

Il rapporto tra meccanica e architettura come tema di storia della costruzione

*Original*

Il rapporto tra meccanica e architettura come tema di storia della costruzione / Tocci, C. (QUADERNI DI STORIA DELLA COSTRUZIONE). - In: Storia della costruzione: percorsi politecnici / Piccoli E., Volpiano M., Burgassi V.. - STAMPA. - Torino : Politecnico di Torino, 2021. - ISBN 978-88-85745-66-7. - pp. 49-58

*Availability:*

This version is available at: 11583/2970144 since: 2022-07-15T17:34:55Z

*Publisher:*

Politecnico di Torino

*Published*

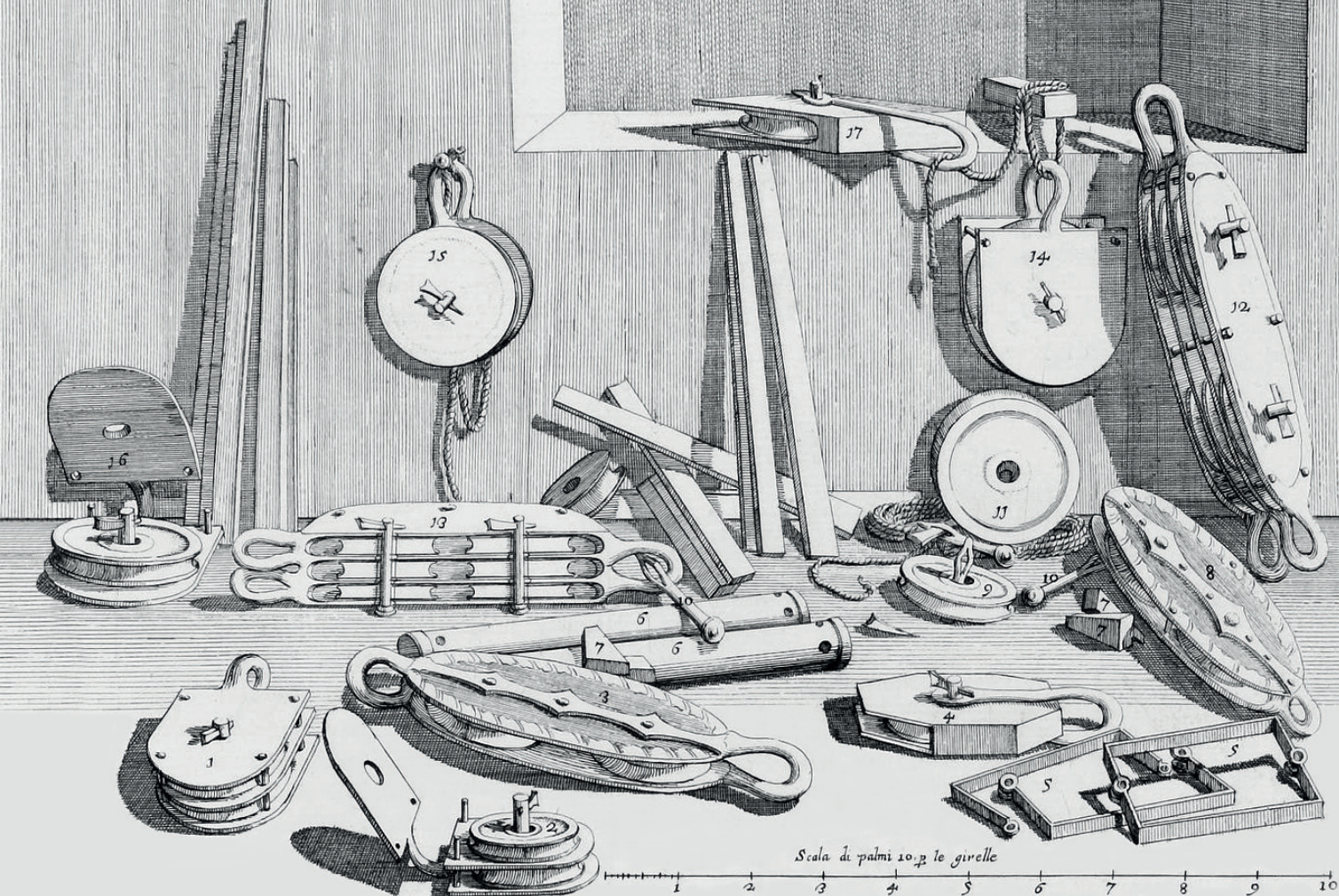
DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



Quaderni di Storia della Costruzione  
Vol. 1

# Storia della costruzione: percorsi politecnici

a cura di Edoardo Piccoli, Mauro Volpiano, Valentina Burgassi  
Construction History Group - Politecnico di Torino DAD

Il presente volume raccoglie gli studi in corso di docenti e ricercatori del Centro di Ricerca Construction History (CHG) del Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design. All'interno delle varie sezioni, tra età moderna e contemporanea, si affrontano temi di natura interdisciplinare, come l'analisi dei profili di docenti - parte della tradizione di studi sulla Storia della Costruzione dell'Ateneo ("percorsi politecnici") -, proseguendo con un approfondimento sulla cultura costruttiva di età moderna anche attraverso un glossario di termini tecnici e tratti dall'esperienza di maestranze di diversa provenienza geografica, all'interno di due cantieri barocchi coevi, quello sabauda e quello romano. Nel volume si affrontano anche ricerche sulla cultura costruttiva in età contemporanea relativamente alle applicazioni del cemento armato (Hennebique) nei cantieri fuori dall'Europa e in Islanda tra la fine dell'Ottocento e il Primo Novecento ("Per una storia del cemento armato"). Infine, nell'ultima sezione "Sconfinamenti di metodi e tecniche", si riportano le ricerche in corso, che si avvalgono della tecnologia (modelli numerici, rilievi geometrici e tecniche a infrarosso), finalizzate ad una migliore comprensione delle fabbriche storiche.

