi di Salerno	959
D'AGOSTINO Salvatore	Università degli Studi di Napoli Federico II CIBeC	3, 155, 1199, 1241
D'AMBROSIO ALFANO Francesca R.	Università degli Studi di Salerno	329, 341, 351
D'AMBROSIO Fabiana	Libera professionista	351
D'AMBROSIO Giovanni	Ingegnere	351
D'AMBROSIO Pietro	Imprenditore	351
D'ANNIBALE Francesco	Università degli Studi dell'Aquila	621
D'ANTONIO Maurizio	Architetto	231
D'ASDIA Piero	Università degli Studi G. D'Annunzio di Chieti-Pescara	1133
D'OVIDIO Alessandra	Dottoranda di ricerca, Alma Mater Studiorum Università di Bologna	695
DE FRENZA Lucia	Università degli Studi di Bari Aldo Moro	131
DE LUCA Andrea	Ingegnere	595
DE MENNA Luciano	già Università degli Studi di Napoli Federico II	1175
DE SIMONE Daniele	Dottorando di ricerca, Università degli Studi di Salerno	827
DE VINCENZI Matteo	CNR - Istituto per la BioEconomia	13
DI BATTISTA Rosanna	Architetta	49
DI DONATO Danilo	Università degli Studi dell'Aquila	997, 1011, 1023
DI FLORIO Vincenzo	Ingegnere	1011
DI GENNARO Luciana	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"	85, 695
DI MARCO Umberto	Ingegnere	293
DI MEO Andrea	Assegnista di ricerca, Università degli Studi del Molise	901
DI PAOLA Mario	Università degli Studi di Palermo	1109
DI PASQUALE Giovanni	Vice Direttore Museo Galileo di Firenze	1201, 1213
DIANA Giorgio	Politecnico di Milano	1061

EKINCI Ceren	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi dell'Aquila	621
ESPOSITO Clemente	Presidente del Centro Speleologico Meridionale	119, 991
ESPOSITO Emilio	già Università degli Studi di Napoli Federico II	1187
ESPOSITO Monica	Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"	837
ESPOSITO Salvatore	Università degli Studi di Napoli Federico II	469
FALOTICO Antonella	Università degli Studi di Napoli Federico II	645
FASANO Gianni	CNR - Istituto per la BioEconomia	13
FELLI Gianni	Università degli Studi dell'Aquila	695
FILIPPUCCI Gianni	Università degli Studi di Perugia	765, 913
FIORILLO Federica	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"	411
FRACASTORO Gianvincenzo	già Politecnico di Torino	207
FRUNZIO Giorgio	Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"	85
GALBIATI Giuseppe	postdoc fellow, USI Accademia di Architettura, UCLouvain	683
GALLO Anna	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi di Salerno	507, 789
GALLO Riccardo	Sapienza Università di Roma	495
GALLOZZI Arturo	Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale	399
GAMBARDELLA Roberta	Assegnista di ricerca, Università degli Studi di Napoli Federico II	399
GE Yaojun	Tongji Univ. Shanghai, China	1071
GERVASIO Francesca	Politecnico di Torino	557
GHERARDELLI Monica	già Università degli Studi di Firenze	61
GIANASSO Elena	Politecnico di Torino	849
GIANNETTI Ilaria	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	607
GRAF Franz	USI Accademia di Architettura, EPFLausanne	683
GRECO Giovanna	già Università degli Studi di Napoli Federico II	1047
GRECO Laura	Università della Calabria	595
GUAGLIARDI Valentina	Ingegnera	595
GUARDIGLI Luca	Alma Mater Studiorum - Università di Bologna	107
HAMARNEH Basema	Universitat Wien	171
IANNELLI Maria Teresa	già Soprintendenza Archeologica della Calabria	25
JAPPELLI Ruggero	già Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	305
JAPPELLI Valentina	COBASE Associazione Tecnico Scientifica di Base	305

LA VEGLIA Michele Maria	Ingegnere, Vice Dirigente Direzione Regionale VVF Campania	991
LALLI Roberto	Politecnico di Torino	967
LANDO Marcello	già Università degli Studi di Napoli Federico II	519
LEGGIERI Carlo	Associazione culturale Celanapoli, Napoli	635
LEPORE Lucia	già Università degli Studi di Firenze	25
LIZZA Andrea	Ingegnere, Ordine degli Ingegneri di Napoli	813, 821
LUNARDI Pietro	Ministro emerito delle Infrastrutture e dei Trasporti (2001-2006)	1085
MAGALDI JR. Paolo	CEO Magaldi Power S.p.A.	421
MANGOSIO Marika	Politecnico di Torino	753
MARAGNO Anna	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi di Trento	257
MARCHIS Vittorio	già Politecnico di Torino	569
MARINO Giulia	UCLouvain, EPFLausanne	683
MARINO Luigi	già Università degli Studi di Firenze	171, 183
MASSARO Luigi	Dottorando di ricerca, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"	85
MAURO Raffaele	Università degli Studi di Trento	257
MESSINA Barbara	Università degli Studi di Salerno	95
MICCIO Gennaro	già Dirigente del Ministero per i Beni e le Attività Culturali	363
MIGLIOSI Andrea	Dottorando di ricerca, Università degli Studi di Perugia	765, 913
MINELLI Antonella	Università degli Studi del Molise	901
MOLARI Pier Gabriele	già Alma Mater Studiorum - Università di Bologna	37, 49, 281, 293
MOLLICA Giovanni	Fondatore di Rete Civica per le Infrastrutture nel Mezzogiorno	1097
MOLLO Giuseppe	Associazione culturale Celanapoli, Napoli	635
MOMMI Chiara	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi di Perugia	765, 913
MONTUORI Patrizia	Università degli Studi dell'Aquila	657
MORGANTI Renato	Università degli Studi dell'Aquila	997, 1011, 1023
MORNATI Stefania	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	607
MUSCOLINO Giuseppe	già Università degli Studi di Messina	1109
NERI Giulia	Università degli Studi di Salerno	959
ORLANDINI Stefano	Università di Modena e Reggio Emilia	531
PANELLA Bruno	già Politecnico di Torino	569
PANEPUCCI Alessia	Dottoranda di ricerca, Università degli Studi dell'Aquila	997

PAOLUCCI Marco	Dottorando di ricerca, Università degli Studi dell'Aquila	621
PAPA Lia M.	già Università degli Studi di Napoli Federico II	777
PICCOLI Edoardo	Politecnico di Torino	445
PICCOLO Giuseppe	Architetto	635
PILOTTI Michela	Politecnico di Milano	947
PRATI Davide	Università degli Studi di Bergamo	107
PRESTININZI Alberto	già Sapienza Università di Roma	1121
REPOLE Marco	Libero professionista, ERFS - American Research Center in Egypt	195
RIBERA Federica	Università degli Studi di Salerno	789, 959
RICCIARDI Giuliana	Archivio di Stato di Napoli	729
RIZZO Fabio	Politecnico di Bari	1133
RUTA Giuseppe	Sapienza Università di Roma	979
SANTILLO Damiano	Ingegnere, Ministero della Cultura	873, 887
SCHIRALDI Massimiliano M.	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	519
SCIBILIA Federica	Università degli Studi di Catania	705
SHCHERBYNA Mariya	Politecnico di Torino - East Ukrainian V. Dahl University	557
SOMMESE Francesco	Assegnista di ricerca, Università degli Studi di Napoli Federico II	431
SORRENTINO Andrea	Consiglio Nazionale delle Ricerche	375
SPADA Francesco	Assegnista di ricerca, Università della Calabria.	595
STANGANELLI Marialuce	Università degli Studi di Napoli Federico II	741
TACCHELLA Claudia	Assegnista di ricerca, Università degli Studi di Genova	669
TARANTINO Angelo Marcello	Università di Modena e Reggio Emilia	531
TEODOSIO Annarita	Assegnista di ricerca, Università degli Studi di Salerno	801
TESAURO Aniello	Storico	329, 341
TOCCI Cesare	Politecnico di Torino	445
TOSONE Alessandra	Università degli Studi dell'Aquila	997, 1011, 1023
VALENSISE Gianluca	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia-INGV	1121
VITTORIA Vittoria	già Università degli Studi di Salerno	375
WU Fengying	Tongji Univ. Shanghai, China	1071
ZHAO Lin	Tongji Univ. Shanghai, China	1071
ZORDAN Marcello	Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale	495
ZUCCHI Marco	Università di Modena e Reggio Emilia	531

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale

Naples, 2024 June 13th-14th

Volume III

Editors

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

Cuzzolin

First edition: June 2024
Prima edizione: giugno 2024

© 2024 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 979-12-81558-38-0

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

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

Editorial Office / Redazione:
Maurizio Cuzzolin

Printing / Stampa: Giannini - Napoli

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (President)
Gennaro Annunziata
Michele Brigante
Mario Como
Edoardo Cosenza
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Luciano De Menna
Giulio Fabricatore
Franz Graf
Giovanna Greco
Emanuela Guidoboni
Osama Hamdan
Elena Manzo
Luigi Marino
Vittorio Marchis
Raffaele Mauro
Dieter Mertens
Antonio Moccia
Gioconda Moscariello
Lia Maria Papa
Antoine Picon
Giuseppe Riccio
Angelo Domenico Perrini
Luciano Rosati
Bruno Siciliano
Andrea Silvestri
Raffaele Tarateta
Giuliana Tocco
Carlo Viggiani
Armando Zambrano

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

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
Rete Professioni Tecniche e Scientifiche

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

CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e i Consigli degli Ordini degli Ingegneri delle Province di Napoli e Salerno partecipano, fin dalla prima edizione, alla organizzazione di questo importante evento di grande interesse scientifico e culturale, giunto alla decima edizione. Da quest'anno è con AISI anche la Rete Professioni Tecniche e Scientifiche.

Al Comitato Scientifico, al Comitato Organizzatore, ai Relatori, a tutti gli Ospiti 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. Domenico Angelo Perrini

Il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
ing. Gennaro Annunziata

Il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
ing. Raffaele Tarateta

Il Coordinatore della Rete delle Professioni Tecniche e Scientifiche
ing. Armando Zambrano

Summary / Sommario

Volume I

Preface: Twenty years of History
Prefazione: Venti anni di Storia
Salvatore D'Agostino *XIX*

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali
The birth of Engineering for Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 3

Gli strumenti di misura per l'igrometria dal XV al XX secolo
The measuring instruments for hygrometry from 15th to 20th century
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 13

Continuità e innovazione tecnologica nelle strutture e infrastrutture di Caulonia tra la fine dell' VIII e il II sec. a.C.: alcune evidenze
Continuity and technological innovation in the structures and infrastructures of Caulonia between the end of the 8th and the 2nd century BC: some evidence
Maria Teresa Iannelli, Lucia Lepore 25

Verso la ricostruzione del meccanismo della fontana sonora, che attirò l'attenzione di Leonardo a Rimini nel 1502
Toward the reconstruction of the singing fountain mechanism, which captured the attention of Leonardo visiting Rimini in 1502
Pier Gabriele Molari 37

Guglielmo da Parigi e la torre dell'orologio di Castel Nuovo a Napoli
Guglielmo from Paris and the clock tower of Castel Nuovo in Naples
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 49

…e poi fu CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana). Una storia del calcolo numerico elettronico
…and then there was CEP (Pisan Electronic Calculator). A story of the electronic numerical calculation
Lucia Barsanti, Mario Calamia, Monica Gherardelli 61

Le tecniche costruttive antisismiche "spontanee" attraverso i documenti d'archivio: il caso della città di Cosenza
"Spontaneous" anti-seismic building techniques through archival documents: the case of the city of Cosenza
Federica Castiglione, Francesca Bilotta, Brunella Canonaco 73

Le capriate in legno della Reggia di Caserta
The wooden trusses of the Caserta Royal Palace
Giorgio Frunzio, Luigi Massaro, Luciana Di Gennaro 85

Peter Nicholson e il metodo pratico-descrittivo per la costruzione degli archi obliqui nell'Inghilterra dell'Ottocento
Peter Nicholson and the Practical-Descriptive Method for the Construction of Oblique Arches in Nineteenth Century England
Stefano Chiarenza, Barbara Messina 95

Teoria e prassi. Per una storia degli errori nell'ingegneria delle costruzioni
Theory and practice. For a history of errors in construction engineering
Luca Guardigli, Davide Prati 107

Le problematiche strutturali del sottosuolo napoletano nel corso della storia attraverso le memorie di antiche cave greche
The structural problems of the Neapolitan underground throughout history
Clemente Esposito 119

L'avvio della telegrafia elettrica in Italia. Il contributo di Francesco Zantedeschi (1797-1873)
The start of electric telegraphy in Italy. The contribution of Francesco Zantedeschi (1797-1873)
Lucia De Frenza 131

Le ricostruzioni e i restauri di Notre Dame dal XIX al XXI secolo, ovvero l'ingegneria in Francia da Rondelet e Violet le Duc fino ai giorni nostri
The reconstructions and restorations of Notre Dame from the 19th to the 21st centuries or engineering in France from Rondelet and Violet le Duc to the present day
Carlo Blasi 143

Breve Storia del Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio monumentale dal rischio sismico del Ministero dei Beni Culturali
A Brief History of the National Committee for the Prevention of Monumental Heritage Risk from Earthquakes of the Ministry of Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 155

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le fortificazioni liminali d'Oltremare in epoca Crociata: esperienze costruttive a confronto
The Overseas border fortifications at the time of the Crusades: constructive experiences compared
Basema Hamarneh, Luigi Marino 171

L'architettura delle tende nere beduine
The architecture of the Bedouin black tents
Luigi Marino 183

Il progetto PROTECT. Primi passi verso un protocollo operativo per la lettura archeosismologica speditiva dei centri storici
The PROTECT project. First steps towards an operational protocol for the light archaeoseismological analysis of historical
Andrea Arrighetti, Marco Repole 195

Breve storia della qualità dell'aria negli ambienti confinati
A short history of Indoor Air Quality
Gian Vincenzo Fracastoro 207

The Trochotron Beam-Switch Counter Arturo
Il contatore numerico Trochotron
Emilio Ciardiello 219

Tecniche antisismiche storiche nelle aree interne abruzzesi
Historical anti-seismic techniques in the internal areas of Abruzzo
Maurizio D'Antonio 231

Criteri costruttivi e tecniche antisismiche premoderne
Construction criteria and pre-modern anti-seismic techniques
Giovanni Cangi 243

La concezione dell'andamento plano-altimetrico delle strade: dal modello ferroviario a quello odierno
The plano-altimetrical road alignments: from the railway model to today's model
Raffaele Mauro, Anna Maragno 257

La costruzione di architetture centriche a inizio Cinquecento: geometria sottesa e dettagli costruttivi nelle cappelle Caracciolo di Vico e di Caterina Pignatelli
The construction of central plan architecture in the early 16th century: underlying geometry and construction details in the Caracciolo di Vico and Caterina Pignatelli chapels
Maria Teresa Como 269

Il pavimento a fiori nella biblioteca del palazzo ducale di Urbino, ripreso nel palazzo ducale di Gubbio: solo un esercizio grafico di Francesco di Giorgio?
The flowered floor in the library of the ducal palace of Urbino, reproduced in the ducal palace of Gubbio: just a graphic exercise by Francesco di Giorgio?
Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari 281

La strategia difensiva di Archimede nella fortezza di Siracusa
The defensive strategy of Archimedes in the Syracuse fortress
Umberto di Marco, Pier Gabriele Molari 293

La Grande Diga sul Fiume Jato in Sicilia. Promozione, progetto e costruzione
The Large Dam on the Jato River in Sicily. Promotion, Design, and Construction
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli, Vincenzo Canzoneri 305

Il progetto del grande ospedale di Napoli di Camillo Guerra e Girolamo Ippolito
The project of the great hospital of Naples by Camillo Guerra and Girolamo Ippolito
Arturo Armone Caruso 317

La produzione della carta in Costiera amalfitana
The production of paper in the Amalfi Coast
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 329

Le cartiere di Vietri sul mare: una breve storia
The paper mills of Vietri sul Mare: a brief history
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 341

La cartiera dell'Auso e l'antica turbina
The paper mill of Auso and the ancient turbine
Fabiana d'Ambrosio, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Giovanni d'Ambrosio, Pietro d'Ambrosio 351

Le indagini preventive e il supporto documentale per la corretta definizione degli interventi di restauro: il caso della Basilica inferiore del Duomo di Salerno
The preventive studies and documentary research for the correct definition of restoration interventions: the lower Basilica of the Salerno Cathedral
Gennaro Miccio 363

Nanocompositi e nanomateriali: una scoperta recente con radici lontane
Nanocomposites and nanomaterials: a recent discovery with distant roots
Andrea Sorrentino, Vittoria Vittoria 375

Una nuova analisi sismica delle strutture in muratura
A new seismic analysis of masonry structures
Simona Coccia, Mario Como 387

Lo sviluppo dell'illuminazione pubblica a Napoli
The development of public lighting in Naples
Roberta Gambardella 399

L'illuminazione pubblica a Napoli, concessioni e progetti dall'Unità d'Italia al Piano di risanamento e ampliamento della città di Napoli del 1885
Public lighting in Naples, concessions and projects from the Unification of Italy to the 1885 Plan of risanamento e ampliamento della città di Napoli
Federica Fiorillo 411

Le Supercinghie di Paolo Magaldi
Leather driving belts by Paolo Magaldi
Francesco Caputo, Paolo Magaldi Jr 421

Dalle miscele cementizie alle superfici architettoniche in pietra. Applicazioni con biossido di titanio tra storia recente ed evoluzione
From cement mixtures to architectural stone surfaces. Titanium-dioxide applications between recent history and evolution
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 431

La statica delle volte, alla prova delle bombe
The statics of bomb-proof vaulted structures
Cesare Tocci, Edoardo Piccoli 445

On Greek sphere-making
Sulla sferopea greca
Alessandro Amabile 457

Factories, bridges and steam engines: G.S. Poli, C. Lippi and the technological renovation in the Kingdom of Naples between the end of the 18th and the beginning of the 19th century
Fabbriche, ponti e macchine a vapore: G.S. Poli, C. Lippi e il rinnovamento tecnologico nel Regno di Napoli tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo
Salvatore Esposito 469

Trasporti urbani tra storia e prospettive per la transizione ecologica e sostenibile
History and prospects of urban transport for the ecological and sustainable transition
Antonio Coppola 481

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Il distretto industriale della Media Valle del Liri
The industrial district of the Liri Media Valley
Arturo Gallozzi, Michela Cigola, Marcello Zordan, Chiara Caira 495

Ingegneria ed Economia
Engineering and Economics
Riccardo Gallo 507

Historical industrial roots of management engineering: from the organization of work in the factory to the management of complex systems
Storiche radici industriali dell'ingegneria gestionale: dall'organizzazione del lavoro in fabbrica alla gestione dei sistemi complessi
Marcello Lando, Massimiliano M. Schiraldi 519

La formazione degli ingegneri a Modena dal Settecento a oggi. L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri e l'Università
The engineers education in Modena from XVIII century until today. The Institute of Pioneer Mathematical Cadets and University
Elena Corradini, Angelo Marcello Tarantino, Stefano Orlandini, Marco Zucchi 531

Agli albori dell'Ingegneria Chimica nell'Università di Napoli
At the dawn of Chemical Engineering at the Naples University
Carmine Colella 543

From Invisibility to Recognition: First Women Engineers at Politecnico di Torino
Da invisibili a protagoniste: le prime donne ingegnere del Politecnico di Torino
Margherita Bongiovanni, Mariya Shcherbyna (Maria Shcherbina), Francesca Gervasio 557

L'Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino
Nuclear Engineering at Politecnico di Torino
Vittorio Marchis, Bruno Panella 569

La fisica e l'ingegneria nucleare tra il CNRN e il CNEN
Nuclear Physics and Engineering between CNRN and CNEN
Andrea Battocchio 581

Volume II

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

Pier Luigi Nervi e la Nervi e Bartoli in Calabria. Progetti e realizzazioni (1957-1975)
Pier Luigi Nervi and Nervi and Bartoli in Calabria. Projects and realizations (1957-1975)
Laura Greco, Andrea De Luca, Valentina Guagliardi, Francesco Spada 595

Il progetto e la costruzione dei grandi collettori bassi delle fogne di Roma (1882-1925)
Design and construction of the modern collector sewers in Rome (1882-1925)
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 607

La Funivia del Gran Sasso d'Italia: un caso significativo di impianto a fune in Italia e in Europa
The Gran Sasso d'Italia cable car: a significant case of ropeway in Italy and Europe
Marco Paolucci, Ceren Ekinci, Simonetta Ciranna, Francesco D'Annibale 621

Necropoli Ellenistica di Neapolis. Ipogeo delle Colonne. Nuove osservazioni sulla tecnica costruttiva del prospetto monumentale
Hellenistic Necropolis of Neapolis. Hypogeum of the columns. New observations on the construction technique of the monumental façade
Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo, Giuseppe Piccolo 635

Decodificare per riscrivere la storia del patrimonio tecnico. Il caso Anic di Pisticci
Decode to rewrite the history of technical heritage. The Anic case of Pisticci
Mariangela Bellomo, Antonella Falotico 645

Migrazione di saperi dall'Italia all'Argentina. Gli ingegneri Luigi Luiggi (1856-1931) e Cesare Cipolletti (1843-1908)
Migration of knowledge from Italy to Argentina. The engineers Luigi Luiggi (1856-1931) and Cesare Cipolletti (1843-1908)
Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori 657

Anton Flettner e l'effetto Magnus
Anton Flettner and the Magnus effect
Massimo Corradi, Claudia Tacchella 669

«Stability and elegance»: the British Petroleum suspended structure in Antwerp (1959-1963)
«Stabilità ed eleganza»: la struttura sospesa della British Petroleum ad Anversa (1959-1963)
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 683

L'Ingegnere Vittorio Bonadé Bottino e l'albergo di Campo Imperatore
The Engineer Vittorio Bonadé Bottino and the Campo Imperatore Hotel
Vincenzo Di Florio, Alessandra D'Ovidio, Marco Felli 695

I progetti di Carmelo Sciuto-Patti per lo "Spedale medico per la città e mandamento di Giarre" (1866)
The projects of Carmelo Sciuto-Patti for the 'Medical hospital for the city and district of Giarre' (1866)
Federica Scibilia 705

Giuseppe Cigni e il rapporto tra ingegneria e architettura. Progetti e scritti di un progettista del secondo Novecento
Giuseppe Cigni and the link between engineering and architecture. Works and writings of a designer of the second half of the 20th century
Giovanni Bellucci 717

Affreschi di vita benedettina nel chiostro del Platano a Napoli: interventi novecenteschi per la risoluzione del problema dell'umidità
Benedectine life's frescoes in Chiostro del platano in Naples: twentieth-century interventions to solve the problem of damp
Giuliana Ricciardi 729

Adriano Olivetti, la costruzione dell'urbanistica italiana e due visioni contrapposte dello spazio urbano
Adriano Olivetti, the built of Italian urban planning and two different way of understanding urban space
Marialuce Stanganelli 741

Sperimentazioni strutturali del secondo Novecento: il nuovo mattatoio di Torino
Structural experimentations in the second half of the 20th century: the new slaughterhouse in Turin
Marika Mangosio 753

Il progetto ottocentesco della Stazione di Perugia-Fontivegge e sua ricostruzione virtuale
The nineteenth century project of the Perugia-Fontivegge Station and its virtual reconstruction
Chiara Mommi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andrea Migliosi 765

L'ingegnere Pasquale Amodio e l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli
The engineer Pasquale Amodio and the Aeronautical Academy of Pozzuoli
Lia Maria Papa 777

La storica questione dell'acqua potabile in città. Il caso dell'acquedotto di Salerno
The historical issue of drinking water in the urban context. The case of Salerno's aqueduct
Federica Ribera, Anna Gallo 789

Gli studi storico artistici dell'ingegnere Michele De Angelis
The historical and artistic studies of engineer Michele De Angelis
Annarita Teodosio 801

Emmanuele Rocco: un ingegnere nella Belle Èpoque e un protagonista del Risanamento a Napoli
Emmanuele Rocco: an engineer in the Belle Époque and a protagonist of the Redevelopment in Naples
Andrea Lizza 813

Breve biografia di Alfredo Cottrau: un pioniere delle costruzioni metalliche di fine Ottocento
Short biography of Alfredo Cottrau: a pioneer of late 19th century metal construction
Andrea Lizza 821

Da terme a cisterna: le cosiddette "Stanze di Venere" nel Parco archeologico delle terme romane di Baia
From baths to tank: the so called "Stanze di Venere" in the Archaeological Park of the roman baths of Baia
Daniele De Simone 827

Materiali e tecniche nella ricostruzione dell'ospizio del Pio Monte della Misericordia a Casamicciola
Materials and techniques in the reconstruction of the Pio Monte della Misericordia hospice in Casamicciola
Monica Esposito 837

Ingegneri e governance: note intorno a Gian Giacomo Plantery decurione
Engineers and governance: notes on Gian Giacomo Plantery decurione
Elena Gianasso 849

Modelli digitali delle architetture dell'acqua. Il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti
Digital models of water architectures. The Alviggi Mill-Ironworks in Sant'Agata de' Goti
Giuseppe Antuono 861

I Centri di Preparazione Olimpica di Roma e Formia: da impianti per lo sport di alto livello a beni architettonici di interesse culturale
The Olympic Preparation Centers in Rome and Formia: from high-level sports facilities to architectural heritage
Damiano Santillo 873

L'acquedotto ipogeo di Aesernia
The underground aqueduct of Aesernia
Damiano Santillo, Federico Capriuoli 887

Ingegneria al servizio dell'archeologia: il progetto CAST applicato alle grotte di Pertosa-Auletta
Engineering at the service of archaeology: the CAST project applied to the Pertosa-Auletta caves
Andrea Di Meo, Federico Capriuoli, Antonella Minelli 901

La fabbrica della Perugina a Fontivegge: ricostruzione di un luogo identitario della storia
The Perugina factory in Fontivegge: reconstruction of a historical identity place
Andrea Migliosi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Chiara Mommi 913

La Casa della Giovane Italiana a L'Aquila
The Italian Youth House in L'Aquila
Alessandra Bellicoso 925

Carlo Vanvitelli e il caso della scala di Palazzo d'Avalos a Procida
Carlo Vanvitelli and the Palazzo d'Avalos' staircase in Procida
Maria Rosaria Cocozza 937