Quaderni di Storia  
della Costruzione  
n. 1/2021



**Quaderni di Storia della Costruzione  
Vol. 1**

# **Storia della costruzione: percorsi politecnici**

a cura di Edoardo Piccoli, Mauro Volpiano, Valentina Burgassi  
Construction History Group - Politecnico di Torino DAD

Quaderni di Storia della Costruzione è una collana di ricerche promosse dal Construction History Group Polito DAD con l'obiettivo di diffondere studi riguardanti la storia della costruzione in età moderna e contemporanea, fondata nel 2021.

Eventuali proposte editoriali devono essere inviate alla Segreteria Scientifica del Construction History Group (CHG) presso il Dipartimento di Architettura e Design, Viale Mattioli 39, 10125 – Torino (Italia) o in alternativa all'indirizzo di posta elettronica [chg@polito.it](mailto:chg@polito.it) e [valentina.burgassi@polito.it](mailto:valentina.burgassi@polito.it). Gli scritti saranno valutati dal Consiglio Direttivo CHG e dal Comitato Scientifico che, ogni volta, sottoporranno i testi a *referees* secondo il criterio del *blind peer review*.

La collana rispetta il codice etico e di condotta come stabilito dal Committee on Publication Ethics (COPE). Il codice etico è riportato sul sito <http://constructionhistorygroup.polito.it>

ISBN: 978-88-85745-66-7



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione Non commerciale 2.0 Generico

**Quaderni di Storia della Costruzione**  
**n. 1/2021**

Collana del Centro di Ricerca / Series of the Research Center  
Construction History Group  
Dipartimento di Architettura e Design - Politecnico di Torino

**Consiglio direttivo 2021 / Executive committee 2021**

Maria Luisa Barelli  
Carla Bartolozzi  
Valentina Burgassi  
Edoardo Piccoli  
Mauro Volpiano

**Comitato scientifico 2021 / Scientific committee 2021**

Carmen Andriani  
Davide Del Curto  
Alberto Grimoldi  
Nicoletta Marconi  
Paolo Mellano  
Valérie Nègre  
Giulio Ventura

**Progetto grafico ed impaginazione / Graphic design and Layout**

Celia Izamar Vidal Elguera

**Curatori del numero / Editors**

Valentina Burgassi  
Edoardo Piccoli  
Mauro Volpiano

**Copertina / Cover**

*Strumenti di cantiere*, in C. Fontana, *Il tempio Vaticano e sua origine, con gl'edifitii ... antichi e moderni, fatti dentro e fuori di esso / Templum vaticanum et ipsius origo cum aedificiis maxime conspicuis antiquitas et recens ibidem constitutio* – [S.l.], 1694, Libro III, cap. V, p. 127.

L'editore è a disposizione degli eventuali detentori di diritti che non sia stato possibile rintracciare.



**Politecnico  
di Torino**

Dipartimento  
di Architettura e Design



Construction  
History  
Group

CHG PoliTo



# indice

## **Prefazione**

- 13 Paolo Mellano

## **Nota dei curatori**

- 15 Edoardo Piccoli, Mauro Volpiano, Valentina Burgassi

## **Introduzione**

- 21 *Pour une pensée critique et constructive des techniques de l'architecture*  
Valérie Nègre
- 25 *Ingegneria Strutturale e Storia della Costruzione: il recupero di un patrimonio di cultura e conoscenza*  
Giulio Ventura

## **I. Percorsi politecnici**

- 29 *Un ambito di studi pienamente contemporaneo*  
Alberto Grimoldi
- 35 *Percorsi di storia della costruzione al Politecnico di Torino*  
Maria Luisa Barelli, Michela Comba
- 49 *Il rapporto tra meccanica e architettura come tema di storia della costruzione*  
Cesare Tocci

## **II. Ritorno sul cantiere di architettura di età moderna**

- 61 *Progetto, tecniche, cantiere: per un'analisi dell'opera architettonica*  
Nicoletta Marconi
- 67 *Le parole di cantiere nel Ducato di Savoia tra XVII e XVIII secolo e la costruzione di un glossario*  
Valentina Burgassi
- 83 *Il cantiere nella Roma di metà Settecento: il trattato Origine e Lode dell'Architettura*  
Alessandro Spila
- 103 *Liti, incidenti e improvvisazioni. Le crisi del cantiere barocco*  
Edoardo Piccoli

- 117 *Il campanile dell'antica casa comunale a Montanaro (To): dal progetto vittoniano al progetto di restauro*  
Carla Bartolozzi, Francesco Novelli

### **III. Per una storia del cemento armato**

- 139 *L'arte del costruire fra invenzione e cantiere*  
Carmen Andriani
- 145 *Gli italiani di Hennebique negli esordi dei cantieri in calcestruzzo armato fuori dall'Europa: i Musei del Cairo (1894-1903)*  
Vilma Fasoli
- 161 *Hennebique Moves North: The First Applications of Reinforced Concrete in Iceland (1907-10)*  
Sofia Nannini

### **IV. Sconfinamenti di metodi e tecniche**

- 175 *La storia è quello che c'è scritto? Sconfinamenti tra storia della costruzione e restauro dell'architettura*  
Davide del Curto
- 179 *Volte a fasce negli atri barocchi torinesi: geometria, architettura, costruzione*  
Roberta Spallone, Marco Vitali
- 197 *Storia delle costruzioni e modelli numerici: ricerche sulle cupole di Vitozzi*  
Giulia De Lucia
- 209 *Archivio di architettura e progetto di restauro: il caso di villa Zanelli a Savona*  
Erminia Airenti, Enrica Bodrato
- 223 *L'abaco all'infrarosso delle murature. Una proposta per la lettura stratigrafica e l'interpretazione delle fasi costruttive degli edifici*  
Maurizio Gomez Serito, Monica Volinia, Mario Giroto, Luca Finco
- 233 Abstracts

# Il rapporto tra meccanica e architettura come tema di storia della costruzione

Cesare Tocci  
Politecnico di Torino

## Introduzione

Il contributo prova a inquadrare in un orizzonte unitario alcune vicende emblematiche di storia della costruzione, collocate tra il XVI e il XIX secolo e indagate in occasioni e con motivazioni diverse, proponendo alcune riflessioni sul tema del rapporto tra meccanica e architettura che emerge, dalle vicende citate, come una delle possibili chiavi di lettura.

Diverse tra loro, le vicende analizzate riguardano problemi di cantiere, dispute tecnico-scientifiche, progetti di grandi strutture. I problemi di cantiere sono quelli affrontati da Domenico Fontana, sul finire del Cinquecento, in occasione di due memorabili interventi effettuati per Sisto V, il restauro dell'abaco della colonna di Marco Aurelio e la traslazione dell'obelisco Vaticano.<sup>1</sup> Le dispute tecnico-scientifiche sono collocate, non senza significato, quasi negli stessi anni alla metà del Settecento: e sono la celebre querelle sulla stabilità della cupola di San Pietro<sup>2</sup> e, le meno note discussioni sorte attorno all'immenso cantiere della Cittadella di Alessandria sulla miglior forma da assegnare alle volte a prova di bomba.<sup>3</sup> Infine un esempio degno di figurare tra le grandi opere dell'ingegneria strutturale della seconda metà dell'Ottocento, la progettazione e realizzazione della copertura metallica del Politeama di Palermo ad opera di Giuseppe Damiani Almeyda (Fig. 1).<sup>4</sup>

La finalità della riflessione non è ovviamente quella di descrivere nel dettaglio le singole vicende, quanto di mostrare in che modo il carattere specialistico del particolare tema che si intende qui affrontare si ponga rispetto al tema apparentemente più generale della storia della costruzione e, soprattutto, di provare a riconoscere se, di là dalla frammentarietà delle esperienze presentate – di fatto una costante degli studi di storia della costruzione che piuttosto che inseguire le grandi sintesi indugiano, sommessamente, sulla raccolta antologica<sup>5</sup> –, sia possibile individuare un processo evolutivo nel rapporto tra meccanica e architettura che studi sistematici ed estesi potrebbero aiutare a comprendere e definire con maggiore chiarezza.

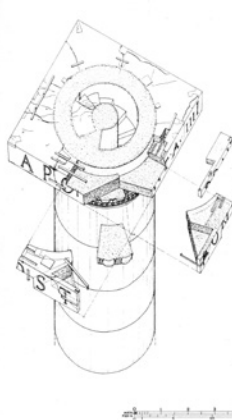
<sup>1</sup> R. Masiani, C. Tocci, "Ancient and modern restoration for the Column of Marcus Aurelius in Rome", *International Journal of Architectural Heritage*, 6, 5, 2012, 542-561. Si riportano, qui e nel seguito, solo i riferimenti bibliografici nei quali le vicende citate sono state esaminate da chi scrive, rimandando ad essi per gli indispensabili approfondimenti.

<sup>2</sup> D. Capecchi, C. Tocci, "Le perizie sulla cupola vaticana di Le Seur, Jacquier e Boscovich", *Palladio*, 47, 2011, pp. 43-58.

<sup>3</sup> E. Piccoli, C. Tocci, "A prova di bomba. Ingegneri, architetti e teorie sulle volte in un cantiere militare di metà Settecento", *ArcHistoR*, 12, 2019, pp. 212-251.

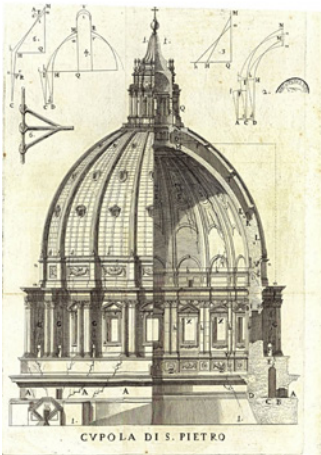
<sup>4</sup> C. Tocci, "Il controllo strutturale del progetto di architettura. Riflessioni su due opere", in P. Barbera *et al.* (a cura di), *Giuseppe Damiani Almeyda. Arte e scienza in architettura*, Siracusa: Lombardi, 2011, pp. 31-44.

<sup>5</sup> S. Poretti, *Modernismi italiani*, Roma: Gangemi, 2008.



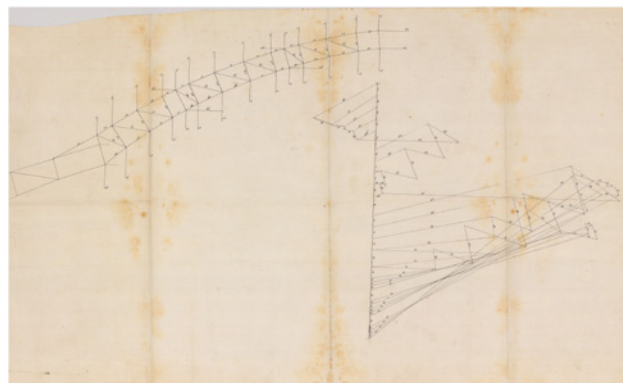
1586-1589. Due cantieri di Domenico Fontana.

Il restauro statico dell'abaco della colonna di Marco Aurelio e la traslazione dell'obelisco Vaticano.



1742-1756. Dibattiti scientifici.

La stabilità della cupola di San Pietro e il miglior profilo delle volte a prova di bomba nella cittadella di Alessandria.



1874-1875. L'ingegneria del ferro ottocentesca.

La cupola reticolare metallica del Politeama di Palermo progettata da Giuseppe Damiani Almeyda.

### Tra storia della scienza, storia dell'architettura e storia della costruzione

Diceva Edoardo Benvenuto che la storia della costruzione si inserisce nella storia dell'architettura come aspetto parziale e specialistico ma, al contempo, risulta ad essa sovraordinata in quanto espressione della più generale storia della scienza e della tecnica.

Questo doppio registro emerge più o meno chiaramente in tutte le vicende citate e, ci limitiamo a commentarlo con riferimento a una di esse: la disputa che, nell'estate del 1756, vide confrontarsi Alessandro Vittorio Papacino D'Antoni, Bernardino Pinto e Giovanni Battista Borra sulla migliore forma da assegnare alle volte a prova di bomba nella cittadella militare di Alessandria.<sup>6</sup> La disputa portò alla adozione praticamente generalizzata di un profilo a sesto ellittico rialzato (vale a dire con l'asse maggiore dell'ellisse disposto verticalmente) per le volte a prova di bomba delle caserme che, da allora in poi, vennero realizzate all'interno della fortificazione alessandrina e, alla modifica in corso d'opera dello stesso profilo delle volte della caserma S. Tommaso, il cui cantiere non era ancora concluso. Questa modifica è ancora oggi emblematicamente riconoscibile: l'originario sesto circolare – eretto fino alle imposte e già dotato di catene – “scarta” con una risega verso le pareti esterne per poter proseguire secondo il sesto ellittico emerso come ottimale dalla disputa.