"Gli ingegneri degli architetti": dal gruppo Structures3 al sodalizio tra Ove Arup & Partners e Renzo Piano (1971-1981)
"The engineers of architects": from Structures3 group to the partnership between Ove Arup & Partners and Renzo Piano (1971-1981)
Elisa Boeri, Michela Pilotti 947

Il Piano di Conservazione come strumento di tutela dell'architettura del XX secolo. Una sperimentazione per l'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano
The Conservation Plan as a tool for protecting 20th century architecture. An experiment for Pier Luigi Nervi's Hangar in Pontecagnano
Federica Ribera, Pasquale Cucco, Giulia Neri 959

Carlo Salvetti, un fisico teorico prestato all'ingegneria nucleare
Carlo Salvetti, a theoretical physicist lent to nuclear engineering
Andrea Battocchio, Roberto Lalli 967

William Thomson tra macchine termiche e spiritualismo
William Thomson between thermal machines and spiritualism
Mariano Bonaccorsi, Giuseppe Ruta 979

Il grande incendio del Palazzo Reale di Napoli del 1837 e la direzione tecnica delle operazioni di spegnimento della Compagnia dei Pompieri
The Great Fire of the Royal Palace of Naples in 1837 and the technical direction of firefighting operations by the Civic Fire Company
Michele Maria La Veglia, Clemente Esposito 991

A fili di ferro: il contributo di Marc Seguin allo sviluppo dei ponti sospesi in Italia
With iron wires: the contribution of Marc Seguin in the development of suspension bridges in Italy
Alessandra Tosone, Renato Morganti, Alessia Panepucci, Matteo Abita, Danilo Di Donato 997

Acciaio e fabbrica nel Mezzogiorno d'Italia. Architetture industriali del Secondo Novecento
Steel and factories. Industrial architecture of the second half of the twentieth century
Danilo Di Donato, Matteo Abita, Renato Morganti, Alessandra Tosone 1011

Contraddire l'archetipo. Potenzialità dell'acciaio nell'architettura di Julio Lafuente
To deny the archetype. Steel potential in Julio Lafuente's architecture
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 1023

L'alluvione del 1949 a Benevento
The Benevento 1949 flood
Vittorio Bovolin 1035

Borghi abbandonati: il caso di Roscigno e la sua lunga storia, dall'antichità a oggi
Abandoned villages: The case of Roscigno and its long history, from antiquity to today
Giovanna Greco 1047

THE STRAIT OF MESSINA BRIDGE
IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA

The evolution of super-long span bridge decks, from Tacoma to Messina
L'evoluzione degli impalcati nei ponti di grandissima luce, dal Tacoma al Messina
Giorgio Diana, Filippo Calamelli 1061

Most recent developments in large bridge aerodynamics (2013-2024)
Alcuni recenti sviluppi in aerodinamica dei ponti di grande luce (2013-2024)
Fengying Wu, Lin Zhao, Yaojun Ge, Claudio Borri 1071

L'evoluzione storica del progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, dalle idee primordiali al quinquennio decisivo, 2001-2006
The historical evolution of the project of the Strait of Messina Bridge, from the primordial ideas to the decisive quinquennium 2001-2006
Pietro Lunardi 1085

Analisi storica della mancata realizzazione del Ponte sullo Stretto
Historical analysis of the failure to construction of the Messina Strait Bridge
Giovanni Mòllica 1097

Evolution of viscoelastic dissipative models for structural systems crossed by moving loads
Evoluzione dei modelli dissipativi viscoelastici per sistemi strutturali attraversati da carichi mobili
Mario Di Paola, Giuseppe Muscolino 1109

L'area dello Stretto di Messina: analisi dei rischi geologici dopo il terremoto del 1908
The Messina Straits area: an overview of geological risks following the 1908 earthquake
Alberto Prestininzi, Gianluca Valensise 1121

Interaction between structural model and aerodynamics effects in the aeroelastic stability of suspension bridge
Interazione fra modello strutturale e aerodinamica nella stabilità aeroelastica dei ponti sospesi
Piero D'Asdia, Fabio Rizzo 1133

Le strutture del ponte sullo Stretto, dalle prime proposte al progetto definitivo
The structures of the bridge on the Strait, from the first proposals to the final design
Fabio Brancaleoni 1145

I cavi portanti dei ponti sospesi, passato e presente
The main cables of suspension bridges, past and present
Fabio Brancaleoni 1159

MEMORIES
RICORDI

Per una storia dell'Elettrotecnica a Napoli: il prof. Scipione Bobbio
For a history of Electrotechnics in Naples: professor Scipione Bobbio
Luciano De Menna 1175

Mario Raffa: Uno dei padri dell'Ingegneria Gestionale a Napoli e in Italia
Mario Raffa: One of the founding fathers of Management Engineering in Naples and Italy
Emilio Esposito 1187

Ricordo di Salvatore Di Pasquale
Memory of Salvatore Di Pasquale
Salvatore D'Agostino 1199

In memoria di Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
In memory of Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
Claudio Alessandri, Silvia Briccoli Bati, Giovanni Di Pasquale 1201

Salvatore Di Pasquale - Pubblicazioni 1958-2008
Salvatore Di Pasquale - Papers 1958-2008
Giovanni Di Pasquale 1213

Salvatore Di Pasquale e la cupola del Brunelleschi
Salvatore Di Pasquale and the Brunelleschi Dome
Mario Como 1229

Maria Letizia Conforto (1940-2024): una Architetta Archeologa
Maria Letizia Conforto (1940-2024): an Architect Archaelogist
Salvatore D'Agostino 1241

Author Index
Indice degli Autori 1253

Volume III

Presentation
Presentazione
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano 1259

SUMMARIES
SOMMARI

Proceedings of 1st National Conference
Atti del 1° Convegno Nazionale - 2006 1265

Proceedings of 2nd National Conference
Atti del 2° Convegno Nazionale - 2008 1275

Proceedings of 3rd National Conference
Atti del 3° Convegno Nazionale - 2010 1287

Proceedings of 4th National Conference
Atti del 4° Convegno Nazionale - 2012 1297

Proceedings of 1st International Conference
Atti del 5° Convegno Nazionale - 2014 1305

Proceedings of 2nd International Conference
Atti del 6° Convegno Nazionale - 2016 1315

Proceedings of 3rd International Conference
Atti del 7° Convegno Nazionale - 2018 1323

Proceedings of 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale - 2020 1333

Proceedings of 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale - 2022 1341

Proceedings of 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale - 2024 1353

GENERAL INDEX OF AUTHORS
INDICE GENERALE DEGLI AUTORI 1369

Salvatore D'Agostino

Preface

Twenty years of History

This adventure began in 2004, inspired by the need to understand one's past and promote a broader culture of Engineering, recognizing its meaningful contribution to society's development in a vision that increasingly appears interdisciplinary.

Over the first two years, meetings and discussions with various Engineering faculties and the Conference of Deans occurred. Efforts were made to raise awareness among Architecture faculties, which share so much cultural heritage with Engineering ones. Finally, the Engineer Associations of Naples and Salerno were involved, along with the National Engineers Council (CNI), who immediately showed interest in AISI, its purposes, and its initiatives. These two years of cultural commitment culminated in the first National Conference held at the Conference Centre of the University of Naples Federico II in 2006. It was a success beyond all expectations with the publication of the Proceedings in two volumes with more than 1100 pages and 100 contributions from scholars from 25 universities.

Then, this process continued relentlessly in all subsequent Conferences, and with the current conference, twenty volumes will have been published, totaling over 12,000 pages, available on the AISI website (www.aising.eu).

These have been exciting years, and such demanding work has been made possible by the essential contribution of several colleagues whom I want to thank here with affection and gratitude: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Lia Papa*, and *Boris Palella* who replaced Giulio in the demanding role of Treasurer. It is also appropriate to mention *Maurizio Cuzzolin*, the publisher, for his fundamental contribution. From the beginning, there has been with him a perfect harmony witnessed by the publication of the elegant volumes of the Conference Proceedings.

Meanwhile, increasingly involved in the Association and, therefore, in the History of Engineering, was *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano*, Full Professor of Building Physics and Building Energy Systems at the University of Salerno. Her passionate and qualified cultural and organizational commitment, increasingly developed over time, naturally led Francesca to assume the role of president of AISI in 2020. Since 2020, under her presidency, AISI has strengthened and expanded, among other things, its relationship with the National Engineers Council.

Since 2020, AISI and CNI have promoted numerous seminars of high interdisciplinary value, disseminated through the CNI's web platform with hundreds and hundreds of participants. Guided tours of relevant cultural sites have been arranged, and new relationships with other associations have been established.

The propulsive activity of the Conferences continues to this day with unchanged success. Therefore, I am proud of this long journey that I am sure will be further developed with tenacity and cultural awareness by the President and the entire Board, with effectiveness and punctuality.

I cannot forget the dear *Luciana Sepe*, who handled AISI with affection and dedication since its inception, giving so much to the Association. Luciana is missed by me and by all of us.

Finally, thanks to *Giuseppe Miranda* and *Anna Natale*, who continue to be by our side.

I, therefore, hope, confidently, for AISI a bright future crowned by a widespread History of Engineering in our country.

Salvatore D'Agostino

Prefazione

Venti anni di Storia

Un'avventura iniziata nel 2004, ispirata dalla necessità di conoscere il proprio passato e promuovere una più vasta cultura dell'Ingegneria, nella consapevolezza del Suo poderoso apporto allo sviluppo della società, in una visione che si prospetta sempre più interdisciplinare.

In principio, in due anni, si svilupparono incontri e confronti con diverse Facoltà di Ingegneria e con la Conferenza dei Presidi, si cercò di sensibilizzare le Facoltà di Architettura, che tanto patrimonio culturale condividono con le Facoltà di Ingegneria, e, infine, si coinvolsero gli Ordini Provinciali degli Ingegneri di Napoli e Salerno, che, come anche il Consiglio Nazionale Ingegneri, si mostrarono immediatamente partecipi all'AISI, ai suoi scopi e alle sue iniziative. Furono due anni di impegno culturale che culminarono con il primo Convegno Nazionale, a Napoli nel 2006, nella sede del Centro Congressi della Università Federico II. Fu un successo, al di là di ogni previsione, con la pubblicazione degli Atti in due Tomi, per oltre 1100 pagine e oltre cento contributi di studiosi provenienti da venticinque Università.

Questo processo è poi proseguito inarrestabile in tutti i Convegni successivi e con l'attuale convegno saranno stati editi venti volumi, per oltre 12.000 pagine, disponibili sul sito AISI (www.aising.eu).

Sono stati anni esaltanti e un così impegnativo lavoro è stato reso possibile dall'essenziale contributo di diversi colleghi che qui voglio ringraziare con affetto e gratitudine: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Lia Papa* e *Boris Palella* che ha sostituito Giulio nell'impegnativa funzione di Tesoriere. È qui opportuno anche ricordare, per il suo fondamentale contributo, l'editore *Maurizio Cuzzolin* con il quale, sin dall'inizio, si è sviluppata una perfetta sintonia, concretizzatasi nella pubblicazione degli eleganti cofanetti degli Atti dei Convegni.

Intanto, era sempre più attivamente interessata all'Associazione, e, quindi, alla Storia dell'Ingegneria, *Francesca Romana d'Ambrosio*, professoressa ordinaria di Fisica Tecnica Ambientale presso l'Università di Salerno. Il suo appassionato e qualificato impegno culturale e organizzativo, sempre più intensamente sviluppatosi nel tempo, ha reso quindi naturale che Francesca ricoprisse dal 2020 il ruolo di Presidente dell'AISI. Dal 2020 a oggi, sotto la sua presidenza, l'AISI ha rafforzato e ampliato, tra l'altro, il rapporto con il Consiglio Nazionale Ingegneri.

Dal 2020 AISI e CNI hanno insieme promosso numerosi seminari di alto valore interdisciplinare, diffusi dalla piattaforma nazionale del CNI, con molte centinaia di ascoltatori; sono state organizzate visite guidate a importanti siti culturali ed è stata sviluppata una serie di rapporti con altre Associazioni.

L'attività propulsiva dei Convegni continua a tutt'oggi con immutato successo.

Sono quindi orgoglioso di questo lungo percorso che sono certo sarà ulteriormente sviluppato con tenacia e consapevolezza culturale dalla Presidente e dal Consiglio Direttivo tutto, con efficacia e puntualità.

Non posso non ricordare la carissima *Luciana Sepe*, che ha seguito con affetto e dedizione l'AISI dalla sua nascita e che ha tanto dato all'Associazione: Luciana manca a me, a tutti noi.

Infine, grazie a *Giuseppe Miranda* e a *Anna Natale*, che continuano a esserci accanto.

Auspico, allora, fiducioso, per l'AISI un luminoso futuro coronato da un vasto diffondersi della Storia dell'Ingegneria nel nostro Paese.

Francesca Romana d'Ambrosio Alfano

Presentation

I believe that the Proceedings of our Conferences are a powerful tool for pursuing one of the objectives of the Italian Association of History of Engineering which is, as stated in the Statute, «to promote the dissemination, education, guidance and promotion of the History of Engineering in all its sectors: from civil engineering to the most recent bioengineering».

The AISI Proceedings are indeed a consolidated reference for anyone who wants to approach the fascinating and multifaceted world of the History of Engineering which is, in some way, the history of stories: stories of discoveries and inventions, history of challenges and research, story of people who made history.

The Proceedings are available on the Association's website and are intended for all those who, for the most diverse reasons, from research to simple curiosity, want to delve deeper into topics related to archaeology, art history, architecture, even medicine and human sciences, up to physics and astronomy. The hope is that their reading can stimulate considering the History of Engineering as a starting point for an "alternative" approach to knowledge.

At this tenth conference, we decided to collect all the indices of the volumes published until now, aiming to provide a complete list of the more than 1,000 contributions presented, for over 12,000 pages. Over the years the Proceedings have changed a lot: in 2014 the abstract in English was introduced, and since 2020 the title and abstract are available in both Italian and English. We thought for a long time about the criterion to use for the general index reported here, and in the end, we have opted for a "photo": the reader can precisely find what was and is available each year.

I would now like to thank all the people who contributed to the realization of the AISI Proceedings. First, *Salvatore D'Agostino*, founder and driving force of the Association, and then the Editors who have succeeded over the years: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Elena Manzo*, *Raffaele Mauro*, *Lia Papa*. Thanks to *Giulio Fabricatore* and *Giovanni Pastore*, who have taken on the task of graphic design, and thanks to *Giuseppe Miranda*, who supports us with great patience. Thanks to *Maurizio Cuzzolin*, who follows us with attention and delicacy. Thanks to *Luciana Sepe*, to her discreet presence, to her wise advice: we miss her so much.

Thanks to those who support us: the National Council of Engineers, the Orders of Engineers of the Provinces of Naples and Salerno and the Technical Professions Network. Thanks to CIBeC, the Interdepartmental Centre of Engineering for the Cultural Heritage of the University of Naples Federico II, which follows us in all our initiatives.

Thanks you all, who wrote for us and to those who read one or more of the papers.

See you at the next Conference!

Francesca Romana d'Ambrosio Alfano

Presentazione

Credo che gli Atti dei nostri Convegni siano un potente strumento per perseguire uno degli obiettivi dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria che è, come recita lo Statuto, «favorire la diffusione, la formazione, l'orientamento e la promozione della Storia dell'Ingegneria in tutti i suoi settori: dall'ingegneria civile alla più recente bioingegneria». Gli Atti AISI costituiscono infatti un consolidato riferimento per chiunque voglia avvicinarsi all'affascinante e poliedrico mondo della Storia dell'Ingegneria che è, in qualche modo, la storia delle storie: storie di scoperte e invenzioni, storia di sfide e ricerche, storia di persone che hanno fatto la storia.

Gli Atti sono disponibili sul sito dell'Associazione e sono destinati a tutti coloro che per motivi i più diversi, dalla ricerca alla semplice curiosità, vogliono approfondire temi che hanno che fare con l'archeologia, con la storia dell'arte, con l'architettura, ma anche con la medicina e con le scienze umane, fino alla fisica e all'astronomia. L'auspicio è che la loro lettura possa essere di stimolo a considerare la Storia dell'Ingegneria come punto di partenza per un approccio "alternativo" alla conoscenza.

In occasione di questo decimo convegno abbiamo pensato di raccogliere tutti gli indici dei volumi fino a oggi pubblicati, per avere a disposizione un elenco completo dei 1.000 e più contributi presentati, per un totale di oltre 12.000 pagine. In questi anni gli Atti sono cambiati molto: nel 2014 è stato introdotto l'abstract in inglese, dal 2020 sono presenti il titolo e l'abstract sia in italiano che in inglese. Abbiamo pensato a lungo al criterio da utilizzare per l'indice generale qui riportato a alla fine ci siamo orientati sulla "fotografia": anno per anno chi legge troverà esattamente ciò che in quell'anno era ed è disponibile.

Vorrei ora ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla realizzazione degli Atti AISI. Per cominciare, *Salvatore D'Agostino*, fondatore e motore primo dell'Associazione, e poi i curatori che negli anni si sono succeduti: *Alfredo Buccaro*, *Giulio Fabricatore*, *Elena Manzo*, *Raffaele Mauro*, *Lia Papa*. Grazie a *Giulio Fabricatore* e a *Giovanni Pastore*, che si sono passati la staffetta nel compito della progettazione grafica e grazie a *Giuseppe Miranda*, che ci supporta con grande pazienza. Grazie a *Maurizio Cuzzolin*, che ci segue con attenzione e delicatezza. Grazie a *Luciana Sepe*, alla sua presenza discreta, ai suoi saggi consigli: ci manca tanto.

Grazie a chi ci supporta: il Consiglio Nazionale degli Ingegneri, gli Ordini degli Ingegneri delle Province di Napoli e Salerno e la Rete Professioni Tecniche e Scientifiche. Grazie al CIBeC, il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, che ci segue in ogni nostra iniziativa.

Grazie a voi, tutte e tutti, che avete scritto per noi e a voi che leggerete uno o più dei contributi.

Arrivederci al prossimo Convegno!

SUMMARIES

SOMMARI

Proceedings of the 1st National Conference
Atti del 1° Convegno Nazionale
2006

Summary
Sommario

Volume I

Perché la Storia dell'Ingegneria: necessità, propositi, prospettive
Salvatore D'Agostino 17

Il contributo dell'Ordine Professionale per la Storia dell'Ingegneria
Luigi Vinci 23

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

La Storia della Scienza e il fondamento del saper fare
Maurizio Torrini 27

Obiettivi di una Storia della Scienza e della Tecnologia con funzioni terapeutiche
Luciano De Menna, Luigi Verolino 33

Matematica e Ingegneria: convergenze parallele
Vincenzo Ferone, Guido Trombetti 39

Per una Teoria e Storia dell'Ingegneria
Vittorio Marchis 49

Ingegneria tra ricerca e innovazione
Luigi Nicolais 59

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

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

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

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

Geotecnica e Ingegneria Civile
Giovanni Calabresi 101

Storia dell'Ingegneria Marittima in Italia
Leopoldo Franco 109

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

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

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

Storia della luce e dell'illuminazione
Luciano Di Fraia 147

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

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Le fonti dell'Archivio Centrale dello Stato per la Storia dell'Ingegneria
Aldo G. Ricci 169

Problemi di 'ingegneria' in alcuni scritti di medicina medievale
Paola Capone 185

Il bisogno di filosofia nella formazione dell'ingegnere. Evoluzione storica e risvolti antropologici
Maria Teresa Russo 195

Ingegneri e istituzioni alla fine del XVIII secolo
Fausto De Mattia, Felicita De Negri 207

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

La nascita delle Facoltà di Ingegneria e di Architettura in Italia
Andrea Silvestri 223

La scuola romana degli ingegneri pontifici
Angela Marino 235

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

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

L'avvio degli studi di ingegneria in America
Vito Cardone 267

L'insegnamento dell'Architettura nella Facoltà di Ingegneria di Palermo
Antonio Cottone 279

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La nascita dell'ingegneria elettrica in Europa
Sigfrido Leschiutta 385

Rappresentazione ed analisi di macchine e meccanismi nella trattatistica tecnica dal XV al XVII secolo
Michela Cigola, Marco Ceccarelli 395

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

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

La nascita dell'Ordine degli Ingegneri: tutela del titolo ed evoluzione del ruolo (1923-1950)
Adriana Di Leo 421

Da Ferraris a Giorgi: la scuola italiana di Elettrotecnica
Adriano Paolo Morando 431

Sviluppi della Fisica Tecnica nelle Facoltà di Ingegneria italiane
Enrico Maria Latrofa 455

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

Un'esperienza di insegnamento della storia dell'Ingegneria Meccanica
Francesco Rosa, Edoardo Rovida 481

Idee per un corso di 'Storia dell'Ingegneria' presso l'Università di Firenze
Franco Angotti, Mauro Cozzi, Giuseppe Pelosi, Sergio Reale, Gianfranco Manes 487

Studi d'Ingegneria: dopo quaranta anni il cammino della riforma non è ancora completato
Nicola Alberti, Bruno Di Maio 493

Volume II

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato
Roberto Gori 523

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Una breve rassegna sugli automi: la meccanica che ha preceduto i robot
Cesare Rossi 737

Cenni di telegrafia senza elettricità
Sandra Marini, Giuseppe Pelosi, Stefano Selleri 751

La distribuzione dell'energia elettrica: nascita, affermazione e contributi italiani
Massimo Guarnieri 761

Contributo della Facoltà di Ingegneria di Napoli allo sviluppo e all'utilizzazione di laser di potenza
Salvatore Solimeno 771

L'evoluzione aerodinamica delle vetture di Formula Uno
Paolo Pinto 779

Storia del rientro atmosferico da missioni spaziali
Rodolfo Monti, Giuseppe De Chiara 789

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Un ingegnere Romano di epoca tardo repubblicana: Lucio Cocceio Aucto
Carlo Viggiani 807

Sulla termotecnica in epoca romana
Francesca R. d'Ambrosio, Antonello Chidichimo, Ferdinando Sorrentino 819

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

Breve excursus storico delle officine vetrarie
Francesco Branda 843

De Aquaeductu Urbis Romae di Sesto Giulio Frontino
Pasquale Argenziano 853

Sulla resistenza strutturale degli antichi ponti
Marcello Fulgione 861

Storie di ponti
Mario Manganaro 873

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

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

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

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

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

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

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

I cannoni del Regno di Napoli
Francesco Caputo 967

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

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

Il porto borbonico di Ischia
Francesco Rispoli 1001

Da un primato storico a un progetto di archeologia industriale. La prima ferrovia italiana Napoli-Portici, ieri e … domani
Anna Natale 1111

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

Il ponte ferroviario fra Venezia e la terraferma
Laura Facchinelli 1031

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

L'autostrada del Sole
Tullia Iori 1133

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

Lorenzo Allievi e la cinematica dei meccanismi in Italia nel XIX secolo
Marco Ceccarelli, Teun Koetsier 1153

Le imprese polari del generale Umberto Nobile
Dario Assante, Luigi Verolino 1165

L'idroplano di Enrico Forlanini
Sara Calabrò, Cesare Cardani 1173

Proceedings of the 2nd National Conference
Atti del 2° Convegno Nazionale
2008

Summary
Sommario

Volume I

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

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Breve storia della chimica
Francesco Branda 135

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

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

Una storia degli strumenti di analisi strutturale
Nicola Augenti 165

Logica ed evoluzione delle strategie descrittive
Lia M. Papa 175

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

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

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

La lampadina elettrica: una storia anche italiana
Giulio Fabricatore 211

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

La Storia della Radio nella mostra di Cassino sulla Storia dell'Ingegneria delle Telecomunicazioni
Marco Donald Migliore, Franco Cremona, Fulvio Schettino, Ciro D'Elia 237

Il Radar e la sua storia. Il museo del Radar di SELEX Sistemi Integrati
Antonio Puglia 247

Sviluppo di automi in Italia
Marco Ceccarelli, Michela Cigola, Cesare Rossi 257

Storia dell'Ingegneria Forense
Nicola Augenti 267

Le comunicazioni mobili: una storia in movimento
Ermanno Turco, Pasquale Fedele 277

La sicurezza stradale per una mobilità responsabile
Antonio Coppola 297

Ingegneria e beni culturali: interdisciplinarietà in una collaborazione recente e in continua evoluzione
Silvia Pennisi, Raffaella Riva Sanseverino 309

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Innovazione tecnologica e innovazione formale nell'architettura: l'evoluzione nelle costruzioni in calcestruzzo armato
Rosalba La Creta, Luigi Alini 321

Ingegneria e architettura nel modernismo italiano: strutturalismo e realismo
Sergio Poretti 331

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

Costruire con la terra cruda: un esempio dall'antichità
Giovanna Greco 349

Breve storia dell'evoluzione dei modelli per il suono nelle grandi sale
Carmine Ianniello 361

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

Origini filosofiche del principio delle velocità virtuali
Anna Sinopoli 389

Principio delle velocità virtuali e trasformazione per analogia degli 'oggetti' della meccanica
Anna Sinopoli 399

Il meccanismo di Anticitera: un oggetto fuori tempo o un prodotto dell'età classica?
Cesare Rossi, Ferruccio Russo, Flavio Russo 409

Per una storia dell'ingegneria idraulica nell'antichità
Maria Letizia Conforto, Silvia Nicolucci 421

Il porto dell'antica Puteoli: evoluzione dell'ingegneria marittima in età romana
Marida Salvatori 431

Malte per il restauro di opere d'arte antiche
Riccardo Sersale 441

Traiettorie tecnologiche nell'invenzione dell'orologio meccanico nel Medioevo
Giuseppe Zollo 449

Alcune tappe verso l'automazione
Cesare Rossi, Michela Cigola, Marco Ceccarelli 461

Aspetti della costruzione dei ponti nel Settecento
Luciano Maria Monaco 471

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

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

Dalla cultura tecnica settecentesca alla meccanica di Navier
Luciano Boscotrecase 497

Note sulla diagnosi dei dissesti strutturali tra XVIII e XIX secolo
Bianca Gioia Marino 509

I sistemi di misura nel Mezzogiorno verso l''eguaglianza': da due pesi e due misure al sistema metrico decimale
Francesca M. Lo Faro 521