Ciò che rileva osservare di questa vicenda, ai fini della nostra riflessione, è appunto il doppio livello di lettura che se ne può dare o, equivalentemente, la diversa scala a cui essa può essere analizzata. C'è una scala di dettaglio, relativa all'assetto geometrico delle volte, che coinvolge solo alcuni degli aspetti che concorrono a definire l'architettura della cittadella e che, nel caso specifico, sono relativi alla conformazione interna degli spazi e alla risoluzione di alcune questioni costruttive (il rapporto con le pareti di elevazione, la chiusura sommitale degli edifici) per le quali sono state necessarie ulteriori e puntuali investigazioni. E c'è una scala più ampia, che colloca la vicenda alessandrina in un contesto europeo con connotati, peraltro, di straordinaria novità. La risoluzione della disputa passa infatti per l'estensione delle ricerche settecentesche sulla statica degli archi – che, a metà secolo, sono ormai definite nei tratti essenziali – dal campo delle forze ordinarie, la spinta delle volte, a quello delle forze impulsive, l'urto delle bombe, attraverso la ricezione dei risultati della “rivoluzione balistica”<sup>7</sup> innescata dalla pubblicazione del celebre trattato di Robins.<sup>8</sup> È grazie all'analisi di questa estensione

Fig. 1. Quadro sinottico delle vicende costruttive commentate nel testo.

La fonte delle immagini è riportata nelle note di seguito elencate. In alto: Nota 1, per le due figure di sinistra; Nota 24, per le due figure di destra. Al centro: Nota 2, per la figura di sinistra, Nota 3 per le due figure di destra. In basso: Nota 4, per entrambe le figure.

<sup>6</sup> La disputa fu in realtà tra Pinto, ingegnere militare appena subentrato a Bertola (responsabile di tutti i progetti per la Cittadella di Alessandria, morto l'anno precedente), che sosteneva il profilo a tutto sesto in continuità con il capitolato originario, e Borra, figura atipica di architetto, autore di un trattato di carattere tecnico piuttosto inconsistente (G.B. Borra, *Trattato della cognizione pratica delle resistenze geometricamente dimostrato ...*, Torino: Stamperia Reale, 1748), che proponeva, con ricchezza di argomentazioni (forse nell'intento di promuovere le sue competenze e ottenere un coinvolgimento nell'immenso cantiere alessandrino) ma totale assenza

di rigore, un profilo a sesto ellittico rialzato. Le due perizie furono sottoposte al vaglio di una commissione di esperti, composta da De Vincenti, Michelotti e Papacino D'Antoni, militare il primo, studiosi di rango gli altri due, rispettivamente all'Università di Torino e alle Reali Scuole di Artiglieria. Il *Sentimento* redatto dalla commissione, nella quale fu preminente il ruolo di Papacino D'Antoni, si esprimeva in favore della soluzione proposta da Borra dandone però una giustificazione tanto stringata quanto solidamente argomentata.

<sup>7</sup> Così definita, per sottolinearne la portata dirompente, con riferimento a quella copernicana (B.D. Steele, "Muskets and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the ballistic revolution", *Technology and Culture*, 35, 2, 1994, pp. 348-382).

<sup>8</sup> B. Robins, *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, 1742.

<sup>9</sup> B.F. de Bélidor, *La Science des Ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification e d'architecture civile*, Paris: Jombert 1729.

<sup>10</sup> J. Heyman, *The science of structural engineering*, London: Imperial College Press, 1999.

di campo (storia della scienza: scala sovraordinata), senza la quale la disputa sulle volte alla prova non si potrebbe comprendere, che è possibile riconoscere un aspetto di grande rilevanza degli edifici alessandrini (storia della costruzione: scala di dettaglio), ovvero il fatto che il dimensionamento delle ossature murarie di alcune delle caserme, sicuramente il S. Tommaso e il S. Carlo, sia stato effettuato, tra le prime volte nella storia dell'architettura (scala intermedia), attraverso una applicazione delle formule di de la Hire e Bélidor che erano state sviluppate, e così erano presentate nella *Science des Ingénieurs*,<sup>9</sup> come formule di progetto.

### **Meccanica e architettura: alcune riflessioni sull'evoluzione di un rapporto**

Se si percorrono a ritroso le diverse esperienze elencate nell'introduzione, dalle più recenti alle più antiche, non è difficile rilevare che il riconoscimento delle diverse modalità secondo le quali si presenta la relazione tra meccanica e architettura si caratterizza per livelli di complessità crescente: mentre per i casi più recenti dette modalità sono di fatto indistinguibili da quelle odierne, per i casi più antichi il riconoscimento stesso di una relazione, prima ancora che la descrizione dei modi secondo cui avviene, è assai più problematico e impone una analisi molto più articolata.

Ciò per un verso è una implicita dimostrazione che un processo evolutivo effettivamente esista e, per altro verso, introduce nella discussione una ulteriore considerazione, marginale rispetto al tema che ci siamo qui posti, e alla quale possiamo solo accennare. Ci riferiamo al fatto che risalendo ancora più indietro nel tempo, rispetto all'arco cronologico preso in esame, la questione del rapporto tra meccanica e architettura andrebbe forse posta in maniera diversa, perché i termini in gioco non hanno più lo stesso significato, e dovrebbe pertanto essere riformulata: non più analizzando la relazione tra meccanica (modernamente intesa) e architettura ma chiedendosi quale scienza (non necessariamente meccanica) fosse a supporto della progettazione strutturale.<sup>10</sup>

#### *L'ingegneria strutturale della fine dell'Ottocento*

A fine Ottocento, la relazione tra meccanica e architettura è pienamente moderna, nel senso che la meccanica è ormai fondamento imprescindibile della progettazione.

La copertura del Politeama di Palermo, una struttura reticolare metallica di grande luce costituita da due cupole sovrapposte che risolve con una unica intelaiatura il problema di coprire l'invaso della sala teatrale e quello di reggere il tetto, viene progettata da Giuseppe Damiani Almeyda tra il 1874 e il 1875.<sup>11</sup>

Entro quella data, la costruzione in ferro aveva toccato livelli di straordinaria modernità mai più raggiunti neanche alla fine del secolo<sup>12</sup> e la meccanica strutturale, stimolata da quello sviluppo,<sup>13</sup> aveva acquisito una veste a tal punto definitiva che non sembra esagerata la celebre affermazione di Timoshenko: «[...] it is easy to see that little has been added to this branch of the theory of structures since Castigliano wrote his famous book».<sup>14</sup>

Nel progettare la copertura metallica del Politeama, dunque, Damiani Almeyda usa una tecnica d'avanguardia per realizzare una tipologia strutturale che governa con assoluto rigore dal punto di vista concettuale<sup>15</sup> ma della quale non può controllare analiticamente il comportamento statico. Benché, infatti, fossero correttamente inquadrare dal punto di vista teorico e, per esse il teorema di Castigliano fornisse una metodologia rigorosa e uniforme di soluzione, le strutture fortemente iperstatiche restavano ben oltre le possibilità di calcolo dell'epoca.<sup>16</sup> Senza rinunciare agli strumenti che la meccanica gli fornisce, Damiani Almeyda supera le difficoltà computazionali modellando la cupola tridimensionale reale come un assemblaggio di sistemi piani indipendenti<sup>17</sup> che rappresentano una effettiva modalità di funzionamento strutturale – qualora non si riuscisse ad instaurare il più rassicurante regime di membrana – e si possono facilmente calcolare.<sup>18</sup>

Ciò che separa l'ingegnere ottocentesco dall'ingegnere moderno è solo la disponibilità di potenti calcolatori elettronici con i quali si riescono facilmente a risolvere i sistemi di equazioni che Damiani Almeyda poteva (e sapeva) solo scrivere. Ma è la stessa distanza che separa l'ingegnere moderno da Pier Luigi Nervi, nelle cui parole l'approccio implicitamente adottato da Damiani Almeyda in un caso specifico diventa sistematica metodologia di progettazione: l'analisi strutturale si gioca non sul terreno, tutto sommato banale, del calcolo numerico ma su quello, ben più profondo, della comprensione vera dell'opera dove è essenziale la «[...] capacità di affrontare un qualsiasi sistema iperstatico complesso, suddividerlo in sistemi elementari o riportarlo a schemi già risolti [...]».<sup>19</sup>

<sup>11</sup> L'incarico per la costruzione del Politeama fu conferito a Damiani Almeyda dal Comune di Palermo nel 1864 e l'anno successivo il progetto era pronto. I lavori si protrassero dal 1865 al 1874, quando il teatro venne inaugurato senza copertura. Questa venne progettata dallo stesso Damiani nei due anni successivi e completata entro il 1877 (P. Barbera, *Giuseppe Damiani Almeyda. Artista, architetto, ingegnere*, Palermo: Promolibri, 2008).

<sup>12</sup> V. Nascè, "La progettazione strutturale e la costruzione metallica dalle origini al periodo 1850-1860", in Id. (a cura di), *Contributi alla Storia della Costruzione Metallica*, Atti del convegno, Firenze, 4 aprile 1981, Firenze: Alinea, 1982, pp. 9-84.

<sup>13</sup> E. Benvenuto, "La teoria delle strutture, nel periodo di maggiore influenza delle costruzioni metalliche 1850-1880", in V. Nascè (Nota 12), pp. 113-148.

<sup>14</sup> S.P. Timoshenko, *History of strength of materials*, New York: Dover publications, 1953.

<sup>15</sup> Vent'anni dopo, progettando la cupola muraria del duomo di Marsala, Damiani Almeyda avrebbe esibito una padronanza totale della meccanica delle cupole. Cfr. C.F. Carocci, "Giuseppe Damiani Almeyda's Architecture: Constructing the Modern Restoring the Ancient. The Cathedral of Marsala", in K.E. Kurrer *et al.* (Eds) *Construction History*, Proceedings of the conference, Cottbus, 20-24 may 2009, Cottbus: Neunplus1, 2009, pp. 305-312.

<sup>16</sup> Benvenuto (Nota 13).

<sup>17</sup> In questo sistema la cupola è vista come un insieme di mensole che Damiani paragona alle gru portuali.

<sup>18</sup> Tocci (Nota 4).

<sup>19</sup> P.L. Nervi, *Scienza o Arte del Costruire?*, Roma: CittàStudi, 1945.

### *I dibattiti scientifici di metà Settecento*

È innegabile che le due dispute scientifiche della metà del Settecento appartengano a una fase precedente del rapporto tra meccanica e architettura – non ancora del tutto moderna, da un punto di vista operativo, anche se già pienamente matura in tema di consapevolezza strutturale.

La *querelle* sulla stabilità della cupola di San Pietro<sup>20</sup> ci consegna – tra il 1742 (quando il Parere dei tre matematici viene trasmesso al papa) e il 1748 (l'anno della pubblicazione delle *Memorie Istoriche* di Giovanni Poleni) – due straordinarie operazioni di modellazione strutturale. La verifica di Poleni è una elegante traduzione sperimentale della analogia arco-fune, allora impropriamente attribuita a James Stirling, ma dovuta in realtà a Robert Hooke. L'analisi dei tre matematici, nella quale svolse un ruolo di primo piano Ruggero Giuseppe Boscovich, è una raffinata applicazione del principio dei lavori virtuali<sup>21</sup> della quale è stata a lungo sottovalutata la ricchezza meccanica, e fraintesa la correttezza, sulla base di alcune apparenti incongruenze.<sup>22</sup> In realtà il ragionamento di Boscovich è eccezionalmente sottile e si propone di rendere ragione del complesso quadro fessurativo rilevato sulla cupola, dimostrando che il meccanismo cinematico che potrebbe innescarlo è instabile se si trascura la resistenza a trazione del materiale: in questo modo si riesce a spiegare per un verso la comparsa delle lesioni, come conseguenza del superamento della resistenza a trazione e, per altro verso, a individuare le condizioni per così dire strettamente sufficienti di stabilità della cupola, ovvero quelle legate al semplice assetto geometrico della struttura.