Un disegno per l'ingegneria ottocentesca
Cristina Càndito 541

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

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

Stazioni ferroviarie: disegno e tecnologie tra XIX e XX secolo
Pierpaolo D'Agostino 573

I cicli tecnologici del trasporto terrestre delle merci
Paolo Ferrari 583

Evoluzione dei traffici e degli impianti portuali
Edoardo Benassai 595

Un manoscritto anonimo di esperienze idrauliche
Filippo Nieddu 607

Sviluppo della valorizzazione irrigua nel Mezzogiorno
Roberto Carravetta 615

Dismissione e rinascita del trasporto tranviario. Il caso di Napoli
Giovanni Fresa 629

La cassaforma nella costruzione italiana del Novecento
Stefania Mornati 639

Prime applicazioni del calcestruzzo armato nella trasformazione di antichi edifici a Napoli
Raffaele Amore 649

Consolidaciones históricas. Las fábricas tradicionales y su consolidación mediante sistemas y técnicas constructivas 'modernas'
Susana Mora Alonso-Muñoyerro 661

Relazione tra forma e struttura nella recente storia dei ponti italiani
Stefania Palaoro, Enzo Siviero 671

L'edilizia scolastica prefabbricata in Italia. La sperimentazione degli anni '60
Riccardo Gulli 681

La costruzione metallica nell'architettura dei punti ristoro autostradali del dopoguerra in Italia
Laura Greco 691

Patrimonio storico e catalogazione dei disegni
Francesco Rosa, Edoardo Rovida 701

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

Le perizie tecniche per la stabilità della tholos micenea
Maria Teresa Como 717

L'ultima città. Ricerca formale ed elementi costruttivi nelle necropoli etrusche
Gigliola Ausiello 727

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

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

Volume II

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

L'insegnamento delle discipline umanistiche e sociali nella formazione degli ingegneri
Vito Cardone 781

Ingegneria tra scienza e arte: il Codice Corazza e la permanenza del modello vinciano nella cultura napoletana
Alfredo Buccaro 797

Il disegno illuminato dal testo
Pier Gabriele Molari 811

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

L'ingegnere oggi tra azienda e società
Mario Raffa 945

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Luigi Giura: il primo ingegnere di Stato nell'Italia in costruzione
Edoardo Cosenza, Roberto Parisi 959

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

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

Eugenio Miozzi, un ingegnere tra tradizione e modernità
Enzo Siviero, Ilaria Zampini 991

Santo Domingo de la Calzada: l'ingegnere del Camino de Santiago
Giulio Fabricatore 1001

Obras de ingeniería en el Próximo Oriente en la Antigüedad
Amparo Graciani García 1007

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

L'approvvigionamento idrico della città di Napoli. L'acquedotto del Serino e il Formale Reale in un manoscritto della Biblioteca Nazionale di Madrid
Giuseppe Maria Montuono 1029

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

Luigi Vanvitelli e la cultura tecnica del Settecento
Aldo Aveta 1061

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Infrastrutture ottocentesche della costa tirrenica orientale della Sicilia
Mario Manganaro 1215

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

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

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

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

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

Ponti in muratura di fine '800 nell'Italia meridionale
Paolo Belli 1275

Le infrastrutture storiche della Valsugana
Anna Villanova 1281

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

Infrastrutture territoriali ed urbane in Costiera Amalfitana tra Otto e Novecento
Maria Russo 1301

Prime funicolari: binari, freni, funi, rulli
Giovanni Fresa 1311

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

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

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell'ingegneria del primo Novecento. Parte I: il profilo del professionista, dall'architetto all'ingegnere
Enzo Siviero, Marcello Arici, Francesca Arici 1341

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell'ingegneria del primo Novecento. Parte II: il profilo dell'ingegnere
Enzo Siviero, Marcello Arici, Francesca Arici 1351

Cento anni di solitudine nell'Irpinia balcanica. Emigrazione, capitali ed elettrificazione a Greci
Carlo Meola 1359

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

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

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

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

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

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

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

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

Carlo Pradella ingegnere
Enzo Siviero, Giorgio Pradella 1457

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

Carlos Raúl Villanueva. Pionero en la construcción de la modernidad venezolana
Nancy Dembo 1475

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

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

Strutture di accosto nei porti marittimi
Edoardo Benassai 1511

Proceedings of the 3rd National Conference
Atti del 3° Convegno Nazionale
2010

Summary
Sommario

Volume I

Prefazione
Salvatore D'Agostino X

STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Un manoscritto ritrovato e altri eventi per riscrivere la storia del radar italiano
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Alessandro Mori 7

Studio della forma dell'automobile: l'esperienza Pininfarina
Riccardo Majocchi 17

Matematica e Ingegneria nei primi decenni di vita del Politecnico di Milano
Andrea Silvestri 29

Il Vajont. I primi interventi dopo il disastro
Giovanni Travaglini 45

Dalle storie di dighe ad una storia dell'ingegneria delle dighe in Italia
Ruggiero Jappelli 57

I Provveditorati alle OO.PP.: la loro storia, il loro ruolo nel controllo e nella infrastrutturazione del territorio italiano
Donato Carlea 69

Scienza, tecnologia, progresso nella visione degli ingegneri scrittori
Vito Cardone 91

Dalle Scuole di Applicazione al futuro: quale cultura per l'Ingegneria?
Salvatore D'Agostino 107

La gestione di grandi progetti alla frontiera della conoscenza: la lezione del Manhattan Project
Barry Shore, Giuseppe Zollo 117

L'ingegneria nucleare e l'atomica: un percorso etico
Massimo Zucchetti 129

Crisi energetiche ed esaurimento delle risorse: minacce recenti?
Massimo Guarnieri 141

Terremoti, case e sicurezza abitativa. Qualche osservazione dal punto di vista storico sull'Italia precontemporanea
Emanuela Guidoboni 151

Scienza e tecnica nel Magistero della Chiesa. «L'autonomia della ricerca scientifica» nei documenti del Concilio Vaticano II
Bruno Bisceglia 169

I problemi di Routing da Eulero ai nostri giorni
Giuseppe Bruno, Andrea Genovese, Gennaro Improta 175

L'infomobilità in Italia e l'esperienza innovativa della Campania
Antonio Coppola 193

La nascita del tetto con le tegole e la formazione dei sistemi decorativi: qualche riflessione
Giovanna Greco 207

Strumenti greco-romani per la misura delle distanze
Michela Cigola, Flavio Russo, Cesare Rossi, Marco Ceccarellli 219

Il cemento romano: un precursore dei cementi belitici?
Riccardo Sersale 229

Alcune riflessioni sulla storia del disegno in ambito industriale
Emilio Chirone, Edoardo Rovida 239

La siderurgia rinascimentale: l'impianto estense in Garfagnana
Walter Nicodemi, Silvia Barella, Carlo Mapelli 249

Invarianti e dinamiche della professione nel Mezzogiorno tra Cinque e Settecento
Alfredo Buccaro 261

Histoire du froid
Didier Coulomb 271

La rivoluzione chimica di Lavoisier
Francesco Branda 281

Breve storia della reologia
Giuseppe Marrucci 291

Origine e sviluppo delle discipline chimiche applicate nelle Scuole di Ingegneria
Carmine Colella, Daniela Piscopo 301

La statica grafica nell'ingegneria civile di fine Ottocento
Danilo Capecchi, Giuseppe Ruta 313

L'evoluzione del percorso ergonomico in ingegneria
Paola Cenni, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano 323

Itinerari storici nell'ingegneria geotecnica italiana
Alessandro Flora, Ruggiero Jappelli, Carlo Viggiani 339

Ingegneria e sottosuolo: il caso Napoli
Carlo Viggiani 349

La modellazione strutturale nel Novecento. Ragioni e diffusione dell'induttivismo sperimentale in Italia e all'estero
Mario Alberto Chiorino, Gabriele Neri 367

Qualche cenno sulla nascita, sugli sviluppi e su alcune attuali applicazioni dell'Ingegneria del Traffico
Raffaele Mauro 377

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Come costruire una cupola e vivere sereni
Eugenio Galdieri 387

La "macchina" delle terme romane; architettura e funzioni
Giuseppe Maria Montuono 399

Proprietà dei materiali da costruzione: antichi e moderni metodi di analisi
Rosa Oscurato, Ferdinando Toraldo, Michele Brigante 411

Geometria pratica e geometria teorica
Maura Boffito 421

Storia della Fulminologia
Amedeo Andreotti, Dario Assante, Luigi Verolino 429

L'illuminazione pubblica ad olio nella Napoli del Settecento. Origini ed esperimenti
Andrea Lizza 439

Committenti, maestranze e tecnici nella costruzione rurale dell'agro ericino tra il XVIII ed il XIX secolo
Giuseppe Costa 447

L'acustica nell'architettura teatrale al principio del XIX secolo: dal National Theater allo Schauspielhaus di Berlino
Andrea Maglio 459

Ordonnance e solidité: un problema di architettura tra décadence e scienza del costruire all'inizio del XIX secolo
Bianca Gioia Marino 469

Progetti ottocenteschi di potenziamento della rete carrabile della Costiera Amalfitana
Maria Russo 483

El sistema polonçeau en el Puente Isabel II (puente de Triana, Sevilla, España)
Amparo Graciani Garcìa 493

Gli ingegneri e la manualistica per l'edilizia razionale ed economica all'inizio del XX secolo
Claudio Mazzanti 505

L'edilizia rurale: architetti e ingegneri a confronto nel primo Novecento
Gabriella Musto 515

I brevetti Deneux per il c.a. e le loro applicazioni nella ricostruzione delle chiese di Reims (1919-1938)
Maria Rosaria Vitale 529

Edilizia scolastica a Salerno tra le due guerre: evoluzione dei modi del costruire tra tradizione e modernità
Federica Ribera, Pasquale Dolgetta 543

La struttura dell'arco nell'architettura italiana moderna
Stefania Palaoro, Enzo Siviero 557

L'alta velocità ferroviaria. Un'occasione perduta
Emilio Maraini 567

La costruzione metallica per sistemi edilizi antisismici: l'Istituto dei concorsi in Italia
Renato Morganti, Alessandra Tosone 579

Innesti di strutture in c.a. in edifici in muratura: ricadute sulla analisi di vulnerabilità
Michele Brigante 591

Il Museo dell'Industria a Brescia
Emilio Chirone, Pier Paolo Poggio 601

L'importanza delle spiagge urbane e del loro equilibrio
Edoardo Benassai 611

Le tecnologie FRP e FRCM. Evoluzione in ambito edilizio
Mariangela Bellomo 623

La relazione tra forma e struttura nella storia della leggerezza in architettura: le tensostrutture a membrana
Alessandra Zingone 633

Volume II

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Ingegneria militare borbonica. La formazione nel Settecento dalla lettura delle "Reali Ordinanze"
Maria Gabriella Pezone 643

Le ricerche scientifiche in Campania di Charles Babbage, l'inventore della macchina alle differenze
Andrea Villa 657

La nascente cultura ingegneristica e il tema della cupola nella Sicilia dell'Ottocento
Bruno Billeci 663

Alle radici delle discipline: l'Architettura nelle Scuole di Applicazione fra Otto e Novecento
Maria Beatrice Bettazzi. Pier Giorgio Massaretti, Giovanni Mochi, Giorgia Predari 675

L'influenza dell'École des Ponts et Chaussées nella formazione professionale degli ingegneri Civili del Corpo Reale del Genio degli Stati Sardi
Cristina Boido 687

Architetti e ingegneri nelle trasformazioni della città di Napoli agli inizi del XX secolo
Aldo Aveta 697

I modelli, geometrici e grafici, come strumenti nella formazione e nella pratica dell'ingegnere
Lia Maria Papa 711

La Facoltà d'Ingegneria a Pisa dalla nascita (1913) all'immediato dopoguerra (1950)
Enrico Maria Latrofa 723

La storia dell'ingegneria e la formazione degli ingegneri
Francesco Rosa, Edoardo Rovida 735

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

La storia, il percorso e le opere dell'acquedotto Augusteo di Serino
Giovanni De Feo, Sabino De Gisi 745

Roma, Terme di Caracalla, volte a concrezione
Maria Letizia Conforto, Silvia Nicolucci 755

Sulla costruzione e sulla statica della cupola di Brunelleschi
Mario Como 769

Il Ponte del Carmine a Bitonto. Precetti strutturali e proposizioni palladiane
Tommaso Maria Massarelli 779

L'ingegneria militare del XVI secolo: Cristòbal de Rojas e i trattatisti italiani
Nina Maria Margiotta 787

Il ruolo della meccanica ne Le fortificazioni di Buonaiuto Lorini
Raffaele Pisano, Danilo Capecchi 797

Il castello di Baùso e il sistema fortificatorio dei Peloritani
Mario Manganaro 809

L'edilizia universitaria federiciana: dal progetto di Giulio Cesare Fontana a quello di Michio Sugawara
Anna Natale 819

Francesco Lana, scienziato e tecnico
Emilio Chirone, Pier Luigi Pizzamiglio 829

Le "fabbriche di rinforzo" del Braccio nuovo del Real Palazzo di Napoli: aspetti della cultura tecnica napoletana alla fine del XVIII secolo
Antonio Friello 839

Architetture del lavoro in area casertana tra Sette e Ottocento: "architetti ingegneri" alla scuola di cantiere di Luigi Vanvitelli
Francesca Capano 857

El puerto pesquero de Marbella (Màlaga-España): historia y transformacion de un espacio portuario
Diego Anguìs Climent 869

La costruzione di un'opera pubblica nell'800 borbonico fra rispetto della proprietà privata e difesa dell'interesse collettivo
Felicita De Negri 879

Il carcere borbonico di Avellino e le "nuove" tendenze culturali europee sulla detenzione
Pierfrancesco Fiore 891

La rivoluzione stradale di John Loudon McAdam
Paolo Ferrari 901

La gestione del territorio e delle infrastrutture nello stato sabaudo di Vittorio Amedeo II
Beatrice Maria Fracchia 913

Le conferenze e le lezioni sul calcestruzzo armato di Camillo Guidi e l'insegnamento della tecnica delle costruzioni alla Scuola di Applicazione d'Artiglieria e Genio di Torino
Aulo Guagnini 923

L'architettura sanitaria. Sperimentazioni e applicazioni tra Ottocento e Novecento
Giovanni Fatta, Tiziana Campisi, Calogero Vinci 933

L'ingegnere Giustino Fiocca: le opere tra tradizione e innovazione
Maria Lippiello, Lucia Bove, Liana Dodaro 945

Una città tra due fiumi. Ponti a Torino
Maria Paola Marabotto, Nadia Fabris 957

Il ponte sul Tagliamento tra Pinzano e Ragogna nella storia dell'ingegneria italiana
Tullia Iori, Michele Ricci 967

Ingegneri e irredentismo in una regione di confine: il caso Panzarasa
Stefano Morosini 979

Elettrificazione delle funicolari a Napoli. La funicolare Centrale
Giovanni Fresa 991

Nuove fonti archivistiche sull'opera di Risanamento e Ampliamento di Napoli
Maria Rosaria Dell'Amico 1003

Per una storia della Società degli Ingegneri e Architetti italiani: l'attività di Gustavo Giovannoni nel sodalizio, 1896-1924
Andrea Pane 1015

La copertura della "gran sala" della Biblioteca Nazionale di Napoli: i progetti di restauro di Adolfo Avena
Claudia Aveta 1029

Emma Strada, ingegnere dal 1908. La vita della prima donna Ingegnere attraverso le fonti archivistiche istituzionali e private
Margherita Bongiovanni, Nicoletta Fiorio Plà 1037

Emma Strada. Temi, forme e maestri della formazione politecnica, progetti, disegni e opere della professione di progettista
Pina Novello, Elena Marchis 1047

L'opera dell'ingegnere Arturo Boccassini a Barletta
Carlos Alberto Cacciavillani 1057

Architetture per la città e disegno urbano a Napoli nell'opera degli ingegneri De Simone, Piccinato e Cosenza
Angela D'Agostino 1067

Roberto Siano: un ingegnere napoletano della Soprintendenza all'Arte Medioevale e Moderna della Campania
Raffaele Amore 1079

Il palazzo Olivetti a Milano di G.A. Bernasconi, A. Fiocchi e M. Nizzoli
Laura Greco 1089

L'Hangar per dirigibili di Antonio Garboli ad Augusta
Mariella Muti, Gaetano Petracca, Enrica Rasimelli 1099

Il magistero di P.L. Nervi nella stazione ferroviaria di Vaglio Lise a Cosenza
Stefania Mornati 1109

Pier Luigi Nervi: rapporti statunitensi inesplorati. 1952-1979
Alberto Bologna 1119

I modelli strutturali di Pier Luigi Nervi per la Cattedrale di San Francisco
Gabriele Neri 1131

Strutture e infrastrutture per le Olimpiadi di Roma del 1960: analisi di un macroprogetto attraverso la lettura dei disegni di Pier Luigi Nervi
Chiara Vernizzi 1141

Committenza pubblica nel Veneto fascista: le opere dell'ingegnere Pietro Motta
Carolina Pupo 1151

Storia ed evoluzione dei sistemi di difesa dalle valanghe di neve
Bernardino Chiaia, Barbara Frigo 1163

La cupola della chiesa del Gesù a Palermo: un intervento di ricostruzione in cemento armato
Matteo Accardi, Simona Bertorotta, Lidia La Mendola, Giovanna Vella 1173

Il professore Gaetano Latmiral nel ricordo di un suo allievo
Giorgio Franceschetti 1183

Gaetano Latmiral, sottovoce
Mario Calamia 1189

Il professore Gaetano Latmiral e l'Istituto Universitario Navale di Napoli
Paolo Corona 1191

Ricordando Tani Latmiral e vivendo ancora oggi il suo insegnamento
Antonio Sasso 1195

Un ingegnere soprintendente: l'opera di Pietro Lojacono nel restauro dei monumenti della Sicilia orientale (1954-1963)
Maria Rosaria Vitale, Vincenza Tafaro 1203

Ingegneria, architettura e arte nelle opere pubbliche: gli esiti della legge del 2% a Napoli
Francesco Viola 1217

Il contributo della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II durante l'emergenza sismica del 1980/81
Salvatore D'Agostino 1227

Proceedings of the 4th National Conference
Atti del 4° Convegno Nazionale
2012

Summary
Sommario

Volume I

Prefazione
Salvatore D'Agostino XV

La storia, le storie
Giuseppe Galasso XVII

STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Elettromagnetismo e Ingegneria. Uno stretto connubio
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Alessandro Mori 3

Breve excursus sui problemi di Location: dalla sfida di de Fermat all'"Über den Standort der Industrie" di Weber ...ed altro
Giuseppe Bruno, Andrea Genovese, Gennaro Improta 17

L'ipotesi quantistica e la seconda rivoluzione chimica
Francesco Branda 35

Il Politecnico di Milano nel suo cinquantenario (1913), nel suo (1963) e verso il centocinquantenario (2013)
Stefano Morosini 43

Gli Ingegneri e la Torre Pendente di Pisa
Carlo Viggiani 57

Il trattato di fortificazioni di Galileo Galilei
Raffaele Pisano, Danilo Capecchi 77

L'abbigliamento: una questione non solo di moda
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano 91

150 anni di disastri sismici in Italia interpellano la cultura degli ingegneri?
Emanuela Guidoboni 115

Terremoti e Società: il ruolo dell'Ingegneria
Salvatore D'Agostino 123

Archeologia urbana e storia dell'ingegneria: tracce di Neapolis tra via Duomo e via Settembrini
Alfredo Buccaro, Daniela Gianpaola 139

La nascita della Ferrovia
Paolo Ferrari 161

A misura delle città - Paesaggi dell'ingegneria ferroviaria nella formazione dello Stato unitario
Alberto Bortolotti 173

La Rectaflex: il breve lampo di un'idea brillante
Giulio Fabricatore 185

Ingegneria della conoscenza e modelli di impresa in una prospettiva storica
Giuseppe Zollo 201

Il ponte Romano sul fiume Savuto
Francesco Calomino 219

Storia di un ponte in muratura: il viadotto di Sant'Apollonia a L'Aquila
Alessandra Bellicoso, Stefano Avola, Lorenzo fanale 231

Testimonianze della trattatistica sull'Architettura nei Libri Antichi della Scuola di Ingegneria di Napoli
Emanuela D'Auria 245

La rappresentazione e il controllo dello spazio. Sintesi di un percorso
Lia M. Papa 255

Disegnare grafi per dipanare la complessità: Eulero e Augusto Cavallari-Murat indagano luoghi, relazioni, funzioni ideando metodi per l'Ingegneria
Giuseppa Novello 265

Attualizzazione dei disegni tecnici, documenti per la storia dell'ingegneria meccanica
Danilo Cambiaghi, Emilio Chirone, Francesco Gamba 277

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Gli ingegneri militari italiani a servizio della Corona di Spagna fra il XVI e il XVII secolo: la famiglia degli Antonelli e i progetti per le fortificazioni
Nina Maria Margiotta 289

La nascita della figura professionale dell'ingegnere in area veneta fra Sette e Ottocento
Elena Granuzzo 301

Dissertazioni e tesi degli studenti della Scuola di applicazione per gli ingegneri di Torino 1862-1877
Margherita Bongiovanni 315

La formazione degli ufficiali-ingegneri alla Scuola di Applicazione nella Torino post-unitaria
Aulo Guagnini 327

Riflessioni storiche sull'associazionismo in ingegneria
Marco Ramondino, Edoardo Rovida, Roberto Viganò 339

L'influenza della Scuola bolognese sui protagonisti dell'ingegneria del Novecento: l'esperienza di Nervi, Miozzi e Belluzzi
Giovanni Mochi, Giorgia Predari, Riccardo Gulli 349

La figura del progettista strutturale nell'ambito della storia dell'architettura
Vincenzo Sapienza 361

Gli ingegneri visti dagli ingegneri-scrittori
Vito Cardone 373

Studiare Ingegneria in Italia: dai Piani di Studio ministeriali all'Accreditamento
Giuliano Augusti 389

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Pavia 1878. Il mondo della Fisica onora Volta e presenta le prime pratiche applicazioni delle sue scoperte
Virginio Cantoni, Adriano Paolo Morando, Mauro Mosconi 405

Saverio Casselli ingegnere nella Pontificia città di Benevento
Patrizia Moschese 415

L'ingegner Pietro Spurgazzi e il dibattito tecnico-scientifico negli anni pre e post unitari
Beatrice Maria Fracchia 429

Gaetano Bruno - ingegnere e urbanista napoletano dell'800 (prove per una monografia)
Giuseppe Maria Montuono 441

Un ingegnere a Genova tra Otto-Novecento
Maura Boffito 455

Centrali elettriche a Milano e New York tra Otto e Novecento: le opere di Thomas E. Murray e Tito Gonzales
Fabrizio Trisoglio 467

Il nuovo volto della città di Chieti attraverso l'opera dell'ingegner Giulio Mammarella
Carlos Alberto Cacciavillani 481

L'ingegner Adolfo Avena e l'applicazione delle nuove tecniche costruttive
Aldo Aveta 493

Dal 'robustamento' alla ricostruzione: gli interventi di Adolfo Avena nel campanile di Ravello
Claudia Aveta 505

Profilo bio-bibliografico di Orazio Rebuffat (1862-1938), studioso e docente di Chimica applicata nella Regia Scuola di Ingegneria di Napoli
Carmine Colella, Daniela Piscopo 515

Gli scienziati di Oxford che pianificarono i bombardamenti aerei sull'Italia (1943-1945)
Andrea Villa 525

Adriano Galli e il ponte sul rio Corace a Gimigliano, primo ponte Maillart nel Meridione
Enzo Siviero, Andrea Totaro 537

Pier Luigi Nervi e il Kuwait Sports Centre
Pasqualino Solomita 549

Paolo Verzone (1902-1986): ingegnere, storico e archeologo
Olivia Musso 561

Mario Umiltà ingegnere del Novecento
Francesco Tufaro 573

Il contributo di Enrico Mandolesi alla sperimentazione dell'acciaio nel processo di industrializzazione edilizia
Marcello Zordan 587

Volume II

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Velia: città delle acque. Water supply/Water system
Giovanna Greco, Daniele De Simone 601

Le tecniche costruttive di Elea-Velia: un quadro d'insieme
Luigi Cicala 625

Tecniche costruttive a confronto nel Nuovo Mondo
Maria Letizia Conforto, Silvia Nicolucci 643

Caratteri architettonici e costruttivi del palazzo signorile del XV-XVII secolo nell'Italia meridionale
Brunella Canonaco 655

I Bastioni Torinesi
Nadia fabris 667

La cittadella di Torino attraverso la lettura dell'iconografia militare di metà Seicento
Maria Paola Marabotto 683

San Leucio da utopia preindustriale a polo culturale. Un restauro esemplare
Alessandra Zingone 691

L'igiene delle caserme nella seconda metà dell'Ottocento in Italia
Francesca Turri, Emanuele Zamperini 705

La caratterizzazione "scientifica" degli edifici per l'infanzia nella seconda metà del XIX secolo. Asili e scuole a Palermo
Calogero Vinci 717

Evoluzione delle tecniche di taglio e segagione dei legnami da opera tra inizio Ottocento e metà Novecento
Emanuele Zamperini 729

Il rinnovamento urbano post-unitario. Tipi edilizi e specificità nell'edilizia ospedaliera a Palermo
Tiziana Campisi, Giovanni Fatta 741

Le Terme Luigiane nella tradizione costruttiva dell'edilizia italiana del Novecento
Alessandro Campolongo 753

Il convento di Santa Maria degli Angeli alle Croci in Napoli: un lungo faticoso percorso fino all'attuale progetto di valorizzazione
Anna Natale 765

Le architetture ferroviarie della Sicilia Centrale: analisi tipologico-costruttiva
Silvia Pennisi, Giovanna Vella 773

L'edilizia scolastica: evoluzione di una tipologia attraverso un secolo di storia
Silvia Pennisi 785

L'illuminazione pubblica elettrica a Napoli dalle origini ai giorni nostri
Andrea Lizza 799

Il progetto per la ricostruzione della Casa del Poeta Tragico. «Ristauro», «restituzione alla forma primiera» e nuove tecniche costruttive a Pompei nella prima metà dell'Ottocento
Antonio Friello 805

Disegno, produzione ed impiego di rotaie dall'unità all'inizio del XX secolo
Gennaro Fresa, Giovanni Fresa 819

Architetture per l'università e trasformazioni urbane. Progetti per le sedi universitarie napoletane tra la fine del XIX e la prima metà del XX secolo
Angela D'Agostino 835

Il contributo degli ingegneri per l'edificazione del quartiere Borgio a Taranto fra le due guerre mondiali
Claudio Mazzanti 845

Sviluppo edilizio ed evoluzione tecnologica nella Salerno tra le due guerre: la costruzione del nuovo Lungomare Trieste
Federica Ribera, Gennaro Miccio, Luna Accarino, Rossella del Regno 857

Radio Vaticana. La Stazione Trasmittente di S, Maria di Galeria
Bruno Bisceglia, SJ 877

La Direzione Generale della Rai in viale Mazzini (Roma 1962-65)
Stefania Mornati 887

Storia dei metodi e delle tecniche costruttive dei ponti a cassone in c.a.p.: l'inizio
Carlo Guastini, Salvatore Giacomo Morano, Paolo Spinelli 903

Continuità di un'idea: riflessioni e sviluppi inediti sul progetto di metropolitana di Lamont Young del 1925
Marco De Napoli 917

Dall'Alfa Romeo all'Avio, una fabbrica cresciuta all'ombra del Vesuvio
Vincenzo Cirillo 929

La Snam Progetti negli anni '50 e '60 in Italia. Note sull'attività di un servizio di progettazione edilizia
Laura Greco 943

Strutture in acciaio in Italia dal '50 al '70: competizione, innovazione e grandi sfide
Mario De Miranda 955

Prefabbricazione leggera nell'edilizia residenziale: ricerca e sperimentazione di sistemi costruttivi in acciaio, Italia 1960-70
Alessandra Tosone 967

Il porto di Amalfi
Maria Russo 979

Importanza del parametro e del fusto per una diga marittima a cassoni
Edoardo Benassai 991

La sperimentazione industriale nell'architettura del secondo dopoguerra. Il caso del quartiere di Gratosoglio in Milano
Mariangela Bellomo 999

In tema di strutture reticolari per coperture di grandi luci nel costruito storico monumentale
Michele Brigante 1011

Caratterizzazione fisica e meccanica del legno strutturale antico: le capriate del Real Albergo dei Poveri in Napoli
Mario Rosario Migliore, Felicita Ramundo, Maurizio Barbato, Giulia Grimaldi 1023

L'involucro massivo in laterizio
Santi Maria Cascone 1055

Acciaio e architettura per l'industria. Sperimentazioni tecnologiche nell'Italia degli anni Sessanta
Renato Morganti, Stefano Balassone, Danilo Di Donato, Daniela Franchi 1065

La chiesa di S. Maria a Piazza a Forcella. Cronaca di una demolizione annunciata.
Raffaele Amore 1077

Tecnologie costruttive e materiali per il benessere abitativo: le soluzioni dei tecnici nell'edilizia storica
Marida Salvatori 1089

Fessurazione diffusa delle strutture in calcestruzzo di cemento originata da alcali-reazione (ASR)
Riccardo Sersale 1101

Questioni di ingegneria e di architettura nel consolidamento delle cupole
Bianca Gioia Marino 1111

Involucri in vetro nel recupero del Moderno: approcci metodologici e soluzioni tecnologiche finalizzate al risparmio energetico
Benedetta Marradi 1123

La mensiocronologia come strumento di analisi delle tecniche costruttive murarie tardomedievali campane. Indagine stratigrafica sul Castello di Carinola
Francesco Miraglia 1139

Difendere il territorio attraverso l'ingegneria naturalistica
Lina Abategiovanni 1151

La tecnologia al servizio delle politiche di prevenzione degli incidenti stradali: l'evoluzione della reportistica e della georeferenziazione dei sinistri
Antonio Coppola 1159

Ingegneria e Progresso
Francesco Rispoli 1171

Proceedings of the 1st International Conference
Atti del 5° Convegno Nazionale
2014

Summary
Sommario

Volume I

Preface
Prefazione
Salvatore D'Agostino XVII

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Les arts, les techniques et la fondation de la science moderne. Florence 1300 - 1638
Bernard Maitte 3

The Work concept in the History of Science and Engineering
Agamenon R.E. Oliveira 23

Note di Storia dell'ingegneria in Italia
Salvatore D'Agostino 45

Energy and engineers at the turn of the XX century
Danilo Capecchi, Giuseppe Ruta 69

Breve storia della meccanica applicata alle macchine in Italia
Marco Ceccarelli 87

Storia dell'insegnamento dei ponti in Italia
Enzo Siviero, Marcello Arici, Michele Fabio Granata, Andrea Totaro 103

La storia della chimica applicata
Riccardo Sersale 119

Breve excursus storico sui leganti da rocce calcaree
Francesco Branda 129

Storia della propagazione delle onde marine
Edoardo Benassai, Mersia Passaro 139

Spazio e dintorni. Una visione dall'interno
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti 157

History of Astronomical Telescopes Engineering from Galileo to forthcoming giant Telescopes
Francesco Perrotta, Pietro Schipani 171

The Theory of Proportions in the History of Architecture and Engineering
Mario Como 185

Storia dell'automobile a vapore
Paolo Ferrari 199

La cultura del bagno e le tecniche di riscaldamento tra mondo greco e mondo romano
Giovanna Greco 211

Verso il concetto di energia: il ruolo della fisiologia animale
Clara Frontali 227

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Historical intangible technical culture. A method and a tool to develop future technology
Francesco Rosa, Edoardo Rovida, Roberto Viganò 243

L'arte nera: una questione di "carattere"
Giulio Fabricatore 255

I mattoni di Velia: riflessioni e nuove prospettive di studio
Luigi Cicala, Luigi Vecchio 283

Ponti romani in Campania: tecniche costruttive e problemi conservativi
Aldo Aveta 309

"Un'altra macchina" per sollevare l'acqua: la macchina dei Romani per la pioggia
Giangiacomo Martines, Pier Gabriele Molari 321

Geometria e sapienza costruttiva. Chiese del periodo normanno in Val Demone
Mario Manganaro, Alessio Altadonna, Salvatore La Rosa 329

I ponti medievali in Campania: note sulle tecniche costruttive
Claudia Aveta 341

Tecnologie costruttive degli edifici medioevali in pietra nella Bassa Val Trebbia
Valentina Cinieri, Matteo D'Andrea 355

L'iconografia militare cinquecentesca del ducato sabaudo. I taccuini di Gian Maria Olgiati e Francesco Horologi
Maria Paola Marabotto 367

Ingegneria militare e disegno delle strutture difensive
Cristina Càndito 379

Archeologia industriale in Calabria. Analisi tipologica e costruttiva degli opifici molitori nella provincia di Cosenza tra il XVIII e il XX secolo
Brunella Canonaco 389

Ingegneri - tavolari. Figure e opere nel contesto meridionale
Lia Maria Papa 403

Analisi storica euristica del sistema antisismico Borbonico
Nicola Ruggieri, Raffaele Zinno 413

Il trattato di Giovanni Presta e gli ambienti ipogei per la produzione dell'olio
Claudio Mazzanti 425

Il carattere mutevole e interattivo dei materiali nella storia del costruire
Gigliola Ausiello 439

Organizzazione e questioni di sicurezza nel cantiere edilizio pre-industriale
Raffaele Amore 459

Il recupero di un patrimonio intangibile: la cultura tecnica delle maestranze locali
Valentina Cinieri, Emanuele Zamperini 475

L'avanguardia nella prefabbricazione delle strutture in cemento armato in Italia
Vincenzo Di Naso, Francesco Lensi, Laura Godone 487

Evoluzione storica e normativa della sicurezza antincendio: il ruolo dei pompieri e degli ingegneri
Anna Natale, Michele La Veglia 499

La ricerca del confort nelle abitazioni della tradizione siciliana
Silvia Pennisi 513

Il contributo della "scuola siciliana" al dibattito sulla "casa popolare" negli anni '30
Tiziana Basiricò, Andrea Cottone 527

L'architettura delle colonie marine tra tradizione e innovazione
Simona Talenti, Annarita Teodosio 539

L'edilizia scolastica nella tradizione costruttiva del Novecento: edifici degli anni '30 a Cosenza
Alessandro Campolongo 551

L'edilizia industrializzata negli anni '70 e '80 in Toscana: il caso di studio dell'edilizia residenziale pubblica nell'area fiorentina
Frida Bazzocchi, Vincenzo Di Naso, Sara Ticci 563

Establishing a Field: the Foundations of Architectural Engineering in Nineteenth- Century America
Uihlein Marci Smith 575

Il calcolo strutturale per i monumenti: la rivista Restauro e l'evoluzione nell'ultimo trentennio del XX secolo
Maria Chiara Rapalo 587

From construction to "machine". Pieces of engineering vs engineering into pieces
Luigi Stendardo 597

Linee di un'evoluzione storica recente delle filosofie di gestione della produzione industriale
Andrea Villa 609

La sostenibilità in edilizia: le prime scelte programmatiche, le innovazioni tecnologiche, gli orientamenti della ricerca
Andrea Genova, Giovanni Fatta 619

Il contributo dell'ingegneria al risanamento dell'umidità nel patrimonio monumentale: il caso di un affresco di Spinello Aretino nel Palazzo Pubblico di Siena
Amanda Piezzo 629

Dentro e fuori la prefabbricazione leggera. Prassi costruttiva e sperimentazione nell'edilizia per la scuola
Renato Morganti, Alessandra Tosone, Danilo Di Donato 643

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Exempla dell'architettura europea del Settecento nella Biblioteca della Scuola Politecnica di Napoli: i disegni del Sito sabaudo di Venaria Reale
Alfredo Buccaro 657

Le Dottrine, l'Antico, il Vero e il Fine. Le 'Istituzioni d'architettura civile' di Carletti e l'applicazione del metodo matematico di Wolff nella cultura tecnica del Settecento napoletano
Maria Gabriella Pezone 667

Mutamenti disciplinari della "scienza del fabbricare" agli albori del Politecnico di Torino
Federica Stella 681

Opere ed Ingegneri dagli anni dell'Unità d'Italia
Gennaro Fresa, Giovanni Fresa 695

Torino 1884. "In giro per l'Esposizione": il viaggio d'istruzione degli allievi ingegneri della Regia Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri di Bologna
Annalisa Dameri, Ilaria Fiore 717

Giovanni Curioni e la didattica della Scienza delle costruzioni alla Scuola d'applicazione per gl'Ingegneri di Torino
Margherita Bongiovanni, Federica Stella 729

La luce della conoscenza: i viaggi e le visite tecniche dell'Associazione Elettrotecnica Italiana (1897-1905)
Fabrizio Trisoglio 741

I «Cahiers Techniques de l'Architecture d'Aujourd'hui» e il dibattito sulla tecnica in Francia negli anni'30
Angelo Bertolazzi 755

Il ruolo dell'ingegneria strutturale nell'esperienza della palazzina romana degli anni '50
Roberta Lucente 769

Ingegneria Gestionale: dalle esperienze pionieristiche ai giorni nostri
Roberto Cerchione, Emilio Esposito, Mario Raffa 781

Volume II

WORKS AND PROTAGONISTS BETWEEN ANCIENT AND MODERN
OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Conservazione e valorizzazione di cisterne romane: il caso Sorrento
Serena Giuseppina Federico 801

Note sulle fortificazioni nei quesiti di Tartaglia. Libro Sesto e sua gionta
Raffaele Pisano 813

Il palazzo Carafa-Loffredo a Pizzofalcone
Giuseppe Maria Montuono 827

Il porto di Napoli: la storia delle opere di difesa
Edoardo Benassai 847

Le scale settecentesche napoletane: note sulla cultura tecnica tra XVII e XVIII secolo
Marida Salvatori 863

La tradizione costruttiva degli edifici di culto in legno lituani tra XVIII e XIX secolo
Liucjia Bereţanskytė, Tiziana Campisi 875

La ricostruzione dopo il terremoto del 1783: il regio ingegnere Ermenegildo Sintes
Chiara Miceli, Raffaele Zinno 889

"Un piano da raddrizzare gli avanzi delle cattive forme": Giuseppe Maria Galanti e il disordinato sviluppo della città di Napoli
Maria Rosaria Pelizzari 895

Le chiese della ricostruzione come fulcro identitario del quartiere: caratteri urbanistici e architettonici di due chiese post-conciliari della Sicilia occidentale
Silvia Pennisi, Raffaella Riva-Sanseverino 909

Raffaele Pareto e le "Lettere artistiche". Resoconti di viaggio tra ricognizione di aree di bonifica e illustrazione di monumenti storico-artistici
Serena Pesenti 921

Gli ambienti termici: un argomento recente con radici antiche
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Luigi Lopardo 933

La matematica nelle opere degli ingegneri-scrittori
Vito Cardone 959

La Direzione generale di ponti e strade, acque, foreste e caccia "vigilatrice" dei regi lagni di Terra di Lavoro
Felicita De Negri 977

Il bicentenario del Telford bridge ad Invermoriston
Andrea Lizza 987

Sulle orme di Thomas Telford. Viaggio lungo il canale di Caledonia
Andrea Lizza 993

Le opere idrauliche di origine borbonica del Somma – Vesuvio: antiche funzioni ed esigenze conservative
Maria Pia Cibelli 999

Mobilità, l'utopia possibile di Lamont Young
Antonio Coppola 1013

Le acque minerali nella zona del Monte Echia (Napoli)
Alfonso Corniello, Daniela Ducci 1021

La realizzazione ottocentesca della strada Atrani-Ravello-Scala
Maria Russo 1033

Lorenzo Nottolini: primo ingegnere del «Consiglio delle Acque, Strade e Macchie» della Repubblica di Lucca
Beatrice Maria Fracchia 1045

L'esposizione italo-colombiana del 1892 a Genova: l'architettura effimera e gli ingegneri
Maura Boffito 1063

L'essiccamento del Lago di Agnano. Breve cronaca della realizzazione di un progetto di Ambrogio Mendia
Gennaro Improta 1075

Le trasformazioni nella storia centenaria di un monumentale manufatto idraulico
Ruggiero Jappelli, Maurizio Ferla, Salvatore Refratti 1117

Il ridisegno urbano di Caserta nel primo Novecento
Patrizia Moschese 1129

Il recupero dei teatri storici in area siciliana. Il caso del "Luigi Pirandello" ad Agrigento
Giovanni Fatta, Patrizia Lo Sardo 1143

L'ingegnere e l'igiene sociale nel XIX e XX secolo. I lavatoi pubblici
Tiziana Campisi 1157

Fra Michelucci e Sacchi: quattro opere postume di un maestro dell'architettura moderna
Frida Bazzocchi, Vincenzo Di Naso, Andrea Masi 1169

Una "machine à écouter". La casualità calcolata di Iannis Xenakis
Stefanos Antoniadis 1183

Sebastiano Bultrini (1867-1936) ingegnere, architetto e urbanista: dall'attività romana tra le due guerre alla ricostruzione della Marsica post-sisma del 1915
Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori 1195

La sede Galbani a Milano di Eugenio e Ermenegildo Soncini e Giuseppe Pestalozza
Laura Greco 1211

La Mostra delle Terre Italiane d'Oltremare a Napoli: l'antefatto 1936-1939
Francesca Capano 1225

Machine à (perce)voir. The point of view on the bridge motorway restaurants
Luigi Siviero 1239

Il ruolo di Francesco Giordani, scienziato e manager, tra la R. Scuola Superiore Politecnica e la Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
Guido Barone, Lelio Mazzarella 1249

L'architettura nel periodo fascista ad Avellino: la Casa del Balilla di Enrico Del Debbio
Pierfrancesco Fiore 1265

La torre evaporativa della Michelin
Nadia Fabris 1277

Le ciminiere in laterizio: simbolo dell'industrializzazione di Frattamaggiore
Barbara Del Prete 1287

Cupole in cemento armato in Sicilia occidentale nella prima metà del Novecento
Federica Scibilia 1301

La sperimentazione progettuale di Giuseppe Nicolosi nella ricostruzione post- bellica di Cassino
Marcello Zordan, Franco Fragnoli 1313

La fabbrica sul mare. La fornace Penna a Scicli: un mirabile esempio di Archeologia Industriale

in attesa di reimpiego
Vincenzo Sapienza, Chiara Lentini 1331

Il fenomeno della dismissione dell'edilizia industriale le potenzialità di recupero e riconversione funzionale
Giuseppe Donnarumma 1345

Pier Luigi Nervi a Salerno: l'Hangar ritrovato
Federica Ribera, Gennaro Miccio, Pasquale Apicella 1363

L'Ippodromo di Tor di Valle a Roma (1955-59): un modello rinnovato
Stefania Mornati 1375

Identità nazionali e sfruttamento idroelettrico in Alto Adige/Südtirol. Il caso del Lago Resia
Stefano Morosini 1387

Il prof. ing. Guido Guerra: una vita per lo studio dell'ingegneria
Marianna Francesca Guerra, Camillo Alfonso Guerra 1401

Cupole: studi e applicazioni del prof. ing. Guido Guerra
Marianna Francesca Guerra, Camillo Alfonso Guerra 1409

Autostrada A3, da mezzo secolo un cantiere a cielo aperto
Ettore Nardi 1419

Proceedings of the 2nd International Conference
Atti del 6° Convegno Nazionale
2016

Summary
Sommario

Volume I

Preface
Prefazione
Salvatore D'Agostino XV

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Il tempio classico antico: concetti e progettazione. La ratio dei Greci nel costruire
Dieter Mertens 3

Riflessioni sull'architettura e ingegneria Romana
Heinz beste 47

Is elastic complementary energy a purely mathematical concept?
Danilo Capecchi, Giuseppe Ruta 55

History: Its Hyghways and Byways
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti 65

Il contributo del vaglio storico alla costruzione di un'affidabile eredità culturale nell'ingegneria
Ruggiero Jappelli 75

Errori, equivoci e fraintendimenti nello sviluppo della tecnologia
Vito Cardone 85

Effetti, rimedi e propagazione dei terremoti. Nota su un Trattato (1571) e una Dissertazione (1669)
Emanuela Guidoboni 105

La statica grafica e il calcolo delle strutture
Salvatore D'Agostino 123

Sulla risposta sismica delle colonne
Mario Como 143

L'arte di costruire nella Roma imperiale
Maria Letizia Conforto 159

Archeometria in Campania: risultati e prospettive di un progetto di ricerca
Giovanna Greco 169

Abaco di progetto per pareti murarie a gravità nell'area archeologica di Pompei
Ferdinando Toraldo, Antonio Chianese, Luciano Rosati 181

Ricostruire, classificare e divulgare: Bernard Forest de Bélidor e Giuseppe Antonio Borgnis manualisti della meccanica
Luigi Traetta, Marco Ceccarelli 193

Presidi antisismici in Campania: evoluzione teorica, normativa e tecnologica tra il XVIII e il XX secolo
Eva Serpe, Gaia Caliendo, Valentina Cinieri, Matteo D'Andrea 203

La pietra e l'architettura. Analisi storica e materica del materiale lapideo nel territorio di Cosenza
Giulia Forestieri, Alessandro Campolongo, Maurizio Ponte 213

Contributi della scienza dell'ingegneria rilevati nel disegno degli ammazzatoi italiani dell'Ottocento: i casi di Torino e Roma
Laura Farroni, Giuseppa Novello 223

Le leghe ferrose per impiego strutturale dal XIX secolo ai nostri giorni: evoluzione dei processi e delle proprietà meccaniche
Gianmaria Di Lorenzo, Raffaele Landolfo, Angelo Avallone 235

Il sistema Masseria nel sud dell'Italia tra i secoli XVII e XIX. Storia, tipologia, caratteri costruttivi di alcuni casi emblematici
Brunella Canonaco 247

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Il Gabinetto di Architettura Antica e Tecnica degli Stili. Una collezione didattica alla Scuola di applicazione per gli ingegneri di Torino
Enrica Bodrato, Margherita Bongiovanni 259

Storia della letteratura sull'Ingegneria Gestionale
Roberto Cerchione, Emilio Esposito, Mario Raffa 269

L'auto ed il principio di responsabilità
Antonio Coppola 283

Standardization of the field of the thermal environment
Francesca R. d'Ambrosio Alfano, Bjarne W. Olesen, Boris I. Palella 295

Povl Ole Fanger ten years later
Francesca d'Ambrosio Alfano, Bjarne W. Olesen, Giuseppe Riccio 307

La scuola di Elettrochimica a Napoli da Oscar Scarpa a Mario Maria Jacopetti: sviluppo di un importante settore della Chimica tra Ingegneria e Scienze
Guido Barone, Lelio Mazzarella 319

La gru degli Haterii: analisi dell'argano e dei paranchi
Pier Gabriele Molari, Matthias Bruno, Cinzia Conti, Giangiacomo Martines 329

The ancestors of the motor car. First steps in terrestrial locomotion
Serafino G. Bona, Giancarlo Genta, Giovanni Mimmi, Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida 343

L'ingegneria nel rapporto tra materiali innovativi e beni culturali
Gigliola Ausiello 357

Evoluzione della manutenzione e applicazione della tecnologia BIM nella programmazione delle attività manutentive di Palazzo Vigo (CT)
Santi Maria Cascone, Nicoletta Tomasello 375

L'evoluzione degli impianti HVAC a bordo di navi
Franco Beretta, Natale Daniele Foresti 385

Soluzioni per la ventilazione naturale e precetti igienici nell'edilizia ospedaliera tra Ottocento e Novecento
Tiziana Campisi, Calogero Vinci 395

Elettrificazione della Sardegna
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 405

La costruzione metallica in Italia negli anni dell'autarchia
Marcello Zordan, Franco Fragnoli 419

Legno, ferro e cemento armato. Materiali, interventi e 'presidi' antisismici tra L'Aquila, Roma e Avezzano a seguito del sisma del 1915
Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori 429

Nascita ed evoluzione della tecnica urbanistica in Italia nel '900
Roberto Gerundo, Carlo Gerundo 439

Edilizia sociale industrializzata a Torino tra 1963 e 1980: brevetti e cantieri
Emilia Garda, Marika Mangosio 453

Umanizzazione degli spazi per il lavoro. Evoluzione di un pensiero architettonico
emilia garda, marika mangosio, alberto peinetti 463

La città che sale. Edifici alti in acciaio nell'Italia del boom economico
daniela franchi, danilo di donato, matteo abita 473

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

La professione di ingegnere tra Stato e Città. Cantieri a Torino nel primo Seicento
elena gianasso 487

La formazione di architetti e ingegneri attraverso i trattati. Le Istruzioni Elementari e Diverse di Bernardo Antonio Vittone
Maria Paola Marabotto 497

Gli ingegneri camerali in Sicilia dopo il terremoto del 1823
Federica Scibilia 507

Volume II

WORKS AND PROTAGONISTS BETWEEN ANCIENT AND MODERN
OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Le Terme di Agnano (1885-1998). Una lunga vicenda con diversi ingegneri ed un paio di architetti
Gennaro Improta 519

Una pagina della bonifica del bacino inferiore del Volturno: il risanamento della r. tenuta di Carditello
felicita de negri 561

L'acquedotto augusteo di Neapolis: ipotesi sul tracciato urbano attraverso la cartografia storica e i nuovi rinvenimenti
Alfredo Buccaro 573

L'acquedotto augusteo del Serino nell'area Vergini-Sanità a nord di Neapolis: identificazione e studio di due ponti-canale
Francesco Colussi, Carlo Leggieri 589

La tavola Strozzi e Francesco di Giorgio nella Napoli Aragonese
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 599

Protagonisti di nuove fondazioni di città in Sicilia nel sec. XVII
Alessio Altadonna, Salvatore La Rosa, Mario Manganaro 611

Ingegneri in guerra. Pompeo Robutti e Gaspare Beretta al servizio della Spagna (1657)
Annalisa Dameri 627

Il consolidamento ed il dimensionamento delle strutture in alcuni "restauri" di Giovanni Biagio Amico Ingegnere Regio nella Sicilia del settecento
Bruno Billeci 635

Temistocle Calzecchi-Onesti e le sue invenzioni: una storia da rileggere
Mario Calamia, Giovanni Manneschi 647

Geometria e pratica del costruire nell'opera di Peter Nicholson
Stefano Chiarenza 655

La "Torre superpanoramica" del rione Sannazaro-Posillipo nei progetti degli anni Trenta di Adolfo Avena
Francesca Castanò, Ornella Cirillo 665

Il ruolo dell'ingegnere comunale Eugenio Miozzi a Venezia dal 1931 al 1933
Enzo Siviero, Laura Facchinelli 679

La storia del Forth Bridge, un capolavoro dell'ingegneria vittoriana
Andrea Lizza 689

La Speyside Way ed il Craigellachie Telford Bridge
Andrea Lizza 699

Armonia fra tecnica, etica ed estetica: gli impianti industriali in Spagna alla fine del XIX secolo
Claudio Mazzanti 707

La torre medievale di Tora e Piccilli: lettura cronotipologica degli apparecchi murari
Francesco Miraglia 717

«La bella Sirena risorta a nuova vita». Dall'epidemia di colera del 1884 all'Esposizione d'Igiene del 1900
Giuseppe Maria Montuono 725

Terremoti e Normativa nel secondo Ottocento italiano
Renato Morganti, Stefano Cocco 737

Alessandro Panzarasa: un ingegnere politecnico tra industria elettrica e associazionismo (1866-1960)
Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio 747

Un ministro e la sua acqua "Il Canale Cavour"
Nadia Fabris 759

Ingegneri ed edilizia residenziale a Santa Maria Capua Vetere tra Eclettismo e Floreale
Maria Gabriella Pezone 771

Il piano ottocentesco di illuminazione delle coste: i fari della provincia di Salerno
Maria Russo 783

Il Duomo di Salerno
Gennaro Miccio 793

Recenti interventi nella Basilica Inferiore del Duomo di Salerno
Gennaro Miccio 801

La Cappella Palatina di San Pietro a Corte a Salerno: il recupero di venti secoli di storia
Gennaro Miccio 815

L'ingegnere Pietro Agosti, progettista della Sanremo Belle Époque
Silvia Salvini, Francesca Luisa Buccafurri 829

L'ascesa a Montevergine: progetti e interventi per la strada rotabile e la funicolare, 1850-1956
Consuelo Isabel Astrella, Andrea Pane 839