Della disputa alessandrina abbiamo già parlato. Ci limitiamo qui ad aggiungere che la innovativa combinazione di statica e balistica prima ricordata è frutto di uno straordinario lavoro teorico e sperimentale che a stento si percepisce nella stringatissima perizia (il Sentimento) redatta in occasione del dibattito, ma costituisce il cuore della *Architettura Militare*<sup>23</sup> di Papacino D'Antoni che di quella perizia costituisce il presupposto evidente e nella quale il calcolo strutturale si avvale, per la trattazione matematica, degli strumenti più avanzati allora disponibili (tra cui il calcolo differenziale) e si fonda, per la fase di modellazione vera e propria, sulla realtà fisica dei fenomeni che vengono indagati mediante sistematiche campagne di sperimentazione.

Di là dal dettaglio delle due vicende, e dalle loro innegabili differen-

<sup>20</sup> La *querelle*, innescata dalla crescente preoccupazione per il progredire dei dissesti della cupola, fu resa possibile dall'interesse di papa Benedetto XIV per il clima di rinnovamento scientifico del secolo dei Lumi: ciò spiega la sua coraggiosa scelta di incaricare tre importanti matematici, Le Seur, Jacquier e Boscovich, di valutare le condizioni di stabilità della cupola. Il *Parere* che questi consegnarono dopo pochi mesi, per la verità non facilissimo da capire ma presentato in maniera oggettivamente poco rassicurante, indusse il papa prima ad indire una *congregazione* (consulto) di esperti, tra i quali anche il fisico padovano Poleni, e successivamente ad affidare a quest'ultimo l'incarico di restaurare la cupola (insieme a Vanvitelli), dopo che le *Riflessioni* dei tre matematici, scritte in risposta alle obiezioni sollevate nei confronti della loro prima perizia, non erano riuscite a chiarirne i passaggi più difficili.

<sup>21</sup> Tanto più sorprendente se si pensa che il principio era stato formalmente enunciato, da Johann Bernoulli, ce ne sono tanti, meno di vent'anni prima.

<sup>22</sup> Capecchi, Tocci (Nota 2).

<sup>23</sup> I sei volumi dell'*Architettura Militare* furono pubblicati nell'arco di circa vent'anni (A.V. Papacino d'Antoni, *Dell'Architettura Militare per le Regie Scuole Teoriche d'Artiglieria, e Fortificazione*, 6 vol. [il vol. 2, 1779, è di I.A. Bozzolino], Torino: Stamperia Reale, 1759-1781) ed ebbero una immediata circolazione internazionale (A.V. Papacino d'Antoni, *A Treatise on Gun-powder; a Treatise on Fire-Arms; and a Treatise on the Service of Artillery in the Time of War*, London: Eger-ton, 1789).

ze, ciò che in entrambe emerge con chiarezza è la consapevolezza che l'architettura possa (e debba) essere verificata, nel primo caso, e progettata, nel secondo, sulla base delle leggi della meccanica e non di regole geometrico-proporzionali, il che è più importante delle stesse pecche che si possono rintracciare nelle perizie alessandrine – come pure dell'oscurità di alcuni passaggi in quelle romane. L'analisi di Papacino d'Antoni non è esente da imprecisioni (soprattutto, una non rigorosa distinzione tra la quantità di moto delle bombe e la forza ad essa associata) ma ciò che rileva ai fini della nostra discussione è la stringente correlazione che viene istituita tra la modellazione meccanica (supportata da valutazioni teoriche e osservazioni sperimentali) e il dimensionamento strutturale. Per lo stesso motivo, sarebbe ingenerosa una eccessiva severità nei confronti di un altro personaggio coinvolto nella disputa, l'architetto Giovanni Battista Borra, la cui trattazione dello stesso problema (che non va oltre le fumose e inconsistenti argomentazioni del suo trattato), sebbene priva di qualunque valore dal punto di vista statico, è comunque notevole per la chiarezza con cui afferma la ineludibilità di un più intimo coinvolgimento delle competenze statiche nell'architettura.

### *Tracce di meccanica in due cantieri della fine del Cinquecento*

Nel passare alla fine del Cinquecento e ai due cantieri di Domenico Fontana occorre attraversare un crinale storico decisivo, vale a dire la pubblicazione, nel 1638, dei *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche* di Galileo. C'è un prima e c'è un dopo, e il prima e il dopo sono fondamentalmente diversi. Sarebbe pertanto logicamente, e storicamente, insostenibile riconoscere nella attività di Domenico Fontana una tappa come le altre del processo evolutivo che stiamo percorrendo a ritroso; ma sarebbe ugualmente immotivato negare all'architetto ticinese una conoscenza non più solo intuitiva dei concetti basilari della meccanica e, soprattutto, la piena consapevolezza di poterli utilizzare per la risoluzione di alcuni non banali problemi di cantiere.

Tale considerazione è supportata dalla rilettura dei documenti d'archivio relativi all'intervento di restauro statico dell'abaco della colonna di Marco Aurelio, effettuato nel 1589, e del celeberrimo volume dedicato alla traslazione dell'obelisco Vaticano, portata a compimento nel 1586.<sup>24</sup> In entrambe le occasioni, nelle quali non a caso è prevalente, se non esclusivo, l'impegno di ideazione costruttiva, Fontana dimostra infatti una padronanza a tal punto completa

<sup>24</sup> L'attività romana di Domenico Fontana si esaurisce nei cinque anni del pontificato di Sisto V la cui morte innescò invidie e sospetti che costrinsero l'architetto ticinese a riparare a Napoli. La traslazione dell'obelisco vaticano, memorabile impresa che inaugura quella attività, è descritta nel famoso volume autocelebrativo (D. Fontana, *Della trasportatione dell'obelisco vaticano e delle fabbriche di Nostro Signore Papa Sisto V*, Roma: Basa, 1590) che attende ancora di essere letto nei suoi risvolti di natura meccanica. L'intervento sulla colonna di Marco Aurelio è stato invece riscoperto e studiato a fondo in occasione del restauro condotto negli anni Ottanta del Novecento da Antonino Giuffrè. Si veda Masiani, Tocci (Nota 1).

del funzionamento statico delle macchine elementari – oltre che la capacità, tutta personale, di sfruttarla come concreto supporto operativo – da indurre a ritenere assai probabile una sua frequentazione non occasionale, se non una contiguità, con la nuova letteratura meccanica della seconda metà del Cinquecento (Federico Commandino, Guidobaldo dal Monte, Bernardino Baldi).