I ponti della Provenza: da strutture di collegamento a patrimonio paesistico architettonico
Laura Blotto 849

La sicurezza antincendio nei teatri storici: il caso del Teatro San Carlo
Ettore Nardi, Gabriella Valentino 859

The evolution of agricultural mechanization from historical documents. The SAME DEUTZ-FAHR case study
Claudio Boccardi, Primo Ferrari, Margherita Pollini, Edoardo Rovida 869

Ingegneria per il turismo ad Amalfi negli anni Trenta: la funivia di Pericle Ferretti e le trasformazioni al "Cappuccini" di Carlo Avena
Carolina De Falco 877

Ingegneri e produzione nella Grande Guerra
Giovanni Fresa, Umberto Troise 889

Cables de bambú, el caso del puente Quan-Xian
Eugenia Muscio, Jesús Anaya Díaz 899

La Casa del Balilla a L'Aquila e la pietra artificiale
Alessandra Bellicoso 909

Edilizia e tradizioni costruttive di una ferrovia del Mezzogiorno italiano
Alessandro Campolongo 919

Filippo Sargiacomo: una nuova immagine per una città di provincia
Vincenzo Di Florio, Mirco Staniscia 929

Le stazioni di servizio Agip di Mario Bacciocchi: un'esperienza di tipizzazione costruttiva
Laura Greco 939

Lo Stadium di Torino: dalla grandiosa inaugurazione all'esposizione Internazionale del 1911 alla sua demolizione nel 1930
Caterina Mele, Paolo Piantanida 949

Structural and engineering construction types of airport architecture in the second half of the twentieth century
Jesús Anaya Díaz 959

Professione qualificata e innovazione tecnologica nel palazzo uffici a Metanopoli di M. Bacigalupo e U. Ratti
Stefania Mornati 969

L'archeologia industriale: una storia di edilizia, economia ed abbandono. La Manifattura Tabacchi di Palermo
Silvia Pennisi 979

L'edilizia carceraria in Italia: storia, attualità e prospettive
Silvia Pennisi 989

Il Teatro Augusteo a Napoli: da Luigi Vanvitelli a Pier Luigi Nervi
Anna Natale 1001

Eleganza e comportamento senza equivoci dei Ponti Maillart
Michele Brigante 1009

Il viadotto dei Parchi di Silvano Zorzi per la Tangenziale Est a Milano: una lama su snelle pile nel cantiere mobile
Irene Blandino 1019

Il Ponte in c.a. sul Cassibile. Una struttura a spinta eliminata
Elio Lo Giudice, Gian Luigi Di Marco, Agostino Curto Pelle, Roberta Mantione 1031

Archivio Marcello Vittorini. Cultura edilizia e tecniche costruttive in Via Cavedone e Levante Emilia a Bologna
Alessandra Tosone, Valeria Lupo, Angela Marino 1041

Architetture degli anni Quaranta. L'edificio dell'I.N.F.P.S. di Cesare Bazzani su Corso Federico II a L'Aquila
Alessandra Tosone, Alessandra Bellicoso 1051

Ponti: segni immanenti e sfolgoranti lasciati dall'uomo
Maria Chiara Cimmino 1061

Proceedings of the 3rd International Conference
Atti del 7° Convegno Nazionale
2018

Summary
Sommario

Volume I

Preface
Prefazione
Salvatore D'Agostino XV

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La Storia e le Storie
Giuseppe Galasso XIX

The Journey of Robotics
Bruno Siciliano 3

The Ethical Roboticist: a Journey from Robot Ethics to Ethical Robots
Alan F. Winfield 13

Da recinto murario a struttura difensiva: le trasformazioni delle cinte fortificate e dell'arte della guerra
Giovanna Greco 27

La gru degli Haterii: analisi della ruota
Matthias Bruno, Alessandra Carriero, Cinzia Conti, Giangiacomo Martines, Anna Maria Saccomanno, Fabio Sabbadini 45

Primato romano delle volte: il Tempio di Diana a Baia
Anna Sinopoli, Graziano Mario Valenti, Matthias Bruno, Cinzia Conti, Jessica Romor, Giangiacomo Martines 57

Viaggio ai confini dell'Impero: il Vallo di Adriano
Andrea Lizza 73

Viaggio lungo il Vallo di Antonino
Andrea Lizza 85

L'acquedotto augusteo del Serino a nord di Neapolis nell'area compresa tra la Sanità e i Ponti Rossi
Francesco Colussi, Carlo Leggieri 93

La vulnerabilità del costruito archeologico ruderizzato. Osservazioni sull'acquedotto romano sito nel territorio campano di Cava de' Tirreni
Piero Andriola 105

Elementi per ricostruire la macchina di sollevamento degli Haterii e le macchine per alberare navi
Pier Gabriele Molari 115

Il Colosseo: sulle ragioni del suo stato di danneggiamento
Mario Como 131

Una retrospettiva dei metodi di analisi strutturale di scale in muratura
Francesco Marmo, Daniele Masi, Luciano Rosati 153

Some remarks on historical sizing rules for arch-wall-piers systems
Danila Aita, Riccardo Barsotti, Stefano Bennati 165

Francesco di Giorgio: tecnologie costruttive per chiudere le spinte laterali delle volte - nei Trattati e nella consulenza per il duomo di Milano
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 175

Influenze vinciane e martiniane sui modelli di fortificazioni urbane nel Mezzogiorno tra '400 e '500. Note dallo studio in corso
Alfredo Buccaro 189

Carolus Tettius Neapolitanus pingebat. La pianta di Napoli del 1560
Giuseppe Mollo 203

Tra utopia e realtà: visioni e pre-visioni nelle Machinae Novae di Fausto Veranzio. Parte prima: un "ingegnere" del Rinascimento
Massimo Corradi 215

Tra utopia e realtà: visioni e pre-visioni nelle Machinae Novae di Fausto Veranzio. Parte seconda: i ponti di Fausto Venanzio
Massimo Corradi 225

Geotechnical Engineering in Italy: a short history
Giovanni Calabresi, Renato Lancellotta, Carlo Viggiani 239

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte prima: Dal decennio francese alla riforma Casati
Carmine Colella 257

Florence: the effects of earthquakes on the artistic heritage. Method and historical sources (15th-20th centuries)
Emanuela Guidoboni 267

Florence: a first concise dossier of seismic effects on artistic heritage (15th-20th centuries)
Emanuela Guidoboni 279

La conservazione del patrimonio costruito storico dal XVIII secolo al secondo conflitto mondiale
Salvatore D'Agostino 301

Il recupero della tradizione, la tradizione del recupero
Salvatore D'Agostino 315

Sulla conservazione del patrimonio archeologico, tra "minimo intervento" e "miglioramento": il restauro timido come manutenzione programmata
Salvatore D'Agostino 323

Alcuni lineamenti storici sul misuratore di livello sonoro
Carmine Ianniello 337

Dall'artificiale anatomico alla robotica: storia delle tecnologie per la disabilità
Luigi Traetta, Marco Ceccarelli 347

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Rappresentare il progetto di architettura
Maria Letizia Conforto 359

La rivoluzione digitale e l'evoluzione del contatto sociale
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli 369

I materiali vegetali nel linguaggio universale delle thòlos
Gigliola Ausiello 379

Breve storia della strumentazione meteorologica nella cultura occidentale
Fabrizio Benincasa, Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 393

L'ingegnere sopra e sotto il mare. La costruzione dei trabocchi, macchine per la pesca costiera
Luigi Marino, Paola Barone, Olivia Pignatelli 407

La storia del condizionamento in Italia attraverso la storia di una famiglia e di una Azienda
Alessandro Riello 421

La metrologia dei volumi: dagli aridi agli standard metri cubi, passando per moggi, pinte e galloni
Paolo Vigo, Agostino Viola 429

Il progetto del sistema antincendio della Basilica di San Paolo fuori le mura a Roma: un caso di sicurezza antincendio del XIX secolo
Monica Calzolari, Stefano Marsella 439

Dal sisma del 28.12.1908 al R.D. n.193/1909: i lavori della prima Sottocommissione
Stefano Cocco 449

Dal sisma del 28.12.1908 al R.D. n.193/1909: i lavori della seconda Sottocommissione
Stefano Cocco 461

Innovative technical ideas from the historical heritage
Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida 473

Città storiche e pavimentazioni stradali
Raffaele Amore 481

Urban standards in Italy. Successes, limits and new perspectives
Roberto Gerundo, Carlo Gerundo 493

L'ergonomia cognitiva nella progettazione di sistemi e interfacce uomo-macchina
Paola Cenni, Francesca R. d'Ambrosio Alfano 503

Le Olimpiadi di Roma: l'acciaio in gioco
Renato Morganti, Alessandra Tosone, Matteo Abita, Danilo Di Donato 511

Il tubo Innocenti e il "Sistema Nervi": la realizzazione artigianale delle grandi coperture in ferrocemento
Ilaria Giannetti 521

Le leghe ferrose per impiego strutturale dal XIX secolo ai nostri giorni: resistenze di progetto e proposta di una metodologia speditiva per la caratterizzazione meccanica
Gianmaria Di Lorenzo, Raffaele Landolfo, Angelo Avallone 529

Ingegneria meccanica e architettura: una sinergia verso nuove frontiere dell'abitare
Emilia Garda, Marika Mangosio, Mohamad Sadek Mortada 539

Chiusure verticali in acciaio e vetro: analisi di alcune singolari sperimentazioni italiane
Marcello Zordan, Franco Fragnoli 551

Virtual Tractor Project: SAME Autofalciatrice 851
Primo Ferrari, Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida 561

L'evoluzione storica delle macchine per la lotta agli incendi
Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino 571

L'evoluzione storica della prevenzione e gestione degli incendi: dalla Pompa di Ctesibio alla motopompa Tamini
Anna Natale 579

Evoluzione storica dell'industrializzazione nella val Pescara: antichi e nuovi processi produttivi
Claudio Mazzanti 585

La "prefabbricazione per l'emergenza": excursus storico dalla nascita alle moderne applicazioni
Santi Maria Cascone, Massimo Caporlingua, Giuseppe Russo, Nicoletta Tomasello 597

La fotografia per l'ingegneria, evoluzione, esperienze, prospettive
Lia Papa 607

Volume II

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Le competenze dell'ingegnere nel mondo islamico fra il X e il XVII secolo
Giuseppina Ferriello 619

Guido da Vigevano, from the Middle Ages a modern man
Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida, Giancarlo Genta, Serafino Bona, Giovanni Mimmi 631

Primi esami non accademici per unirsi al Corpo degli Ingegneri spagnolo nel XVIII secolo
Juan Miguel Muñoz Corbalán 643

La biblioteca dell'ingegnere. Studi di ingegneria, storia e architettura di Giovanni Angelo Reycend
Elena Gianasso 653

La nuova generazione di ingegneri-scrittori: Juan Rodolfo Wilcock
Vito Cardone 663

WORKS AND PROTAGONISTS BETWEEN ANCIENT AND MODERN
OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Al servizio del re di Spagna: Francesco Prestino, ingegnere militare
Annalisa Dameri 675

L'attività di Tiberio Majeroni, ingegnere e cartografo della Serenissima nel XVIII secolo
Federico Bulfone Gransinigh 685

Un ingegnere del Genio borbonico tra Sette e Ottocento. Luigi Bardet di Villanova
Maria Gabriella Pezone 695

Carlo Afan De Rivera e il lavoro nell'anno della primavera dei popoli (1848)
Giuseppe Foscari 707

L'opera di Antonio Cipolla: i progetti per le Ferrovie Pontificie e per la sistemazione della città di Roma
Tatiana Loffa, Maria Luce Aroldo 717

L'attività dell'ingegnere Achille Viola in Sicilia tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento
Federica Scibilia 727

Giovanni Narici e l'esordio del Sistema Hennebique a Napoli
Rossella Melone 737

Ingegneria e Architettura lungo un secolo di storia. Lo studio degli ingegneri Inverardi dell'Aquila
Simonetta Ciranna, Marco Felli 749

Un archivio tra impresa, famiglia e impegno politico: il Fondo Noverino Faletti (1896-1991)
Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio 761

Un ingegnere da riscoprire: il contributo di Plinio Marconi in Campania
Simona Talenti 773

La figura di Pierluigi Nervi attraverso le opere torinesi. Palazzo di Torino Esposizioni e Palazzo del Lavoro
Maria Paola Marabotto 783

Le collezioni geo-mineralogiche del Politecnico di Torino
Margherita Bongiovanni, Carlo Clerici, Alessandro Delmastro, Lorenzo Mariano Gallo, Elisa Vanin 793

Il minareto Al-Hadba sopravvive nella memoria storica alla vandalica distruzione del giugno 2017
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli 803

Pasquale Sasso: un ingegnere al servizio di una comunità
Alessio Mazza 815

Iron Bridge, the first metal bridge in the history of construction
Enzo Siviero, Viviana Martini 827

Il Thames Tunnel di Marc Isambard Brunel. Una storia disegnata a Firenze nel 1828
Elena Teresa Clotilde Marchis 835

I gasometri di Torino
Nadia Fabris 841

Viaggiare in tramway: linee e stazioni in Piemonte tra Ottocento e Novecento
Emilia Garda, Alberto Gerbino, Marika Mangosio 849

La valle dell'Aterno: dai tratturi alle strade ferrate
Francesca Geminiani 859

In tram da Roma ai Castelli. La linea dei Castelli Romani e lo sviluppo della Capitale e degli abitati circostanti nel Novecento
Patrizia Montuori 871

Aspetti inediti della partecipazione della Società G. A. Porcheddu all'Esposizione di Torino 1911. Percorsi critici tra documenti testuali e immagini
Giuseppa Novello, Federica Stella 881

Il Campo Littorio di Camillo Guerra a Salerno: le strutture in calcestruzzo armato tra innovazione e degrado
Federica Ribera 891

Dismissione, riuso, risorsa: il Palazzo di Giustizia di Salerno
Rossella Del Regno, Pasquale Cucco, Federica Ribera 897

Gli edifici scolastici dell'ingegnere Michele De Angelis a Salerno e provincia
Annarita Teodosio 905

La sede del comune di Lecco nel palazzo dell'ex Ospedale. Il progetto di adeguamento dell'ingegner Iosto Braccioni (1926-1928)
Serena Pesenti 917

Un inedito tipo edilizio: le colonie estive degli anni '30 in Abruzzo
Renato Morganti, Alessandra Bellicoso, Alessandra Tosone 927

Il ponte ferroviario S. Spirito lungo la linea Vairano-Isernia: il contesto storico- geografico e le tecniche costruttive
Damiano Santillo 939

L'opera di P.L. Nervi, esempio per una strategia di tutela
Ugo Carughi 951

Il Ponte Federico II di Svevia. Un unicum nella produzione di Riccardo Morandi
Elio Lo Giudice, Gian Luigi Di Marco, Roberta Mantione 967

Impossibile da calcolare! Il cantiere della buvette di Evian, fra intuizione creativa e rigore intellettuale (M. Novarina, S. Kétoff, J. Prouvé, 1955-57)
Giulia Marino 977

Ingegneria strutturale "made in Italy" in Sicilia: il ponte a tiranti sottesi sul fiume Cerami di Riccardo Morandi (1954-59)
Francesco Cammarata 987

Il Teatro Popolare Italiano (TPI) di Ezio De Felice, Elio Giangreco, Giuseppe Giordano e Vittorio Gassman: una sperimentazione di ingegneria, architettura e teatro
Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta, Simona Talenti, Annarita Teodosio 999

Le scuole in Abruzzo: un laboratorio per gli ingegneri del secondo novecento
Vincenzo Di Florio 1009

L'ippodromo di Tor di Valle a Roma e le sue Tribune
Margherita Eichberg, Michele Candela, Maria Luisa Mutschlechner, Alfredo Galasso 1023

Proceedings of the 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale
2020

Summary
Sommario

Volume I

Preface
Prefazione
Salvatore D'Agostino XV

Ricordi

In ricordo di Vito Cardone
*S*alvatore *B*arba, *B*arbara *M*essina XIX

In ricordo di Gennaro Improta
Giuseppe Bruno XXI

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le camere anecoiche acustiche: albori e sviluppi
Carmine Ianniello 127

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

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

Storia dell'industria del gas a Napoli
Andrea Lizza 159

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Macchine e uomini della refrigerazione
Carmine Casale 319

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

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

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

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Volume II

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il restauro della Cappella della Sindone di Torino
Gennaro Miccio 691

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Proceedings of the 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale
2022

Summary
Sommario

Volume I

Preface
Prefazione
Salvatore D'Agostino XII

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)
A project for reducing earthquake effects by isolating buildings from the ground: the treatise by Giovanni Aldini (1781)
Emanuela Guidoboni 3

Ingegnerie del futuro, tra scienza e scaramanzia
Engineering of the future, between science and superstition
Vittorio Marchis 17

Il cantiere edile, tra maestranze specializzate, costi e normalizzazione: le voci dall'antichità
The building site, specialized workers, costs and standardization: voices from antiquity
Giovanna Greco 31

Le terme di Baiae tra mito, storia e tecnica
The Baiae baths between myth, history and technique
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Gennaro Di Fraia, Angela Schiavone 45

Terremoti: riflessioni su alcuni casi tra Roma e l'Appennino
Earthquakes: reflections on some case studies between Rome and the Apennines
Cairoli Fulvio Giuliani 59

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
Luigi Marino, Raffaele Serangeli 71

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
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
New data for the study of the area between the catacombs of S. Gaudioso and S. Severo in the Sanità district in Naples
Maria Amodio, Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo 99

La distribuzione e il drenaggio dell'acqua nella città romana di Saepinum
Water distribution and drainage system in the Roman city of 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
The importance of the Palace of Ctesiphon in the history of structural engineering
Stefano Miccoli, Luisa María Gil-Martín, Enrique Hernández-Montes 125

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
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)
The impact of earthquakes in the genesis of an architectural model: the case of ecclesiastical architecture under Angevin patronage (late 13th - early 14th century)
Arianna Carannante 153

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
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
Damage repair and anti-seismic construction techniques after the 1818 earthquake in the Etna area: the case of Acireale
Federica Scibilia 177

Le infrastrutture idrauliche ottocentesche a Napoli
The nineteenth-century hydraulic infrastructures in Naples
Roberta Gambardella 191

La "Shallow Ecology" nell'Ottocento borbonico
The Bourbon "Shallow Ecology" in the nineteenth century
Giuseppe Foscari 201

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
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 215

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
Alessandra Tosone, Alessandra Bellicoso 229

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*
Giovanni Bellucci 243

Storia delle pompe di calore: principi, tecnologie, applicazioni
History of heat pumps: principles, technologies, applications
Filippo Busato, Marco Noro 257

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
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 271

Rocking behaviour and safeguard of freestanding art objects: an hystorical perspective
Comportamento oscillatorio e salvaguardia di oggetti d'arte non vincolati: una prospettiva storica
Davide Pellecchia, Nicolò Vaiana, Pasquale Cesarano, Luciano Rosati 285

Genesi e sviluppo della disciplina "Fisica Tecnica Ambientale". 1975-2015
Genesis and development of the "Fisica Tecnica Ambientale" discipline. 1975-2015
Marco Filippi 299

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
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
Construction and Design of long span bridges in the last two centuries
Mario Como 329

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)
Lucio Fregonese 343

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
Michela Benente, Cristina Boido 357

From 1922 to today: the Radar, an Italian story too
Dal 1922 ad oggi: il Radar, una storia anche italiana
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli 371

The evolution of photogrammetric knowledge in Cuba
L'evoluzione delle conoscenze fotogrammetriche a Cuba
Tomás Enrique Martínez Chao 385

Per una cultura interdisciplinare del Patrimonio costruito Storico
For an interdisciplinary culture of Built Heritage
Salvatore D'Agostino 397

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
Salvatore D'Agostino 405

Le misure di tempo nel tempo
Measuring time in the time
Paolo Vigo 413

Meccanismi e modelli meccanici per la formazione tecnico-scientifica
Mechanical models for technical-scientific training
Luigi Traetta, Marco Ceccarelli 427

Geometria e architettura, varianti e invarianti di trasformazione
Variants and invariants terms in geometry and architecture
Maria Letizia Conforto 439

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
Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta 453

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)
Claudio D'Ambra, Gian Piero Lignola, Andrea Prota 467

Il contributo degli ingegneri alla costruzione degli edifici alti in Italia
The contribution of engineers in the construction of tall buildings in Italy
Simona Talenti, Annarita Teodosio 481

Contabilizzazione del calore negli edifici residenziali: una tecnologia in forte divenire
Heat allocation in buildings: a technology characterized by a rapid evolution
Paolo Vigo, Laura Canale, Giorgio Ficco 495

Tra ingegneria strutturale e industrial design nel secondo dopoguerra in Italia
Between structural engineering and industrial design in second post-war in Italy
Matteo Ocone 509

L'ingegneria e l'innovazione tecnologica come ausilio per la sclerosi multipla
Engineering and technological innovation as an aid for multiple sclerosis
Giuliana Nardacchione 521

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
Emilio Ciardiello 529

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
Emilio Ciardiello 543

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)
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
Gli anelli della catena devono essere più antichi: una nuova interpretazione della autenticità della catena del Corno d'Oro
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
Guarino Guarini engineer and mathematician. The intangible architectures beyond the Savoy court: the Church of the Somascan Fathers of Messina
Angela Caliendo 587

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
Vittorio Bovolin 599

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
Anna Maragno, Cristiana Volpi 613

La patente di ingegnere. Sapere tecnico e pratica professionale nel Piemonte d'Ancien Régime (1566-1724)
The "*patente*" of engineer. Technical knowledge and professional practice in Piedmont in the *Ancien Régime* (1566-1724)
Elena Gianasso 627

La Società degli ingegneri e degli architetti in Torino
The Society of engineers and architects 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
Two hundred years of chemistry at the Naples School of Engineering: Part three. Specific courses for Chemical and Materials Engineering and optional courses
Carmine Colella 651

L'Ingegneria Geotecnica a Napoli dalle macerie della Seconda Guerra Mondiale
The Foundation Engineering in Naples from the Ruins of the Second World War
Ruggiero Jappelli, Carlo Viggiani 665

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
Salvatore Esposito 679

Science and technology. The physicist and the engineer
Scienza e tecnologia. Fisici e ingegneri
Luca Guzzardi, Danilo Capecchi 691

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
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
Una nuova soluzione per il velarium del Colosseo
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
For the enhancement of a place of engineering culture. Remains of stone road pavements in the Campi Flegrei
Maria Martone 733

Pavimentazioni in battuto di terra a Pompei tra storia e tecnologia
Beaten earth floor in Pompeii between history and technology
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 747

Tra Francia e Olanda, decorazione e costruzione navale nel Seicento
Between France and the Netherlands, decoration and shipbuilding in the seventeenth century
Claudia Tacchella 761

Le Cigar Ships
The Cigar Ships
Massimo Corradi 775

Il restauro del Complesso di San Pietro a Corte a Salerno
The San Pietro a Corte building renovation in Salerno
Gennaro Miccio 789

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
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 803

Le grandi coperture metalliche realizzate in Italia alla fine dell'Ottocento
Large metal roofs in Italy at the end of the 19th century
Marcello Zordan 817

John Smeaton. A civil engineer
John Smeaton. Un ingegnere civile
Danilo Capecchi 831

Isambard Kingdom Brunel: un indiscusso protagonista dell'ingegneria vittoriana
Isambard Kingdom Brunel: An undisputed protagonist of Victorian engineering
Andrea Lizza 845

Apparecchi murari "irregolari" storicizzati: le tessiture "a cantieri" di area campana
Historic "irregular" stonelaying: masonry walls "*a cantieri*" in Campania's region
Marina D'Aprile 851

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
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
Reinforced concrete for permanent fortifications. Military engineers' contribution to the fortifying art in the early twentieth century
Sara Isgrò 877

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
Sara Isgrò 889

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
Barbara Berger 903

Le fondazioni pneumatiche per lo sviluppo delle prime reti ferroviarie in Italia
Pneumatic foundations for the development of the first railways networks in Italy
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
The Bologna Exhibition Center. Long-span steel structures in the Benevolo, Giura Longo, Melograni pavilions
Alessandra Tosone, Alba Fagnani, Renato Morganti 931

Le officine del gas ed i gasometri di Napoli
The gas works and gasometers of Naples
Andrea Lizza 943

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
Luigi D'Antonio, Vincenzo Di Florio 951

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
Antonino Drago 965

Paolo Frisi with contributions to modern Mechanics
Paolo Frisi ed i suoi contributi per la moderna Meccanica
Marco Ceccarelli 979

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*
Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Matteo Abita, Renato Morganti 993

La nascita del Settore Astronautico in Italia
The birth of the astronautical sector in Italy
Mario Marchetti 1007

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)
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"
Architecture and architectural environment: Luigi Carlo Daneri (1900-1972) and the Case alla Foce, a public square "to provide Genoa with the sea"
Elisa Boeri 1033

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
Nelly Cattaneo 1047

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
Federica Ribera, Pasquale Cucco 1061

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
Laura Travaglini, Ruggiero Jappelli 1075

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
Andrea Maglio 1089

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
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 1103

Giustino Cantamaglia, ingegnere della ricostruzione post-bellica in Abruzzo
Giustino Cantamaglia, Engineer of post-war reconstruction 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
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
Ermanno Bizzarri 1131

La testimonianza di un ingegnere a Palermo negli anni Sessanta: Giorgio Fernandez
Being an engineer in Palermo in the Sixties: Giorgio Fernandez
Aurora Riviezzo 1145

Per una storia ambientale del Parco Nazionale dello Stelvio: il paesaggio idroelettrico
For an environmental history of the Stelvio National Park: the hydroelectric landscape
Stefano Morosini, Fabrizio Trisoglio 1159

Edilizia del Novecento: le "case popolarissime" a Cosenza
20th-century building heritage: the "*case popolarissime*" in 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
Some industrialized construction techniques of Società Generale Immobiliare (SGI) in Italy in the 1970s. A case study in Modena: the Amendola housing complex
Francesco Spada 1185

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
Renato Morganti, Alessandra Tosone, Danilo Di Donato, Matteo Abita 1199

Some proposals on the digital catalogue card of historical drawings
Alcune proposte per le schede di catalogazione digitale dei disegni storici
Carlo Rottenbacher, Edoardo Rovida 1213