Più di un indizio sembrerebbe attestare la conoscenza da parte di Fontana del *Mechanicorum Liber*<sup>25</sup> di Guidobaldo dal Monte,<sup>26</sup> che rielaborava le *Meccaniche* di Pappo Alessandrino mantenendone il proposito di ridurre tutte le machine semplici (leva, argano, cuneo, piano inclinato, vite) alla leva. Alle macchine elementari, descritte nelle *Mechaniche*, Fontana si riferisce esplicitamente in diversi passi della *Transportatione*, dimostrando una conoscenza, anche teorica, del loro funzionamento e, dunque, dei testi che lo descrivevano: come, ad esempio, quando suggerisce una modalità di sollevamento dell'obelisco meno dispendiosa del sistema usato per la sua prima erezione ed evidentemente basato sulla conoscenza della legge della leva – «[...] tirando il piede mi veniva ad aiutare per alzar la cima» – o quando accenna alla straordinaria efficienza di sollevamento del cuneo (o piano inclinato) – «sapendo ogn'uno quanta forza hanno le zeppe». In occasione poi del restauro della colonna di Marco Aurelio, la geniale soluzione adottata per la reintegrazione dell'abaco (basata sullo svuotamento della parte aggettante dei grossi blocchi lapidei di ricomposizione dell'angolo crollato, per spostarne il baricentro sulle due seggiole di appoggio) sembra essere quasi una traduzione in concrete operazioni di cantiere della definizione di baricentro – che Guidobaldo riporta nella prima pagina delle *Mechaniche*, derivandola da Pappo – come punto di sospensione per l'equilibrio indifferente: «[...] il grave, mentre è portato sta fermo, & mantiene quel sito, che egli havea da principio, né in quel portamento si va rivolgendo».<sup>27</sup> Sarebbe infatti bastato sollevare i blocchi di reintegrazione sospendendoli per il punto in corrispondenza del quale si voleva posizionare il baricentro e, scavarli nella metà destinata a restare a sbalzo sul vuoto fino a che non fossero rimasti, durante il sollevamento, perfettamente orizzontali.

Ma, più in generale, è l'approccio complessivo di Domenico Fontana che sembra segnare un punto di svolta nel processo storico che porta a una sempre più serrata dialettica tra meccanica e architettura. Sia laddove scompone la celebre impresa della *Transportatione* in una sequenza di operazioni elementari ripetibili, e perciò comunicabili, procedura questa tipicamente scientifica,<sup>28</sup> sia laddove ricorre,

<sup>25</sup> G. Dal Monte, *Le mechaniche dell'illustriss. Sig. Guido Ubaldo de' marchesi Del Monte: tradotte in volgare dal sig. Filippo Pigafetta*, Venezia: De'Franceschi, 1581.

<sup>26</sup> Tra questi, anche il fatto che il libro di Guidobaldo dal Monte era stato tradotto in volgare, e pubblicato a Venezia nel 1581, con il titolo *Le Meccaniche*, a cura del vicentino Filippo Pigafetta che si trovava a Roma, in occasione della traslazione dell'obelisco Vaticano, e si era schierato a fianco del giovane Fontana (L. Dolza, *Storia della tecnologia*, Bologna: Il Mulino, 2008).

<sup>27</sup> Dal Monte (Nota 25).

<sup>28</sup> Giovanna Curcio rileva giustamente come Carlo Fontana, cambiando l'ordine delle tavole della *Transportatione nel suo Templum Vaticanum* del 1694, dimostrerà di non avere colto questo aspetto fondamentale dell'opera del suo predecessore. Si veda: G. Curcio et al. (a cura di), *Studi su Domenico Fontana*, Cinisello Balsamo: Mendrisio Academy Press/Silvana Editoriale, 2011.

a più riprese, alla esecuzione di prove sperimentali per determinare la portata delle funi, l'efficienza delle taglie multiple, la resistenza delle travi di legno impiegate come leve alla base dell'obelisco, con funzione ausiliaria rispetto a quella degli argani.

Questo costante riferimento all'attività di sperimentazione ci porta al cuore del vero problema della traslazione dell'obelisco vaticano («muovere sassi tanto gravi, e pericolosi a spezzarsi»)<sup>29</sup> e ci consente di capire come Fontana lo abbia affrontato non basandosi semplicemente sulle sue straordinarie capacità tecniche, comunque indubitabili, considerato il tentativo fallimentare di un suo discendente di spostare la colonna di Antonino Pio in Campo Marzio. Il problema proponeva, su una scala inconsueta e con un materiale particolarmente difficile, un quesito ereditato dai *Mechanica Problemata* di Aristotele (e chissà se Fontana ne era al corrente), la Quaestio XVI delle *Exercitationes* di Bernardino Baldi<sup>30</sup> riguardante il comportamento della trave inflessa, che avrebbe trovato la prima soddisfacente trattazione nei *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche* di Galileo. Il problema è ovviamente irresolubile, dal punto di vista teorico, e per il monolite di granito Fontana non può che moltiplicare le accortezze (imbracature, fasciature, punti di sospensione multipla) provando a ridurre il rischio più temibile («e se si spezza?»). Ma può invece essere affrontato per via sperimentale per le leve di legno che si aggiungono alle funi, per sostenere l'obelisco durante la fase di sollevamento: la sezione trasversale di tali leve (a valle di una verifica elementare che oggi possiamo effettuare considerando i pesi attribuiti da Fontana a ciascuna trave, per differenza con il carico totale sostenuto dai quaranta argani e, a partire dalle dimensioni degli elementi riportate nel testo, o misurate dalle tavole, della *Trasportazione*) si rivela a tal punto senza difetto e senza eccesso di sicurezza che sarebbe davvero sorprendente se ciò fosse dovuto a una circostanza casuale.

È forse proprio su questa volontà, chiaramente espressa e razionalmente perseguita, di sottoporre comunque a una valutazione quantitativa – sperimentale, se non teorica – la propria attività progettuale e la pratica del cantiere, che si può misurare l'importanza di Domenico Fontana come precursore di una dialettica tra meccanica e architettura che sarebbe giunta a maturazione più di un secolo dopo.

<sup>29</sup> Fontana (Nota 24).

<sup>30</sup> A. Becchi, *Q. XVI: Leonardo, Galileo e il caso Baldi: Magonza, 26 marzo 1621*, Venezia: Marsilio, 2004.

## Conclusioni

In conclusione, vale la pena rilevare la natura non esclusivamente speculativa delle riflessioni proposte, per quanto questa sia una chiave di lettura pienamente legittima.

Chiunque si sia occupato del restauro di edifici murari storici sa bene quali siano le difficoltà che nascono quando si tenti di interpretarne il comportamento strutturale per poter decidere se e come intervenire per sanare eventuali precarietà. Queste difficoltà sono riassunte con la consueta chiarezza da Edoardo Benvenuto con un asserto apparentemente paradossale secondo il quale non esiste strutturista al mondo che sappia dire qualcosa di sensato sulle costruzioni in muratura: laddove non sono tanto la raffinatezza delle strategie di modellazione o la potenza degli strumenti di calcolo ad essere chiamati in causa, ciò che lascerebbe liberi di supporre che nei vent'anni trascorsi dalla sensazionale affermazione di Benvenuto qualcosa potrebbe essere cambiato, quanto le incertezze conaturate ai modelli di comportamento (e ai parametri che li definiscono) e, in quanto tali, ineliminabili.<sup>31</sup>

Provare a capire come gli antichi architetti abbiano progettato le loro strutture, attraverso quali ragionamenti (non necessariamente matematici) abbiano sostanziato le loro idee, quali competenze statiche siano stati in grado di mettere in campo diventa allora una strada che si può percorrere per svelare i modi del funzionamento strutturale delle antiche fabbriche e indirizzare l'attività di chi su di esse deve intervenire.

Marginalmente, questo porta anche a riconoscere come lo studio diretto degli edifici sia imprescindibile e all'archivio di carta occorra sempre affiancare l'archivio di pietra,<sup>32</sup> come è evidente in alcune delle esperienze qui presentate.

<sup>31</sup> Con altre parole, ma con la stessa umiltà, Antonino Giuffrè, dopo avere a lungo studiato la colonna di Marco Aurelio, attaccandola da più fronti, con raffinate analisi di dinamica non lineare e diverse campagne di sperimentazioni di laboratorio su modelli in scala, conclude che "la struttura di blocchi sovrapposti ha un comportamento dinamico molto difficile" (A. Giuffrè, "Una proposta di Restauro per la Colonna di Marco Aurelio", *Palladio*, nuova serie, VII, 14, 1994, pp. 251-262).

<sup>32</sup> A. Giuffrè, *Valutazione della vulnerabilità sismica dei monumenti: metodi verifica e tecniche di intervento*, Studi e Ricerche sulla Sicurezza Sismica dei Monumenti, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Roma: Università degli Studi di Roma "La Sapienza", 1986.

# Abstracts

**Maria Luisa Barelli, Michela Comba**

marialuisa.barelli@polito.it

michela.comba@polito.it

***Development of Construction History at Politecnico di Torino***

When did a "history of construction" originate at Politecnico di Torino and how did it develop in particular in its School of Architecture? What scholars practiced and supported this history? How did this field of study connect with activities at other institutions in Italy and elsewhere? These are the questions that contribution asks in order to develop an annotated map of a field of study that has marked the development of Politecnico since the 1930s and 40s. This contribution is part of the introductory materials to the biographical profiles of scholars for the website of the Construction History Group (CHG) of Politecnico di Torino. These scholars influenced the research methods in Construction History at Politecnico.

Keywords

evolutionism; archaeology; reinforced concrete; materials and building techniques

**Cesare Tocci**

cesare.tocci@polito.it

***The relationship between mechanics and architecture as a construction history theme***

A number of emblematic events in the history of construction from the 16th to the 19th century reveal the evolution in the relationship between mechanics and architecture. In this paper, some preliminary observations are made about this relationship.

Keywords

mechanics; architecture; construction history

Il *Construction History Group* (CHG) è un Centro interdisciplinare di Ricerca del Politecnico di Torino (Dipartimento di Architettura e Design) ed accoglie studiosi e ricercatori dell'ateneo torinese che abbiano svolto o stiano svolgendo ricerche sul tema della Storia della Costruzione di età moderna e contemporanea, in ambito architettonico ed ingegneristico.

I curatori di questo volume sono parte del Comitato Direttivo del CHG e ne supportano le attività scientifiche e didattiche.

Edoardo Piccoli è Professore Associato in Storia dell'Architettura (ICAR/18) presso il Politecnico di Torino e le sue ricerche si concentrano principalmente sul XVIII secolo, con particolare interesse per i modelli architettonici tra Italia e Francia e le opere di Bernardo Vittone.

Mauro Volpiano è Professore Associato in Storia dell'Architettura (ICAR/18) presso il Politecnico di Torino: si occupa in particolare di beni architettonici e paesaggistici, di patrimonio urbano e di architettura e tecniche costruttive della Torino sabauda (XVII-XVIII secolo).

Valentina Burgassi è postdoc presso l'École Pratique des Hautes Études di Parigi e borsista presso il Politecnico di Torino. I suoi studi si incentrano sull'architettura dell'Ordine di Malta in età moderna e sul cantiere della Torino sabauda.

ISBN 978-88-85745-66-7



9 788885 745667