Proceedings of the 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale
2024

Summary
Sommario

Volume I

Preface: Twenty years of History
Prefazione: Venti anni di Storia
Salvatore D'Agostino XIX

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La nascita dell'Ingegneria per i Beni Culturali
The birth of Engineering for Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 3

Gli strumenti di misura per l'igrometria dal XV al XX secolo
The measuring instruments for hygrometry from 15th to 20th century
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 13

Continuità e innovazione tecnologica nelle strutture e infrastrutture di Caulonia tra la fine dell'VIII e il II sec. a.C.: alcune evidenze
Continuity and technological innovation in the structures and infrastructures of Caulonia between the end of the 8th and the 2nd century BC: some evidence
Maria Teresa Iannelli, Lucia Lepore 25

Verso la ricostruzione del meccanismo della fontana sonora, che attirò l'attenzione di Leonardo a Rimini nel 1502
Toward the reconstruction of the singing fountain mechanism, which captured the attention of Leonardo visiting Rimini in 1502
Pier Gabriele Molari 37

Guglielmo da Parigi e la torre dell'orologio di Castel Nuovo a Napoli
Guglielmo from Paris and the clock tower of *Castel Nuovo* in Naples
Rosanna Di Battista, Pier Gabriele Molari 49

…e poi fu CEP (Calcolatrice Elettronica Pisana). Una storia del calcolo numerico elettronico
…and then there was CEP (Pisan Electronic Calculator). A story of the electronic numerical calculation
Lucia Barsanti, Mario Calamia, Monica Gherardelli 61

Le tecniche costruttive antisismiche "spontanee" attraverso i documenti d'archivio: il caso della città di Cosenza
"Spontaneous" anti-seismic building techniques through archival documents: the case of the city of Cosenza
Federica Castiglione, Francesca Bilotta, Brunella Canonaco 73

Le capriate in legno della Reggia di Caserta
The wooden trusses of the Caserta Royal Palace
Giorgio Frunzio, Luigi Massaro, Luciana Di Gennaro 85

Peter Nicholson e il metodo pratico-descrittivo per la costruzione degli archi obliqui nell'Inghilterra dell'Ottocento
Peter Nicholson and the Practical-Descriptive Method for the Construction of Oblique Arches in Nineteenth Century England
Stefano Chiarenza, Barbara Messina 95

Teoria e prassi. Per una storia degli errori nell'ingegneria delle costruzioni
Theory and practice. For a history of errors in construction engineering
Luca Guardigli, Davide Prati 107

Le problematiche strutturali del sottosuolo napoletano nel corso della storia attraverso le memorie di antiche cave greche
The structural problems of the Neapolitan underground throughout history
Clemente Esposito 119

L'avvio della telegrafia elettrica in Italia. Il contributo di Francesco Zantedeschi (1797-1873)
The start of electric telegraphy in Italy. The contribution of Francesco Zantedeschi (1797-1873)
Lucia De Frenza 131

Le ricostruzioni e i restauri di Notre Dame dal XIX al XXI secolo, ovvero l'ingegneria in Francia da Rondelet e Violet le Duc fino ai giorni nostri
The reconstructions and restorations of Notre Dame from the 19th to the 21st centuries or engineering in France from Rondelet and Violet le Duc to the present day
Carlo Blasi 143

Breve Storia del Comitato nazionale per la prevenzione del patrimonio monumentale dal rischio sismico del Ministero dei Beni Culturali
A Brief History of the National Committee for the Prevention of Monumental Heritage Risk from Earthquakes of the Ministry of Cultural Heritage
Salvatore D'Agostino 155

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le fortificazioni liminali d'Oltremare in epoca Crociata: esperienze costruttive a confronto
The Overseas border fortifications at the time of the Crusades: constructive experiences compared
Basema Hamarneh, Luigi Marino 171

L'architettura delle tende nere beduine
The architecture of the Bedouin black tents
Luigi Marino 183

Il progetto PROTECT. Primi passi verso un protocollo operativo per la lettura archeosismologica speditiva dei centri storici
The PROTECT project. First steps towards an operational protocol for the light archaeoseismological analysis of historical
Andrea Arrighetti, Marco Repole 195

Breve storia della qualità dell'aria negli ambienti confinati
A short history of Indoor Air Quality
Gian Vincenzo Fracastoro 207

The Trochotron Beam-Switch Counter Arturo
Il contatore numerico Trochotron
Emilio Ciardiello 219

Tecniche antisismiche storiche nelle aree interne abruzzesi
Historical anti-seismic techniques in the internal areas of Abruzzo
Maurizio D'Antonio 231

Criteri costruttivi e tecniche antisismiche premoderne
Construction criteria and pre-modern anti-seismic techniques
Giovanni Cangi 243

La concezione dell'andamento plano-altimetrico delle strade: dal modello ferroviario a quello odierno
The plano-altimetrical road alignments: from the railway model to today's model
Raffaele Mauro, Anna Maragno 257

La costruzione di architetture centriche a inizio Cinquecento: geometria sottesa e dettagli costruttivi nelle cappelle Caracciolo di Vico e di Caterina Pignatelli
The construction of central plan architecture in the early 16th century: underlying geometry and construction details in the Caracciolo di Vico and Caterina Pignatelli chapels
Maria Teresa Como 269

Il pavimento a fiori nella biblioteca del palazzo ducale di Urbino, ripreso nel palazzo ducale di Gubbio: solo un esercizio grafico di Francesco di Giorgio?
The flowered floor in the library of the ducal palace of Urbino, reproduced in the ducal palace of Gubbio: just a graphic exercise by Francesco di Giorgio?
Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari 281

La strategia difensiva di Archimede nella fortezza di Siracusa
The defensive strategy of Archimedes in the Syracuse fortress
Umberto di Marco, Pier Gabriele Molari 293

La Grande Diga sul Fiume Jato in Sicilia. Promozione, progetto e costruzione
The Large Dam on the Jato River in Sicily. Promotion, Design, and Construction
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli, Vincenzo Canzoneri 305

Il progetto del grande ospedale di Napoli di Camillo Guerra e Girolamo Ippolito
The project of the great hospital of Naples by Camillo Guerra and Girolamo Ippolito
Arturo Armone Caruso 317

La produzione della carta in Costiera amalfitana
The production of paper in the Amalfi Coast
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 329

Le cartiere di Vietri sul mare: una breve storia
The paper mills of Vietri sul Mare: a brief history
Mariandrea Avallone, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Aniello Tesauro 341

La cartiera dell'Auso e l'antica turbina
The paper mill of *Auso* and the ancient turbine
Fabiana d'Ambrosio, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Giovanni d'Ambrosio, Pietro d'Ambrosio 351

Le indagini preventive e il supporto documentale per la corretta definizione degli interventi di restauro: il caso della Basilica inferiore del Duomo di Salerno
The preventive studies and documentary research for the correct definition of restoration interventions: the lower Basilica of the Salerno Cathedral
Gennaro Miccio 363

Nanocompositi e nanomateriali: una scoperta recente con radici lontane
Nanocomposites and nanomaterials: a recent discovery with distant roots
Andrea Sorrentino, Vittoria Vittoria 375

Una nuova analisi sismica delle strutture in muratura
A new seismic analysis of masonry structures
Simona Coccia, Mario Como 387

Lo sviluppo dell'illuminazione pubblica a Napoli
The development of public lighting in Naples
Roberta Gambardella 399

L'illuminazione pubblica a Napoli, concessioni e progetti dall'Unità d'Italia al Piano di risanamento e ampliamento della città di Napoli del 1885
Public lighting in Naples, concessions and projects from the Unification of Italy to the 1885 Plan of risanamento e ampliamento della città di Napoli
Federica Fiorillo 411

Le Supercinghie di Paolo Magaldi
Leather driving belts by Paolo Magaldi
Francesco Caputo, Paolo Magaldi Jr 421

Dalle miscele cementizie alle superfici architettoniche in pietra. Applicazioni con biossido di titanio tra storia recente ed evoluzione
From cement mixtures to architectural stone surfaces. Titanium-dioxide applications between recent history and evolution
Gigliola Ausiello, Francesco Sommese 431

La statica delle volte, alla prova delle bombe
The statics of bomb-proof vaulted structures
Cesare Tocci, Edoardo Piccoli 445

On Greek sphere-making
Sulla sferopea greca
Alessandro Amabile 457

Factories, bridges and steam engines: G.S. Poli, C. Lippi and the technological renovation in the Kingdom of Naples between the end of the 18th and the beginning of the 19th century
Fabbriche, ponti e macchine a vapore: G.S. Poli, C. Lippi e il rinnovamento tecnologico nel Regno di Napoli tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo
Salvatore Esposito 469

Trasporti urbani tra storia e prospettive per la transizione ecologica e sostenibile
History and prospects of urban transport for the ecological and sustainable transition
Antonio Coppola 481

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Il distretto industriale della Media Valle del Liri
The industrial district of the Liri Media Valley
Arturo Gallozzi, Michela Cigola, Marcello Zordan, Chiara Caira 495

Ingegneria ed Economia
Engineering and Economics
Riccardo Gallo 507

Historical industrial roots of management engineering: from the organization of work in the factory to the management of complex systems
Storiche radici industriali dell'ingegneria gestionale: dall'organizzazione del lavoro in fabbrica alla gestione dei sistemi complessi
Marcello Lando, Massimiliano M. Schiraldi 519

La formazione degli ingegneri a Modena dal Settecento a oggi. L'Istituto dei Cadetti Matematici Pionieri e l'Università
The engineers education in Modena from XVIII century until today. The Institute of Pioneer Mathematical Cadets and University
Elena Corradini, Angelo Marcello Tarantino, Stefano Orlandini, Marco Zucchi 531

Agli albori dell'Ingegneria Chimica nell'Università di Napoli
At the dawn of Chemical Engineering at the Naples University
Carmine Colella 543

From Invisibility to Recognition: First Women Engineers at Politecnico di Torino
Da invisibili a protagoniste: le prime donne ingegnere del Politecnico di Torino
Margherita Bongiovanni, Mariya Shcherbyna (Maria Shcherbina), Francesca Gervasio 557

L'Ingegneria nucleare al Politecnico di Torino
Nuclear Engineering at Politecnico di Torino
Vittorio Marchis, Bruno Panella 569

La fisica e l'ingegneria nucleare tra il CNRN e il CNEN
Nuclear Physics and Engineering between CNRN and CNEN
Andrea Battocchio 581

Volume II

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

Pier Luigi Nervi e la Nervi e Bartoli in Calabria. Progetti e realizzazioni (1957-1975)
Pier Luigi Nervi and Nervi and Bartoli in Calabria. Projects and realizations (1957-1975)
Laura Greco, Andrea De Luca, Valentina Guagliardi, Francesco Spada 595

Il progetto e la costruzione dei grandi collettori bassi delle fogne di Roma (1882-1925)
Design and construction of the modern collector sewers in Rome (1882-1925)
Ilaria Giannetti, Stefania Mornati 607

La Funivia del Gran Sasso d'Italia: un caso significativo di impianto a fune in Italia e in Europa
The Gran Sasso d'Italia cable car: a significant case of ropeway in Italy and Europe
Marco Paolucci, Ceren Ekinci, Simonetta Ciranna, Francesco D'Annibale 621

Necropoli Ellenistica di Neapolis. Ipogeo delle Colonne. Nuove osservazioni sulla tecnica costruttiva del prospetto monumentale
Hellenistic Necropolis of Neapolis. Hypogeum of the columns. New observations on the construction technique of the monumental façade
Carlo Leggieri, Giuseppe Mollo, Giuseppe Piccolo 635

Decodificare per riscrivere la storia del patrimonio tecnico. Il caso Anic di Pisticci
Decode to rewrite the history of technical heritage. The Anic case of Pisticci
Mariangela Bellomo, Antonella Falotico 645

Migrazione di saperi dall'Italia all'Argentina. Gli ingegneri Luigi Luiggi (1856-1931) e Cesare Cipolletti (1843-1908)
Migration of knowledge from Italy to Argentina. The engineers Luigi Luiggi (1856-1931) and Cesare Cipolletti (1843-1908)
Simonetta Ciranna, Patrizia Montuori 657

Anton Flettner e l'effetto Magnus
Anton Flettner and the Magnus effect
Massimo Corradi, Claudia Tacchella 669

«Stability and elegance»: the British Petroleum suspended structure in Antwerp (1959-1963)
«Stabilità ed eleganza»: la struttura sospesa della British *Petroleum ad Anversa (1959-1963)*
Giuseppe Galbiati, Franz Graf, Giulia Marino 683

L'Ingegnere Vittorio Bonadé Bottino e l'albergo di Campo Imperatore
The Engineer Vittorio Bonadé Bottino and the Campo Imperatore Hotel
Vincenzo Di Florio, Alessandra D'Ovidio, Marco Felli 695

I progetti di Carmelo Sciuto-Patti per lo "Spedale medico per la città e mandamento di Giarre" (1866)
The projects of Carmelo Sciuto-Patti for the "Medical hospital for the city and district of Giarre" (1866)
Federica Scibilia 705

Giuseppe Cigni e il rapporto tra ingegneria e architettura. Progetti e scritti di un progettista del secondo Novecento
Giuseppe Cigni and the link between engineering and architecture. Works and writings of a designer of the second half of the 20th century
Giovanni Bellucci 717

Affreschi di vita benedettina nel chiostro del Platano a Napoli: interventi novecenteschi per la risoluzione del problema dell'umidità
Benedectine life's frescoes in *Chiostro del platano* in Naples: twentieth-century interventions to solve the problem of damp
Giuliana Ricciardi 729

Adriano Olivetti, la costruzione dell'urbanistica italiana e due visioni contrapposte dello spazio urbano
Adriano Olivetti, the built of Italian urban planning and two different way of understanding urban space
Marialuce Stanganelli 741

Sperimentazioni strutturali del secondo Novecento: il nuovo mattatoio di Torino
Structural experimentations in the second half of the 20th century: the new slaughterhouse in Turin
Marika Mangosio 753

Il progetto ottocentesco della Stazione di Perugia-Fontivegge e sua ricostruzione virtuale
The nineteenth century project of the Perugia-Fontivegge Station and its virtual reconstruction
Chiara Mommi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andrea Migliosi 765

L'ingegnere Pasquale Amodio e l'Accademia Aeronautica di Pozzuoli
The engineer Pasquale Amodio and the Aeronautical Academy of Pozzuoli
Lia Maria Papa 777

La storica questione dell'acqua potabile in città. Il caso dell'acquedotto di Salerno
The historical issue of drinking water in the urban context. The case of Salerno's aqueduct
Federica Ribera, Anna Gallo 789

Gli studi storico artistici dell'ingegnere Michele De Angelis
The historical and artistic studies of engineer Michele De Angelis
Annarita Teodosio 801

Emmanuele Rocco: un ingegnere nella Belle Époque e un protagonista del Risanamento a Napoli
Emmanuele Rocco: an engineer in the *Belle Époque* and a protagonist of the Redevelopment in Naples
Andrea Lizza 813

Breve biografia di Alfredo Cottrau: un pioniere delle costruzioni metalliche di fine Ottocento
Short biography of Alfredo Cottrau: a pioneer of late 19th century metal construction
Andrea Lizza 821

Da terme a cisterna: le cosiddette "Stanze di Venere" nel Parco archeologico delle terme romane di Baia
From baths to tank: the so called "*Stanze di Venere*" in the Archaeological Park of the roman baths of *Baia*
Daniele De Simone 827

Materiali e tecniche nella ricostruzione dell'ospizio del Pio Monte della Misericordia a Casamicciola
Materials and techniques in the reconstruction of the Pio Monte della Misericordia hospice in Casamicciola
Monica Esposito 837

Ingegneri e governance: note intorno a Gian Giacomo Plantery decurione
Engineers and governance: notes on Gian Giacomo Plantery decurione
Elena Gianasso 849

Modelli digitali delle architetture dell'acqua. Il Mulino-Ferriera Alviggi a Sant'Agata de' Goti
Digital models of water architectures. The Alviggi Mill-Ironworks in Sant'Agata de' Goti
Giuseppe Antuono 861

I Centri di Preparazione Olimpica di Roma e Formia: da impianti per lo sport di alto livello a beni architettonici di interesse culturale
The Olympic Preparation Centers in Rome and Formia: from high-level sports facilities to architectural heritage
Damiano Santillo 873

L'acquedotto ipogeo di Aesernia
The underground aqueduct of *Aesernia*
Damiano Santillo, Federico Capriuoli 887

Ingegneria al servizio dell'archeologia: il progetto CAST applicato alle grotte di Pertosa-Auletta
Engineering at the service of archaeology: the CAST project applied to the Pertosa-Auletta caves
Andrea Di Meo, Federico Capriuoli, Antonella Minelli 901

La fabbrica della Perugina a Fontivegge: ricostruzione di un luogo identitario della storia
The Perugina factory in Fontivegge: reconstruction of a historical identity place
Andrea Migliosi, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Chiara Mommi 913

La Casa della Giovane Italiana a L'Aquila
The Italian Youth House in L'Aquila
Alessandra Bellicoso 925

Carlo Vanvitelli e il caso della scala di Palazzo d'Avalos a Procida
Carlo Vanvitelli and the Palazzo d'Avalos' staircase in Procida
Maria Rosaria Cocozza 937

"Gli ingegneri degli architetti": dal gruppo Structures3 al sodalizio tra Ove Arup & Partners e Renzo Piano (1971-1981)
"The engineers of architects": from Structures3 group to the partnership between Ove Arup & Partners and Renzo Piano (1971-1981)
Elisa Boeri, Michela Pilotti 947

Il Piano di Conservazione come strumento di tutela dell'architettura del XX secolo. Una sperimentazione per l'Aviorimessa di Pier Luigi Nervi a Pontecagnano
The Conservation Plan as a tool for protecting 20th century architecture. An experiment for Pier Luigi Nervi's Hangar in Pontecagnano
Federica Ribera, Pasquale Cucco, Giulia Neri 959

Carlo Salvetti, un fisico teorico prestato all'ingegneria nucleare
Carlo Salvetti, a theoretical physicist lent to nuclear engineering
Andrea Battocchio, Roberto Lalli 967

William Thomson tra macchine termiche e spiritualismo
William Thomson between thermal machines and spiritualism
Mariano Bonaccorsi, Giuseppe Ruta 979

Il grande incendio del Palazzo Reale di Napoli del 1837 e la direzione tecnica delle operazioni di spegnimento della Compagnia dei Pompieri
The Great Fire of the Royal Palace of Naples in 1837 and the technical direction of firefighting operations by the Civic Fire Company
Michele Maria La Veglia, Clemente Esposito 991

A fili di ferro: il contributo di Marc Seguin allo sviluppo dei ponti sospesi in Italia
With iron wires: the contribution of Marc Seguin in the development of suspension bridges in Italy
Alessandra Tosone, Renato Morganti, Alessia Panepucci, Danilo Di Donato 997

Acciaio e fabbrica nel Mezzogiorno d'Italia. Architetture industriali del Secondo Novecento
Steel and factories. Industrial architecture of the second half of the twentieth century
Danilo Di Donato, Matteo Abita, Renato Morganti, Alessandra Tosone 1011

Contraddire l'archetipo. Potenzialità dell'acciaio nell'architettura di Julio Lafuente
To deny the archetype. Steel potential in Julio Lafuente's architecture
Matteo Abita, Danilo Di Donato, Alessandra Tosone, Renato Morganti 1023

L'alluvione del 1949 a Benevento
The Benevento 1949 flood
Vittorio Bovolin 1035

Borghi abbandonati: il caso di Roscigno e la sua lunga storia, dall'antichità a oggi
Abandoned villages: The case of Roscigno and its long history, from antiquity to today
Giovanna Greco 1047

THE STRAIT OF MESSINA BRIDGE
IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA

The evolution of super-long span bridge decks, from Tacoma to Messina
L'evoluzione degli impalcati nei ponti di grandissima luce, dal Tacoma al Messina
Giorgio Diana, Filippo Calamelli 1061

Most recent developments in large bridge aerodynamics (2013-2024)
Alcuni recenti sviluppi in aerodinamica dei ponti di grande luce (2013-2024)
Fengying Wu, Lin Zhao, Yaojun Ge, Claudio Borri 1071

L'evoluzione storica del progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, dalle idee primordiali al quinquennio decisivo, 2001-2006
The historical evolution of the project of the Strait of Messina Bridge, from the primordial ideas to the decisive quinquennium 2001-2006
Pietro Lunardi 1085

Analisi storica della mancata realizzazione del Ponte sullo Stretto
Historical analysis of the failure to construction of the Messina Strait Bridge
Giovanni Mòllica 1097

Evolution of viscoelastic dissipative models for structural systems crossed by moving loads
Evoluzione dei modelli dissipativi viscoelastici per sistemi strutturali attraversati da carichi mobili
Mario Di Paola, Giuseppe Muscolino 1109

L'area dello Stretto di Messina: analisi dei rischi geologici dopo il terremoto del 1908
The Messina Straits area: an overview of geological risks following the 1908 earthquake
Alberto Prestininzi, Gianluca Valensise 1121

Interaction between structural model and aerodynamics effects in the aeroelastic stability of suspension bridge
Interazione fra modello strutturale e aerodinamica nella stabilità aeroelastica dei ponti sospesi
Piero D'Asdia, Fabio Rizzo 1133

Le strutture del ponte sullo Stretto, dalle prime proposte al progetto definitivo
The structures of the bridge on the Strait, from the first proposals to the final design
Fabio Brancaleoni 1145

I cavi portanti dei ponti sospesi, passato e presente
The main cables of suspension bridges, past and present
Fabio Brancaleoni 1159

MEMORIES
RICORDI

Per una storia dell'Elettrotecnica a Napoli: il prof. Scipione Bobbio
For a history of Electrotechnics in Naples: professor Scipione Bobbio
Luciano De Menna 1175

Mario Raffa: Uno dei padri dell'Ingegneria Gestionale a Napoli e in Italia
Mario Raffa: One of the founding fathers of Management Engineering in Naples and Italy
Emilio Esposito 1187

Ricordo di Salvatore Di Pasquale
Memory of Salvatore Di Pasquale
Salvatore D'Agostino 1199

In memoria di Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
In memory of Salvatore Di Pasquale (1931-2004)
Claudio Alessandri, Silvia Briccoli Bati, Giovanni Di Pasquale 1201

Salvatore Di Pasquale - Pubblicazioni 1958-2008
Salvatore Di Pasquale - Papers 1958-2008
Giovanni Di Pasquale 1213

Salvatore Di Pasquale e la cupola del Brunelleschi
Salvatore Di Pasquale and the Brunelleschi Dome
Mario Como 1229

Maria Letizia Conforto (1940-2024): una Architetta Archeologa
Maria Letizia Conforto (1940-2024): un Architect Archaelogist
Salvatore D'Agostino 1241

Volume III

Presentation
Presentazione
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano 1259

SUMMARIES
SOMMARI

Proceedings of 1st National Conference
Atti del 1° Convegno Nazionale - 2006 1265

Proceedings of 2nd National Conference
Atti del 2° Convegno Nazionale - 2008 1275

Proceedings of 3rd National Conference
Atti del 3° Convegno Nazionale - 2010 1287

Proceedings of 4th National Conference
Atti del 4° Convegno Nazionale - 2012 1297

Proceedings of 1st International Conference
Atti del 5° Convegno Nazionale - 2014 1305

Proceedings of 2nd International Conference
Atti del 6° Convegno Nazionale - 2016 1315

Proceedings of 3rd International Conference
Atti del 7° Convegno Nazionale - 2018 1323

Proceedings of 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale - 2020 1333

Proceedings of 5th International Conference
Atti del 9° Convegno Nazionale - 2022 1341

Proceedings of 6th International Conference
Atti del 10° Convegno Nazionale - 2024 1353

GENERAL INDEX OF AUTHORS
INDICE GENERALE DEGLI AUTORI 1369

GENERAL INDEX OF AUTHORS

INDICE GENERALE DEGLI AUTORI

General index of Authors
Indice generale degli Autori

Abategiovanni Lina	2012, II, p. 1151
Abita Matteo	2016, I, p. 473 2018, I, p. 511 2022, I, p. 215; II, pp. 917, 993, 1199 2024, II, pp. 997, 1011, 1023
Accardi Matteo	2010, II, p. 1173
Accarino Luna	2012, II, p. 857
Aita Danila	2006, I, p. 291 2018, I, p. 165
Alberti Nicola	2006, I, p. 493
Alessandri Claudio	2024, II, p. 1201
Alini Luigi	2008, I, p. 321
Altadonna Alessio	2014, I, p. 329 2016, II, p. 611
Amabile Alessandro	2024, I, p. 457
Amato Flora	2008, I, p. 99
Ambrogi Vincenzo	2020, I, p. 487 2024, I, p. 281
Amodio Maria	2022, I, p. 99
Amore Raffaele	2008, I, p. 649 2010, II, p. 1079 2012, II, p. 1077 2014, I, p. 459 2018, I, p. 481 2020, II, p. 705
Anaya Díaz Jesús	2016, II, pp. 899, 959
Andriola Piero	2018, I, p. 105
Andreotti Amedeo	2010, I, p. 429
Angotti Franco	2006, I, p. 487

Anguìs Climent Diego	2010, II, p. 869
Antoniadis Stefanos	2014, II, p. 1183
Antuono Giuseppe	2024, II, p. 861
Apicella Pasquale	2014, II, p. 1363
Argenziano Pasquale	2006, II, p. 853
Arici Francesca	2008, II, pp. 1341, 1351
Arici Marcello	2008, II, pp. 1341, 1351 2014, I, p. 103
Armone Caruso Arturo	2024, I, p. 317
Aroldo Maria Luce	2018, II, p. 717
Arrichiello Flora	2020, II, p. 881
Arrighetti Andrea	2024, I, p. 195
Assante Dario	2006, I, p. 81; II, p. 1165 2008, I, p. 125 2010, I, p. 429
Astarita Giovanni	2008, II, p. 861
Astrella Consuelo Isabel	2016, II, p. 839
Augenti Nicola	2006, II, p. 909 2008, I, pp. 165, 267
Augusti Giuliano	2006, I, p. 89; II, p. 711 2012, I, p. 389
Ausiello Gigliola	2006, II, p. 587 2008, I, p. 727 2014, I, p. 439 2016, I, p. 357 2018, I, p. 379 2022, II, p. 747 2024, I, p. 431
Avallone Angelo	2016, I, p. 235 2018, I, p. 529
Avallone Mariandrea	2024, I, pp. 329, 341
Aveta Aldo	2008, II, p. 1061 2010, II, p. 697 2012, I, p. 493 2014, I, p. 309

Aveta Claudia	2008, I, p. 563 2010, II, p. 1029 2012, I, p. 505 2014, I, p. 341
Avola Stefano	2012, I, p. 231
Balassone Stefano	2012, II, p. 1065
Baratta Alessandro	2006, I, p. 89
Barba Salvatore	2020, I, p. XIX
Barbato Maurizio	2012, II, p. 1023
Barella Silvia	2008, I, p. 155 2010, I, p. 249
Barone Guido	2014, II, p. 1249 2016, I, p. 319
Barone Paola	2018, I, p. 407
Barsanti Lucia	2024, I, p. 61
Barsotti Riccardo	2008, II, p. 875 2018, I, p. 165
Basiricò Tiziana	2008, II, p. 901 2014, I, p. 527
Battocchio Andrea	2024, I, pp. 581, 967
Bazzocchi Frida	2014, I, p. 563; II, p. 1169
Belingardi Chiara	2020, I, p. 559
Belli Gemma	2006, I, p. 403
Belli Paolo	2008, II, p. 1275
Bellicoso Alessandra	2012, I, p. 231 2016, II, pp. 909, 1051 2018, II, p. 927 2020, II, p. 791 2022, I, p. 229 2024, II, p. 925
Bellomo Mariangela	2010, I, p. 623 2012, II, p. 999 2024, II, p. 645
Bellucci Giovanni	2022, I, p. 243 2024, II, p. 717

Benassai Edoardo	2008, I, p. 595; II, p. 1511 2010, I, p. 611 2012, II, p. 991 2014, I, p. 139; II, p. 847
Benente Michela	2022, I, p. 357
Benincasa Fabrizio	2018, I, p. 393
Bennati Stefano	2008, II, p. 875 2018, I, p. 165
Beretta Franco	2016, I, p. 385
Berežanskytė Liucjia	2014, II, p. 875
Berger Barbara	2022, II, p. 903
Bertolazzi Angelo	2014, I, p. 755 2020, I, p. 137
Bertorotta Simona	2010, II, p. 1173
Beste Heinz	2016, I, p. 47
Bettazzi M. Beatrice	2006, II, p. 557 2010, II, p. 675
Bianchi Francesco	2020, II, p. 767
Bianconi Fabio	2024, II, pp. 765, 913
Billeci Bruno	2010, II, p. 663 2016, II, p. 635
Bilotta Francesca	2024, I, p. 73
Bisceglia Bruno	2010, I, p. 161 2012, II, p. 877
Bizzarri Ermanno	2022, II, p. 1131
Blandino Irene	2016, II, p. 1019
Blasi Carlo	2024, I, p. 143
Blotto Laura	2016, II, p. 849
Boccardi Claudio	2016, II, p. 869
Bocconcino Maurizio Marco	2020, II, p. 633
Bodrato Enrica	2016, I, p. 259
Boeri Elisa	2022, II, p. 1033 2024, II, p. 947

Boffito Maura	2008, II, p. 867 2010, I, p. 421 2012, I, p. 445 2014, II, p. 1063
Boido Cristina	2010, II, p. 687 2022, I, p. 357
Bologna Alberto	2010, II, p. 1119
Bona Serafino	2016, I, p. 343 2018, II, p. 631
Bonaccorsi Mariano	2024, II, p. 979
Bongiovanni Margherita	2008, II, p. 915 2010, II, p. 1037 2012, I, p. 315 2014, I, p. 729 2016, I, p. 259 2018, II, p. 793 2020, II, p. 855 2024, I, p. 557
Boriani Maurizio	2006, II, p. 991
Borri Claudio	2006, II, p. 711 2024, II, p. 1071
Bortolotti Alberto	2012, I, p. 173
Boscotrecase Luciano	2008, I, p. 497
Bottini Anna	2008, II, p. 839
Bove Lucia	2010, II, p. 945
Bovolin Vittorio	2022, II, p. 599 2024, II, p. 1035
Bracale Marcello	2006, I, p. 135
Brancaleoni Fabio	2024, II, pp. 1145, 1159
Branda Francesco	2006, II, p. 843 2008, I, p. 135 2010, I, p. 281 2012, I, p. 35 2014, I, p. 129
Briccoli Bati Silvia	2024, II, p. 1201

Brigante Michele	2010, I, pp. 411, 591 2012, II, p. 1011 2016, II, p. 1009
Bruno Giuseppe	2008, I, p. 87 2010, I, p. 175 2012, I, p. 17 2020, I, p. XXI
Bruno Matthias	2016, I, p. 329 2018, I, pp. 45, 57
Buccafurri Francesca Luisa	2016, II, p. 829
Buccaro Alfredo	2006, I, p. 213 2008, II, p. 797 2010, I, p. 261 2012, I, p. 139 2014, I, p. 657 2016, II, p. 573 2018, I, p. 189 2020, I, p. 499
Bulfone Gransinigh Federico	2018, II, p. 685
Busato Filippo	2022, I, p. 257
Caccese Ermenegildo	2008, I, p. 117
Cacciavillani Carlos Alberto	2006, II, pp. 547, 1019 2008, II, p. 1165 2010, II, p. 1057 2012, I, p. 481
Caira Chiara	2024, I, p. 495
Calabresi Giovanni	2006, I, p. 101 2008, I, p. 205 2018, I, p. 239
Calabrò Sara	2006, II, p. 1173
Calamelli Filippo	2024, II, p. 1061
Calamia Mario	2008, I, p. 35 2010, I, p. 7; II, p. 1189 2012, I, p. 3 2014, I, p. 157 2016, I, p. 65; II, p. 647

2018, I, p. 369
2020, I, p. 15
2022, I, p. 371
2024, I, p. 61

Calderini Chiara 2006, II, pp. 671, 681
2008, II, p. 1437

Caliendo Angela 2022, II, p. 587

Caliendo Gaia 2016, I, p. 203

Calomino Francesco 2012, I, p. 219

Calzolari Monica 2018, I, p. 439

Cambiaghi Danilo 2012, I, p. 277

Cammarata Francesco 2018, II, p. 987

Campisi Tiziana 2010, II, p. 933
2012, II, p. 741
2014, II, pp. 875, 1157
2016, I, p. 395

Campolongo Alessandro 2012, II, p. 753
2014, I, p. 551
2016, I, p. 213; II, p. 919
2020, II, p. 829
2022, II, p. 1171

Canale Laura 2022, I, p. 495

Candela Michele 2018, II, p. 1023

Càndito Cristina 2008, I, p. 541
2014, I, p. 379

Cangi Giovanni 2024, I, p. 243

Canonaco Brunella 2012, II, p. 655
2014, I, p. 389
2016, I, p. 247
2024, I, p. 73

Cantoni Virginio 2012, I, p. 405

Canzoneri Vincenzo 2024, I, p. 305

Capano Francesca 2010, II, p. 857
2014, II, p. 1225
2020, II, p. 671

Capecchi Danilo	2008, II, p. 875 2010, I, p. 313; II, p. 797 2012, I, p. 77 2014, I, p. 69 2016, I, p. 55 2022, II, pp. 691, 831
Capomolla Rinaldo	2006, II, p. 1143
Capone Paola	2006, I, p. 185
Caporlingua Massimo	2018, I, p. 597
Capriolo Giulio	2008, II, p. 1265
Capriuoli Federico	2020, I, p. 449 2022, I, p. 111 2024, II, pp. 887, 901
Caputo Francesco	2006, II, p. 967 2024, I, p. 421
Carannante Arianna	2022, I, p. 153
Cardani Cesare	2006, II, p. 1173
Cardone Vito	2006, I, p. 267 2008, II, p. 781 2010, I, p. 91 2012, I, p. 373 2014, II, p. 959 2016, I, p. 85 2018, II, p. 663
Carlea Donato	2010, I, p. 69
Caroti Gabriella	2022, I, p. 111
Carpentiero Maria Gabriella	2022, I, p. 111
Carravetta Roberto	2008, I, p. 615
Carriero Alessandra	2018, I, p. 45
Carughi Ugo	2018, II, p. 951
Caruso Rosa Maria Marta	2022, I, p. 557
Casale Carmine	2020, I, p. 319
Cascetta Ennio	2008, I, p. 63
Cascone Santi Maria	2012, II, p. 1055 2016, I, p. 375 2018, I, p. 597

Casirati Mario 2006, II, p. 1119

Castanò Francesca 2008, II, p. 1129
2016, II, p. 665

Castiglione Federica 2024, I, p. 73

Cattaneo Nelly 2022, II, p. 1047

Cazzani Alberta 2006, II, p. 991

Ceccarelli Marco 2006, I, p. 395; II, p. 1153
2008, I, pp. 257, 461
2010, I, p. 219
2014, I, p. 87
2016, I, p. 193
2018, I, p. 347
2022, I, p. 427; II, p. 979

Cenni Paola 2010, I, p. 323
2018, I, p. 503

Cerchione Roberto 2014, I, p. 781
2016, I, p. 269

Cesarano Pasquale 2022, I, p. 285

Chiaia Bernardino 2010, II, p. 1163

Chianese Antonio 2016, I, p. 181

Chiarenza Stefano 2016, II, p. 655
2024, I, p. 95

Chidichimo Antonello 2006, II, p. 819

Chiorino Mario Alberto 2010, I, p. 367

Chirone Emilio 2008, II, p. 1051
2010, I, pp. 239, 601; II, p. 829
2012, I, p. 277

Ciampoli Marcello 2006, I, p. 89

Ciardiello Emilio 2022, I, pp. 529, 543
2024, I, p. 219

Cibelli Maria Pia 2014, II, p. 999

Cicala Luigi 2012, II, p. 625
2014, II, p. 283

Cigola Michela 2006, I, p. 395
2008, I, pp. 257, 461
2010, I, p. 219
2024, I, p. 495

Cimmino Maria Chiara 2016, II, p. 1061

Cinieri Valentina 2014, I, pp. 355, 475
2016, I, p. 203
2020, I, p. 147

Ciranna Simonetta 2014, II, p. 1195
2016, I, p. 429
2018, II, p. 749
2020, II, p. 647
2024, II, p. 621; II, p. 657

Cirillo Ornella 2008, II, p. 1193
2016, II, p. 665

Cirillo Vincenzo 2012, II, p. 929

Clerici Carlo 2018, II, p. 793

Coccia Simona 2024, I, p. 387

Cocco Stefano 2016, II, p. 737
2018, I, pp. 449, 461

Cocozza Maria Rosaria 2024, II, p. 937

Colella Carmine 2010, I, p. 301
2012, I, p. 515
2018, I, p. 257
2020, I, p. 89
2022, II, p. 651
2024, I, p. 543

Coli Massimo 2020, I, p. 475

Colini Stefano 2008, I, p. 195

Colombo Maria Diletta 2022, I, p. 111

Colussi Francesco 2016, II, p. 589
2018, I, p. 93
2020, I, p. 449

Como Alessandra 2018, II, p. 999
2020, II, p. 905
2022, I, p. 453

Como Maria Teresa 2008, I, p. 717
2020, II, p. 681
2024, I, p. 269

Como Mario	2006, II, p. 933 2008, II, p. 981 2010, II, p. 769 2014, I, p. 185 2016, I, p. 143 2018, I, p. 131 2020, I, pp. 287, 299 2022, I, p. 329 2024, I, p. 387; II, p. 1229
Conforto Maria Letizia	2008, I, p. 421 2010, II, p. 755 2012, II, p. 643 2016, I, p. 159 2018, I, p. 359 2020, I, p. 409 2022, I, p. 439
Conti Cinzia	2016, I, p. 329 2018, I, pp. 45, 57
Coppola Antonio	2008, I, p. 297 2010, I, p. 193 2012, II, p. 1159 2014, II, p. 1013 2016, I, p. 283 2024, I, p. 481
Corna Cristian	2008, I, p. 145
Corniello Alfonso	2014, II, p. 1021
Corona Paolo	2010, II, p. 1191
Corradi Massimo	2018, I, pp. 215, 225 2020, I, p. 203 2022, II, p. 775 2024, II, p. 669
Corradini Elena	2024, I, p. 531
Cosenza Edoardo	2008, II, p. 959
Costa Giuseppe	2010, I, p. 447
Cottone Antonio	2006, I, p. 279 2008, II, p. 901 2014, I, p. 527

Coulomb Didier	2010, I, p. 271
Cozzi Mauro	2006, I, p. 487
Cremona Franco	2008, I, p. 237
Crisafulli Alessandro	2008, II, pp. 1205, 1235, 1245
Cucco Pasquale	2018, II, p. 897 2020, II, p. 817 2022, II, p. 1061 2024, II, p. 959
Culatti Michele	2020, II, p. 589 2022, II, p. 865
Curto Pelle Agostino	2016, II, p. 1031
D'Agostino Angela	2010, II, p. 1067 2012, II, p. 835
D'Agostino Pierpaolo	2008, I, p. 573 2022, I, p. 85
D'Agostino Salvatore	2006, I, p. 17 2008, pp. 19, 73 2010, I, pp. X, 107; II, p. 1227 2012, I, pp. XV, 123 2014, I, pp. XVII, 45 2016, I, pp. XV, 123 2018, I, pp. XV, 301, 315, 323 2020, I, pp. XV, 63, 219 2022, I, pp. XII, 397, 405 2024, I, pp. XIX, 3, 155; II, pp. 1199, 1241
D'Ambra Claudio	2022, I, p. 467
d'Ambrosio Alfano Francesca Romana	2006, II, p. 819 2008, II, p. 887 2010, I, p. 323 2012, I, p. 91 2014, II, p. 933 2016, I, pp. 295, 307 2018, I, p. 503 2020, I, p. 545 2022, I, p. 45 2024, I, pp. 329, 341, 351

d'Ambrosio Fabiana	2024, I, p. 351
d'Ambrosio Giovanni	2024, I, p. 351
d'Ambrosio Pietro	2024, I, p. 351
D'Andrea Matteo	2014, I, p. 355 2016, I, p. 203
D'Anna Eugenio	2022, II, p. 719
D'Annibale Francesco	2024, II, p. 621
D'Antonio Luigi	2022, II, p. 951 2024, I, p. 231
D'Aprile Marina	2022, II, p. 851
D'Asdia Piero	2024, II, p. 1133
D'Auria Emanuela	2012, I, p. 245
D'Auria Saverio	2022, II, p. 703
D'Elia Ciro	2008, I, p. 237
D'Errico Giuseppina	2008, II, p. 1095
D'Ovidio Alessandra	2024, II, p. 695
Dameri Annalisa	2006, I, p. 347 2014, I, p. 717 2016, II, p. 627 2018, II, p. 675
Dato Zaira	2008, I, p. 185
De Chiara Giuseppe	2006, II, p. 789 2008, I, p. 47
De Falco Carolina	2006, II, p. 1069 2008, II, p. 1447 2016, II, p. 877
De Feo Giovanni	2010, II, p. 745
De Frenza Lucia	2024, I, p. 131
De Gisi Sabino	2010, II, p. 745
De Luca Andrea	2024, II, p. 595
De Mattia Fausto	2006, I, p. 207 2008, II, p. 1175
De Menna Luciano	2006, I, pp. 33, 81 2020, I, p. 31 2024, II, p. 1175

De Miranda Mario	2012, II, p. 955
De Napoli Marco	2012, II, p. 917
De Negri Felicita	2006, I, p. 207 2008, II, p. 1175 2010, II, p. 879 2014, II, p. 977 2016, II, p. 561
de Santoli Livio	2020, I, p. 3
De Simone Daniele	2012, II, p. 601 2024, II, p. 827
De Vincenzi Matteo	2016, I, p. 405 2018, I, p. 393 2020, I, p. 113 2022, I, p. 271 2024, I, p. 13
Del Prete Barbara	2014, II, p. 1287
Del Regno Rossella	2012, II, p. 857 2018, II, p. 897 2020, II, p. 881
Dell'Amico Maria Rosaria	2010, II, p. 1003
Della Pietra Lelio	2006, II, p. 617
Delmastro Alessandro	2018, II, p. 793
Demartino Cristoforo	2020, I, p. 277
Dembo Nancy	2008, II, p. 1475
Di Battista Rosanna	2016, II, p. 599 2018, I, p. 175 2020, I, p. 435 2022, I, p. 139 2024, I, p. 49
Di Donato Danilo	2012, II, p. 1065 2014, I, p. 643 2016, I, p. 473 2018, I, p. 511 2022, I, p. 215; II, pp. 917, 993, 1199 2024, II, pp. 997, 1011, 1023

Di Florio Vincenzo	2016, II, p. 929 2018, II, p. 1009 2020, II, p. 621 2022, II, p. 951 2024, II, p. 695
Di Fraia Gennaro	2022, I, p. 45
Di Fraia Luciano	2006, I, p. 147
Di Gennaro Luciana	2024, I, p. 85
Di Leo Adriana	2006, I, p. 421
Di Lorenzo Gianmaria	2016, I, p. 235 2018, I, p. 529
Di Maio Bruno	2006, I, p. 493
Di Marco Gian Luigi	2016, II, p. 1031 2018, II, p. 967 2020, I, p. 393 2024, I, p. 293
Di Meo Andrea	2024, II, p. 901
Di Naso Vincenzo	2014, I, pp. 487, 563; II, p. 1169
Di Paola Mario	2024, II, p. 1109
Di Pasquale Giovanni	2024, II, pp. 1201, 1213
Di Pietro Stefania	2006, II, p. 565 2008, I, p. 185
Diana Giorgio	2024, II, p. 1061
Dodaro Liana	2010, II, p. 945
Dolgetta Pasquale	2010, I, p. 543
Dolza Luisa	2006, II, p. 721
Donnarumma Giuseppe	2014, II, p. 1345
Drago Antonino	2022, II, p. 965
Ducci Daniela	2014, II, p. 1021
Eichberg Margherita	2018, II, p. 1023
Ekinci Ceren	2024, II, p. 621
Erba Luisa	2006, I, p. 359
Esposito Clemente	2024, I, pp. 119, 991

Esposito Emilio	2014, I, p. 781 2016, I, p. 269 2024, II, p. 1187
Esposito Monica	2024, II, p. 837
Esposito Salvatore	2022, II, p. 679 2024, I, p. 469
Esposito Tommaso	2008, II, p. 855
Fabricatore Giulio	2008, I, p. 211; II, p. 1001 2012, I, p. 185 2014, I, p. 255
Fabris Nadia	2008, II, p. 1265 2010, II, p. 957 2012, II, p. 667 2014, II, p. 1277 2016, II, p. 759 2018, II, p. 841
Facchinelli Laura	2006, II, p. 1031 2016, II, p. 679
Fagnani Alba	2022, II, p. 931
Falco Luigi	2022, II, p. 641
Falotico Antonella	2024, II, p. 645
Fanale Lorenzo	2012, I, p. 231
Farroni Laura	2016, I, p. 223
Fasano Gianni	2016, I, p. 405 2018, I, p. 393 2020, I, p. 113 2022, I, p. 271 2024, I, p. 13
Fascia Fulvia	2008, II, p. 1403
Fatta Giovanni	2010, II, p. 933 2012, II, p. 741 2014, I, p. 619; II, p. 1143
Federico Serena Giuseppina	2014, II, p. 801
Felli Marco	2018, II, p. 749 2020, II, p. 647 2024, II, p. 695

Ferla Maurizio	2014, II, p. 1117
Ferone Vincenzo	2006, I, p. 39
Ferrari Paolo	2006, II, p. 575 2008, I, p. 583 2010, II, p. 901 2012, I, p. 161 2014, I, p. 199
Ferrari Primo	2016, II, p. 869 2018, I, p. 561
Ferriello Giuseppina	2018, II, p. 619 2020, I, p. 189
Ficco Giorgio	2022, I, p. 495
Filippi Marco	2022, I, p. 299
Filippucci Marco	2024, II, pp. 765, 913
Fiore Ilaria	2014, I, p. 717
Fiore Pierfrancesco	2010, II, p. 891 2014, II, p. 1265
Fiorillo Federica	2024, I, p. 411
Fiorio Plà Nicoletta	2010, II, p. 1037
Flora Alessandro	2010, I, p. 339
Foce Federico	2006, I, p. 291 2008, I, p. 551
Foresti Natale Daniele	2016, I, p. 385
Forestieri Giulia	2016, I, p. 213
Fortezza Raimondo	2008, I, p. 47
Foscari Giuseppe	2006, II, p. 949 2018, II, p. 707 2020, I, p. 523 2022, I, p. 201
Fracastoro Gian Vincenzo	2024, I, p. 207
Fracchia Beatrice Maria	2010, II, p. 913 2012, I, p. 429 2014, II, p. 1045
Fragnoli Franco	2014, II, p. 1313 2016, I, p. 419 2018, I, p. 551

Franceschetti Giorgio	2006, I, p. 67 2008, I, p. 35 2010, I, p. 7; II, p. 1183 2012, I, p. 3 2014, I, p. 157 2016, I, p. 65 2018, I, p. 369 2020, I, p. 15 2022, I, p. 371
Franchi Daniela	2012, II, p. 1065 2016, I, p. 473
Franco Leopoldo	2006, I, p. 109
Fregonese Lucio	2022, I, p. 343
Fresa Gennaro	2012, II, p. 819 2014, I, p. 695
Fresa Giovanni	2008, I, p. 629 2008, II, p. 1311 2010, II, p. 991 2012, II, p. 819 2014, I, p. 695 2016, II, p. 889
Friello Antonio	2010, II, p. 839 2012, II, p. 805
Frigo Barbara	2010, II, p. 1163
Frontali Clara	2014, I, p. 227
Frunzio Giorgio	2024, I, p. 85
Fulgione Marcello	2006, II, p. 861
Gaetani Marianna	2020, II, p. 855
Galasso Alfredo	2018, II, p. 1023
Galasso Giuseppe	2012, I, p. XVII 2018, I, p. XIX
Galbiati Giuseppe	2022, II, p. 1103 2024, II, p. 683
Galdieri Eugenio	2010, I, p. 387
Gallo Anna	2024, II, p. 789
Gallo Lorenzo Mariano	2018, II, p. 793

Gallo Riccardo	2024, I, p. 507
Gallozzi Arturo	2024, I, p. 495
Gamba Francesco	2012, I, p. 277
Gambardella Roberta	2022, I, p. 191 2024, I, p. 399
García Rafael	2008, II, p. 1465
Garda Emilia	2016, I, pp. 453, 463 2018, I, p. 539; II, p. 849
Ge Yaojun	2024, II, p. 1071
Geminiani Francesca	2018, II, p. 859 2020, II, p. 647
Genç Uğur	2022, II, p. 573
Genova Andrea	2014, I, p. 629
Genovese Andrea	2010, I, p. 175 2012, I, p. 17
Genta Giancarlo	2016, I, p. 343 2018, II, p. 631
Gerbino Alberto	2018, II, p. 849
Gerundo Carlo	2016, I, p. 439 2018, I, p. 493
Gerundo Roberto	2016, I, p. 439 2018, I, p. 493
Gervasio Francesca	2024, I, p. 557
Gherardelli Monica	2018, I, p. 369 2020, I, p. 15 2022, I, p. 371 2024, I, p. 61
Ghersi Aurelio	2006, II, p. 565
Ghiretti Andrea	2008, I, p. 741
Giaccone Domenico	2020, II, p. 843
Gianasso Elena	2016, I, p. 487 2018, II, p. 653 2020, I, p. 511 2022, II, p. 627 2024, II, p. 849

Giannetti Ilaria	2018, I, p. 521 2020, I, p. 265 2022, II, p. 803 2024, II, p. 607
Gianpaola Daniela	2012, I, p. 139
Gil-Martín Luisa María	2022, I, p. 125
Giuffré Orazio	2008, II, p. 1225
Giuffré Tullio	2008, II, p. 1245
Giuliani Cairoli Fulvio	2022, I, p. 59
Giumanini Michelangelo L.	2006, I, p. 315
Gobbo Raffaella	2006, I, p. 337
Godone Laura	2014, I, p. 487
Gomez Lopez Consuelo	2020, I, p. 251
Gori Roberto	2006, I, pp. 303, 523
Graciani García Amparo	2008, II, p. 1007 2010, I, p. 493
Graf Franz	2022, II, p. 1103 2024, II, p. 683
Granà Anna	2008, II, pp. 1225, 1235
Granata Michele Fabio	2014, I, p. 103
Granuzzo Elena	2012, I, p. 301
Greco Giovanna	2008, I, p. 349 2010, I, p. 207 2012, II, p. 601 2014, I, p. 211 2016, I, p. 169 2018, I, p. 27 2020, I, pp. 367, 383 2022, I, p. 31 2024, II, p. 1047
Greco Laura	2008, I, p. 691 2010, II, p. 1089 2012, II, p. 943 2014, II, p. 1211 2016, II, p. 939

	2020, I, p. 345 2022, II, p. 1019 2024, II, p. 595
Grimaldi Giulia	2012, II, p. 1023
Guagliardi Valentina	2020, II, p. 743 2022, II, p. 1171 2024, II, p. 595
Guagnini Aulo	2006, II, p. 1079 2010, II, p. 923 2012, I, p. 327
Guaralda Mirko	2006, II, p. 1087
Guardigli Luca	2020, I, p. 237 2024, I, p. 107
Guarnieri Massimo	2006, II, p. 761 2010, I, p. 141
Guarracino Federico	2008, I, p. 117
Guastini Carlo	2012, II, p. 903
Guerra Camillo Alfonso	2014, II, pp. 1401, 1409
Guerra Marianna Francesca	2014, II, pp. 1401, 1409
Guerrieri Marco	2008, II, pp. 1205, 1225, 1235, 1245
Guidoboni Emanuela	2008, II, p. 971 2010, I, p. 151 2012, I, p. 115 2016, I, p. 105 2018, I, pp. 267, 279 2020, I, p. 45 2022, I, p. 3
Gulli Riccardo	2008, I, p. 681 2012, I, p. 349
Guzzardi Luca	2022, II, p. 691
Hamarneh Basema	2024, I, p. 171
Hernández-Montes Enrique	2022, I, p. 125
Iannace Salvatore	2008, I, p. 195
Iannelli Maria Teresa	2024, I, p. 25

Ianniello Carmine	2006, II, p. 833 2008, I, p. 361 2018, I, p. 337 2020, I, p. 127
Improta Gennaro	2006, I, p. 71 2008, I, p. 87 2010, I, p. 175 2012, I, p. 17 2014, II, p. 1075 2016, II, p. 519
Iori Tullia	2006, II, p. 1133 2008, II, p. 1501 2010, II, p. 967
Iovino Renato	2008, II, p. 1393
Isgrò Sara	2022, II, pp. 877, 889
Jappelli Ruggiero	2010, I, pp. 57, 339 2014, II, p. 1117 2016, I, p. 75 2018, II, p. 803 2020, I, p. 77 2022, II, pp. 665, 1075 2024, I, p. 305
Jappelli Valentina	2018, II, p. 803 2020, I, p. 77 2024, I, p. 305
Koetsier Teun	2006, II, p. 1153
Kovska Colani Carla M.	2006, II, pp. 663, 1127
La Creta Rosalba	2006, II, p. 537 2008, I, p. 321
La Mendola Lidia	2010, II, p. 1173
La Rosa Salvatore	2014, I, p. 329 2016, II, p. 611
La Veglia Michele	2014, I, p. 499 2020, II, pp. 611, 915 2024, II, p. 991
Lagomarsino Sergio	2006, II, pp. 671, 681

Lalli Roberto	2024, II, p. 967
Lancellotta Renato	2018, I, p. 239
Lando Marcello	2024, I, p. 519
Landolfo Raffaele	2016, I, p. 235 2018, I, p. 529
Latrofa Enrico Maria	2006, I, p. 455 2010, II, p. 723
Leggieri Carlo	2016, II, p. 589 2018, I, p. 93 2020, I, p. 449 2022, I, p. 99 2024, II, p. 635
Lensi Francesco	2014, I, p. 487
Lentini Chiara	2014, II, p. 1331
Lepore Lucia	2024, I, p. 25
Leschiutta Sigfrido	2006, I, pp. 379, 385 2008, I, p. 377
Lignola Gian Piero	2022, I, p. 467
Lippiello Maria	2008, I, p. 487 2010, II, p. 945
Lizza Andrea	2008, II, p. 1183 2010, I, p. 439 2012, II, p. 799 2014, II, pp. 987, 993 2016, II, pp. 689, 699 2018, I, pp. 73, 85 2020, I, p. 159; II, p. 601 2022, II, pp. 845, 943 2024, II, pp. 813, 821
Lo Faro Francesca M.	2006, II, p. 921 2008, I, p. 521
Lo Giudice Elio	2016, II, p. 1031 2018, II, p. 967
Lo Sardo Patrizia	2014, II, p. 1143
Loffa Tatiana	2018, II, p. 717

Lopardo Gino	2014, II, p. 933
Lucente Roberta	2014, I, p. 769
Lunardi Pietro	2024, II, p. 1085
Lupo Valeria	2016, II, p. 1041
Magaldi Paolo Jr	2024, I, p. 421
Maglio Andrea	2008, II, p. 829 2010, I, p. 459 2022, II, p. 1089
Maitte Bernard	2014, I, p. 3
Majocchi Riccardo	2010, I, p. 17
Mallozzi Lina	2008, I, p. 87
Manes Gianfranco	2006, I, p. 487
Manganaro Mario	2006, II, p. 873 2008, II, p. 1215 2010, II, p. 809 2014, I, p. 329 2016, II, p. 611
Mangosio Marika	2006, II, p. 597 2016, I, pp. 453, 463 2018, I, p. 539; II, p. 849 2024, II, p. 753
Manneschi Giovanni	2016, II, p. 647
Mantione Roberta	2016, II, p. 1031 2018, II, p. 967
Manzo Elena	2006, II, p. 1097
Mapelli Carlo	2008, I, pp. 145, 155 2010, I, p. 249
Marabotto Maria Paola	2008, II, p. 1265 2010, II, p. 957 2012, II, p. 683 2014, I, p. 367 2016, I, p. 497 2018, II, p. 783
Maragno	2022, I, p. 313; II, p. 613 2024, I, p. 257

Maraini Emilio	2008, I, p. 223 2010, I, p. 567
Marchetti Mario	2022, II, p. 1007
Marchis Elena (Teresa Clotilde)	2010, II, p. 1047 2018, II, p. 835
Marchis Vittorio	2006, I, p. 49 2008, p. 25 2022, I, p. 17 2024, I, p. 569
Margiotta Nina Maria	2006, II, p. 547 2008, II, p. 1255 2010, II, p. 787 2012, I, p. 289
Marini Sandra	2006, II, p. 751
Marino Angela	2006, I, p. 235 2016, II, p. 1041
Marino Bianca Gioia	2008, I, p. 509 2010, I, p. 469 2012, II, p. 1111
Marino Giulia	2018, II, p. 977 2020, II, p. 869 2022, II, p. 1103 2024, II, p. 683
Marino Luigi	2018, I, p. 407 2020, I, p. 475 2022, I, p. 71 2024, I, pp. 171, 183
Marino Roberta	2008, II, p. 1205
Mariya Shcherbyna (Maria Shcherbina)	2024, I, p. 557
Marmo Francesco	2018, I, p. 153 2020, I, p. 277
Marradi Benedetta	2012, II, p. 1123
Marrucci Giuseppe	2006, I, p. 139 2008, II, p. 861 2010, I, p. 291
Marsella Stefano	2018, I, p. 439

Martines Giangiacomo	2014, I, p. 321 2016, I, p. 329 2018, I, pp. 45, 57
Martínez Chao Tomás Enrique	2022, I, p. 385
Martini Viviana	2018, II, p. 827
Martone Maria	2022, II, p. 733
Masi Andrea	2014, II, p. 1169
Masi Daniele	2018, I, p. 153
Massarelli Tommaso Maria	2010, II, p. 779
Massaretti Pier Giorgio	2010, II, p. 675
Massaro Luigi	2024, I, p. 85
Mattogno Claudia	2020, I, p. 559
Mauro Oronzo	2008, I, p. 477
Mauro Raffaele	2006, II, p. 635 2008, II, p. 855 2010, I, p. 377 2022, I, p. 313 2024, I, p. 257
Mazza Alessio	2018, II, p. 815
Mazzanti Claudio	2006, II, p. 547 2008, II, p. 1117 2010, I, p. 505 2012, II, p. 845 2014, I, p. 425 2016, II, p. 707 2018, I, p. 585 2020, II, p. 803
Mazzarella Lelio	2014, II, p. 1249 2016, I, p. 319
Mazzeo Antonino (Antonio)	2006, I, p. 123 2008, I, p. 99
Mele Caterina	2006, I, p. 369 2016, II, p. 949
Melone Rossella	2018, II, p. 737
Meola Carlo	2008, II, p. 1359

Merone Raffaele	2022, I, p. 85
Mertens Dieter	2016, I, p. 3
Messina Barbara	2020, I, p. XIX 2024, I, p. 95
Miccio Gennaro	2012, II, p. 857 2014, II, p. 1363 2016, II, pp. 793, 801, 815 2020, II, p. 691 2022, II, p. 789 2024, I, p. 363
Miccoli Stefano	2022, I, p. 125
Miceli Chiara	2014, II, p. 889
Migliore Marco Donald	2008, I, p. 237
Migliore Mario Rosario	2012, II, p. 1023
Migliosi Andrea	2024, II, pp. 765, 913
Mimmi Giovanni	2016, I, p. 343 2018, II, p. 631
Minelli Antonella	2024, II, p. 901
Miraglia Francesco	2012, II, p. 1139 2016, II, p. 717
Mochi Giovanni	2010, II, p. 675 2012, I, p. 349
Molari Pier Gabriele	2008, II, p. 811 2014, I, p. 321 2016, I, p. 329; II, p. 599 2018, I, pp. 115, 175 2020, I, pp. 393, 435, 487 2022, I, p. 139; II, pp. 573, 719 2024, I, pp. 37, 49, 281, 293
Mòllica Giovanni	2024, II, p. 1097
Mollo Giuseppe	2018, I, p. 203 2022, I, p. 99 2024, II, p. 635
Mommi Chiara	2024, II, pp. 765, 913
Monaco Luciano Maria	2008, I, p. 471

Monteleone Maria Carmela	2020, I, p. 173
Monti Rodolfo	2006, II, p. 789 2008, I, p. 47
Montuono Giuseppe Maria	2008, II, p. 1029 2010, I, p. 399 2012, I, p. 441 2014, II, p. 827 2016, II, p. 725
Montuori Carlo	2006, II, p. 601
Montuori Patrizia	2014, II, p. 1195 2016, I, p. 429 2018, II, p. 871 2024, II, p. 657
Mora Alonso-Muñoyerro Susana	2008, I, p. 661
Morando Adriano Paolo	2006, I, p. 431 2012, I, p. 405
Morano Salvatore Giacomo	2012, II, p. 903
Morganti Renato	2010, I, p. 579 2012, II, p. 1065 2014, I, p. 643 2016, II, p. 737 2018, I, p. 511; II, p. 927 2022, I, p. 215; II, pp. 917, 931, 993, 1199 2024, II, pp. 997, 1011, 1023
Mori Alessandro	2010, I, p. 7 2012, I, p. 3
Mornati Stefania	2008, I, p. 639 2010, II, p. 1109 2012, II, p. 887 2014, II, p. 1375 2016, II, p. 969 2022, II, p. 803 2024, II, p. 607
Morosini Stefano	2010, II, p. 979 2012, I, p. 43 2014, II, p. 1387 2016, II, p. 747

	2018, II, p. 761
	2020, II, pp. 719, 733
	2022, II, p. 1159
Moschese Patrizia	2012, I, p. 415
	2014, II, p. 1129
Mosconi Mauro	2012, I, p. 405
Muccilli Isabella	2022, I, p. 111
Muñoz Corbalán Juan Miguel	2018, II, p. 643
Muscio Eugenia	2016, II, p. 899
Muscolino Giuseppe	2024, II, p. 1109
Musso Olivia	2012, I, p. 561
Musto Gabriella	2008, II, p. 931
	2010, I, p. 515
Muti Mariella	2010, II, p. 1099
Mutschlechner Maria Luisa	2018, II, p. 1023
Nardacchione Giuliana	2022, I, p. 521
Nardella Antonia	2006, II, p. 547
Nardi Ettore	2014, II, p. 1419
	2016, II, p. 859
	2018, I, p. 571
	2020, I, p. 309
	2022, I, p. 167
Natale Anna	2006, II, p. 1111
	2008, I, p. 751
	2010, II, p. 819
	2012, II, p. 765
	2014, I, p. 499
	2016, II, p. 1001
	2018, I, pp. 571, 579
	2020, I, p. 309
	2022, I, p. 167
Neri Gabriele	2010, II, pp. 367, 1131
Neri Giulia	2024, II, p. 959
Nicodemi Walter	2008, I, pp. 145, 155
	2010, I, p. 249

Nicolais Luigi	2006, I, p. 59
Nicolucci Silvia	2008, I, p. 421 2010, II, p. 755 2012, II, p. 643
Nieddu Filippo	2006, I, p. 325 2008, I, p. 607
Noro Marco	2022, I, p. 257
Novello Giuseppa (Pina)	2010, II, p. 1047 2012, I, p. 265 2016, I, p. 223 2018, II, p. 881 2020, II, p. 633
Ocone Matteo	2022, I, p. 509
Olesen Bjarne W.	2016, I, pp. 295, 307
Oliveira Agamenon R.E.	2014, I, p. 23
Ombrato Luigi	2020, I, p. 463
Orlandini Stefano	2024, I, p. 531
Oscurato Rosa	2010, I, p. 411
Pagliara Francesca	2008, I, p. 63
Pagnini Luisa	2008, II, p. 1437
Palaoro Stefania	2008, I, p. 671 2010, I, p. 557
Palella Boris I.	2016, I, p. 295
Pane Andrea	2008, II, p. 1291 2010, II, p. 1015 2016, II, p. 839
Panella Bruno	2024, I, p. 569
Panepucci Alessia	2024, II, p. 997
Paolucci Marco	2024, II, p. 621
Papa Lia M.	2006, I, p. 243 2008, I, p. 175 2010, II, p. 711 2012, I, p. 255 2014, I, p. 403 2018, I, p. 607

	2020, II, p. 661 2022, II, p. 703 2024, II, p. 777
Paradiso Massimo	2020, I, p. 277
Parisi Roberto	2008, II, p. 959
Pascariello Maria Ines	2008, II, p. 819
Passaro Mersia	2014, I, p. 139
Pavan Licio	2008, II, p. 849
Peinetti Alberto	2016, I, p. 463
Pelizzari Maria Rosaria	2014, II, p. 895 2020, I, p. 545
Pellecchia Davide	2020, I, p. 277 2022, I, p. 285
Pelosi Giuseppe	2006, I, p. 487; II, p. 751
Pennisi Silvia	2008, I, p. 309 2012, II, pp. 773, 785 2014, I, p. 513; II, p. 909 2016, II, pp. 979, 989
Pensa Claudio	2020, I, p. 463
Pepe Daniela	2020, I, p. 545
Perretti Antonio	2006, II, p. 565 2008, I, p. 185
Perrotta Francesco	2014, I, p. 171
Persico Massimo	2008, II, p. 1107
Pesenti Serena	2006, I, p. 257 2008, II, p. 1155 2014, II, p. 921 2018, II, p. 917
Petracca Gaetano	2010, II, p. 1099
Pezone Maria Gabriella	2006, II, p. 897 2008, II, p. 1081 2010, II, p. 643 2014, I, p. 667 2016, II, p. 771 2018, II, p. 695 2020, II, p. 777

Piantanida Paolo	2006, II, p. 1041 2016, II, p. 949
Piccoli Edoardo	2024, I, p. 445
Piccolo Carmine	2020, II, p. 611 2024, II, p. 635
Picone Renata	2008, II, p. 1413
Piemonte Andrea	2022, I, p. 111
Piezzo Amanda	2014, I, p. 629
Pignatelli Olivia	2018, I, p. 407
Pilotti Michela	2024, II, p. 947
Pinto Paolo	2006, II, p. 779
Pisano Raffaele	2010, II, p. 797 2012, I, p. 77 2014, II, p. 813
Piscopo Daniela	2010, I, p. 301 2012, I, p. 515
Pizzamiglio Pieluigi	2008, II, p. 1051 2010, II, p. 829
Podestà Stefano	2006, II, p. 681
Poggio Pier Paolo	2010, I, p. 601
Poli Stefano	2008, II, p. 1145
Pollini Margherita	2016, II, p. 869
Ponte Maurizio	2016, I, p. 213
Poretti Sergio	2006, I, p. 157 2008, I, p. 331
Porzio Alberto	2008, I, p. 109
Pradella Giorgio	2008, II, p. 1457
Prati Davide	2020, I, p. 237 2024, I, p. 107
Predari Giorgia	2010, II, p. 675 2012, I, p. 349
Prestininzi Alberto	2024, II, p. 1121
Principato Giancarlo	2006, II, p. 981
Prota Andrea	2022, I, p. 467

Puglia Antonio	2008, I, p. 247
Pugliese Francesco	2022, I, p. 85
Pupo Carolina	2010, II, p. 1151
Raffa Mario	2008, II, p. 945 2014, I, p. 781 2016, I, p. 269
Ramondino Marco	2012, I, p. 339
Ramundo Felicita	2012, II, p. 1023
Rapalo Maria Chiara	2014, I, p. 587
Rasimelli Enrica	2010, II, p. 1099
Rasulo Alessandro	2020, II, p. 755
Rasulo Giacomo	2020, II, p. 755
Reale Sergio	2006, I, p. 487
Refratti Salvatore	2014, II, p. 1117
Remino Carlo	2008, II, p. 1107
Repole Marco	2024, I, p. 195
Resemini Sonia	2006, II, p. 681
Ribera Federica	2010, I, p. 543 2012, II, p. 857 2014, II, p. 1363 2018, II, pp. 891, 897 2020, II, pp. 817, 881 2022, II, p. 1061 2024, II, pp. 789, 959
Ricci Aldo G.	2006, I, p. 169
Ricci Michele	2010, II, p. 967
Ricciardi Giuliana	2008, II, p. 1139 2024, II, p. 729
Riccio Giuseppe	2016, I, p. 307
Riello Alessandro	2018, I, p. 421
Rispoli Francesco	2006, II, p. 1001 2012, II, p. 1171
Riva Sanseverino Raffaella	2008, I, p. 309 2014, II, p. 909

Riviezzo Aurora	2022, II, p. 1145
Rizzo Fabio	2024, II, p. 1133
Robotti Ciro	2006, II, p. 883
Romor Jessica	2018, I, p. 57
Rosati Luciano	2016, I, p. 181 2018, I, p. 153 2020, I, p. 277 2022, I, p. 285
Rossi Cesare	2006, II, p. 737 2008, I, pp. 257, 409, 461 2010, I, p. 219
Rottenbacher Carlo E.	2016, I, p. 343 2018, I, pp. 473, 561; II, p. 631 2020, I, p. 355 2022, II, p. 1213
Rovida Edoardo	2006, I, p. 481; II, p. 703 2008, I, p. 701 2010, I, p. 239; II, p. 735 2012, I, p. 339 2014, I, p. 243 2016, I, p. 343; II, p. 869 2018, I, pp. 473, 561; II, p. 631 2020, I, p. 355 2022, II, p. 1213
Ruggieri Nicola	2014, I, p. 413
Ruggiero Francesco	2020, I, p. 571
Ruggiero Umberto	2020, I, p. 571
Russo Ferruccio	2008, I, p. 409
Russo Flavio	2008, I, p. 409 2010, I, p. 219
Russo Giuseppe	2018, I, p. 597
Russo Maria	2008, II, p. 1301 2010, I, p. 483 2012, II, p. 979 2014, II, p. 1033 2016, II, p. 783
Russo Maria Teresa	2006, I, p. 195

Russo Valentina	2008, II, p. 1321
Ruta Giuseppe	2008, II, p. 875 2010, I, p. 313 2014, I, p. 69 2016, I, p. 55 2024, II, p. 979
Sabbadini Fabio	2018, I, p. 45
Saccomanno Anna Maria	2018, I, p. 45
Sadek Mortada Mohamad	2018, I, p. 539
Salvatori Marida	2008, I, p. 431 2012, II, p. 1089 2014, II, p. 863
Salvini Silvia	2016, II, p. 829
Santillo Damiano	2018, II, p. 939 2022, I, p. 111 2024, II, pp. 873, 887
Sapienza Vincenzo	2012, I, p. 361 2014, II, p. 1331
Sasso Antonio	2010, II, p. 1195
Scaletti Cardenas Adriana Nora	2020, II, p. 803
Scarpelli Giuseppe	2008, I, p. 205
Schettino Fulvio	2008, I, p. 237
Schiavone Angela	2022, I, p. 45
Schipani Pietro	2014, I, p. 171
Schiraldi Massimiliano M.	2024, I, p. 519
Scibilia Federica	2014, II, p. 1301 2016, I, p. 507 2018, II, p. 727 2022, I, p. 177 2024, II, p. 705
Selleri Stefano	2006, II, p. 751
Serafini Caterina	2020, II, p. 621
Serangeli Raffaele	2022, I, p. 71
Serpe Eva	2016, I, p. 203
Serraglio Riccardo	2006, II, p. 1109 2008, II, p. 1073

Sersale Riccardo	2006, II, p. 533 2008, I, p. 441 2010, I, p. 229 2012, II, p. 1101 2014, I, p. 119
Sessa Salvatore	2020, I, p. 277
Sgalambro Antonino	2008, I, p. 87
Shore Barry	2010, I, p. 117
Siciliano Bruno	2018, I, p. 3
Silva Contreras Mónica	2008, II, p. 1371
Silvestri Andrea	2006, I, p. 223 2008, II, p. 1331 2010, I, p. 29 2016, II, p. 747 2018, II, p. 761 2020, II, pp. 719, 733
Sinopoli Anna	2008, I, pp. 389, 399 2018, I, p. 57
Sirago Maria	2006, II, p. 693 2008, II, p. 1017
Siviero Enzo	2006, II, pp. 655, 1051 2008, I, p. 671; II, pp. 991, 1341, 1351, 1457 2010, I, p. 557 2012, I, p. 537 2014, I, p. 103 2016, II, p. 679 2018, II, p. 827 2020, II, p. 589 2022, II, p. 865
Siviero Luigi	2014, II, p. 1239
Smeragliuolo Perrotta Luisa	2018, II, p. 999 2020, II, p. 905 2022, I, p. 453
Smith Uihlein Marci	2014, I, p. 575
Solimeno Salvatore	2006, II, p. 771 2008, I, p. 109
Solomita Pasqualino	2012, I, p. 549

Sommese Francesco	2022, II, p. 747 2024, I, p. 431
Sorrentino Andrea	2024, I, p. 375
Sorrentino Ferdinando	2006, II, p. 819
Sorrentino Vincenzo	2020, I, p. 463
Spada Francesco	2020, I, p. 333 2022, II, p. 1185 2024, II, p. 595
Spinelli Paolo	2006, II, p. 711 2012, II, p. 903
Spinosa Arianna	2008, II, p. 1487
Stanganelli Marialuce	2024, II, p. 741
Staniscia Mirco	2016, II, p. 929
Stella Federica	2014, I, pp. 681, 729 2018, II, p. 881
Stendardo Luigi	2008, II, p. 1383 2014, I, p. 597 2020, I, p. 137
Strazzullo Franco	2006, II, p. 893
Tacchella Claudia	2020, I, p. 101 2022, II, p. 761 2024, II, p. 669
Tafaro Vincenzo	2010, II, p. 1203
Talenti Simona	2014, I, p. 539 2018, II, pp. 773, 999 2020, II, p. 895 2022, I, p. 481
Tarantino Angelo Marcello	2024, I, p. 531
Tedeschini Federica	2020, II, p. 791
Teodosio Annarita	2014, I, p. 539 2018, II, pp. 905, 999 2020, II, p. 895 2022, I, p. 481 2024, II, p. 801
Terracciano Mariangela	2020, II, p. 705
Tesauro Aniello	2024, I, pp. 329, 341

Ticci Sara	2014, I, p. 563
Tocci Cesare	2024, I, p. 445
Tocco Sciarelli Giuliana	2020, I, p. 421
Tomasello Nicoletta	2016, I, p. 375 2018, I, p. 597
Toraldo Ferdinando	2010, I, p. 411 2016, I, p. 181
Torello Francesca	2006, I, p. 413
Torrini Maurizio	2006, I, p. 27
Tosone Alessandra	2010, I, p. 579 2012, II, p. 967 2014, I, p. 643 2016, II, pp. 1041, 1051 2018, I, p. 511; II, p. 927 2020, II, p. 791 2022, I, pp. 215, 229; II, pp. 917, 931, 993, 1199 2024, II, pp. 997, 1011, 1023
Totaro Andrea	2012, I, p. 537 2014, I, p. 103
Traetta Luigi	2016, I, p. 193 2018, I, p. 347 2022, I, p. 427
Travaglini Giovanni	2010, I, p. 45
Travaglini Laura	2022, II, p. 1075
Trisoglio Fabrizio	2012, I, p. 467 2014, I, p. 741 2016, II, p. 747 2018, II, p. 761 2020, II, pp. 719, 733 2022, II, p. 1159
Troise Umberto	2016, II, p. 889
Trombetti Guido	2006, I, p. 39
Tufaro Francesco	2012, I, p. 573
Tunzi Pasquale	2022, II, p. 1117
Turco Ermanno	2008, I, p. 277
Turco Giacomo A.	2020, I, p. 147

Turri Francesca	2012, II, p. 705
Vaiana Nicolò	2020, I, p. 277 2022, I, p. 285
Valensise Gianluca	2024, II, p. 1121
Valenti Graziano Mario	2018, I, p. 57
Valentino Gabriella	2016, II, p. 859 2018, I, p. 571 2020, I, p. 309 2022, I, p. 167
Vanin Elisa	2018, II, p. 793
Vecchio Luigi	2014, I, p. 283
Vella Giovanna	2010, II, p. 1173 2012, II, p. 773
Verdolotti Letizia	2008, I, p. 195
Vernizzi Chiara	2006, II, p. 1061 2008, I, p. 707 2010, II, p. 1141
Verolino Luigi	2006, I, pp. 33, 81; II, p. 1165 2008, I, p. 125 2010, I, p. 429
Viganò Roberto	2012, I, p. 339 2014, I, p. 243
Viggiani Carlo	2006, II, p. 807 2008, I, p. 339 2010, I, pp. 339, 349 2012, I, p. 57 2018, I, p. 239 2022, II, p. 665
Vigo Paolo	2018, I, p. 429 2022, I, pp. 413, 495
Villa Andrea	2008, II, p. 1429 2010, II, p. 657 2012, I, p. 525 2014, I, p. 609
Villanova Anna	2006, II, p. 645 2008, II, p. 1281

Vinci Calogero	2010, II, p. 933 2012, II, p. 717 2016, I, p. 395
Vinci Luigi	2006, I, p. 23
Viola Agostino	2018, I, p. 429
Viola Francesco	2006, I, p. 471 2008, II, p. 921 2010, II, p. 1217
Vitale Maria Rosaria	2010, I, p. 529; II, p. 1203
Vittoria Vittoria	2024, I, p. 375
Volpi Cristiana	2022, II, p. 613
Winfield Alan F.	2018, I, p. 12
Wu Fengying	2024, II, p. 1071
Zamperini Emanuele	2012, II, pp. 705, 729 2014, I, p. 475 2020, I, p. 531
Zampini Ilaria	2006, II, pp. 655, 1051 2008, II, p. 991
Zanchetti Alberto	2022, II, p. 865
Zanchettin Alberto	2020, II, p. 589
Zazzaro Chiara	2020, I, p. 463
Zhao Lin	2024, II, p. 1071
Zingone Alessandra	2010, I, p. 633 2012, II, p. 691
Zinno Raffaele	2014, I, p. 413; II, p. 889
Zollo Giuseppe	2008, I, p. 449 2010, I, p. 117 2012, I, p. 201
Zordan Marcello	2012, I, p. 587 2014, II, p. 1313 2016, I, p. 419 2018, I, p. 551 2022, II, p. 817 2024, I, p. 495
Zucchetti Massimo	2010, I, p. 129
Zucchi Marco	2024, I, p. 531

ISBN 979-12-81558-38-0