POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Tra funzione strutturale e rappresentazione architettonica: due scale di Alessandro Antonelli

Original
Tra funzione strutturale e rappresentazione architettonica: due scale di Alessandro Antonelli / Tocci, C. (QUADERNI DI STORIA DELLA COSTRUZIONE). - In: Scale e risalite nella Storia della Costruzione in età Moderna e Contemporanea / Burgassi V., Novelli F., Spila A.(a cura di). - Torino : Politecnico di Torino, 2022. - ISBN 978-88-85745-88-9. - pp. 153-162

Availability:
This version is available at: 11583/2979988 since: 2023-07-20T17:17:47Z

Publisher:
Politecnico di Torino

Published
DOI:

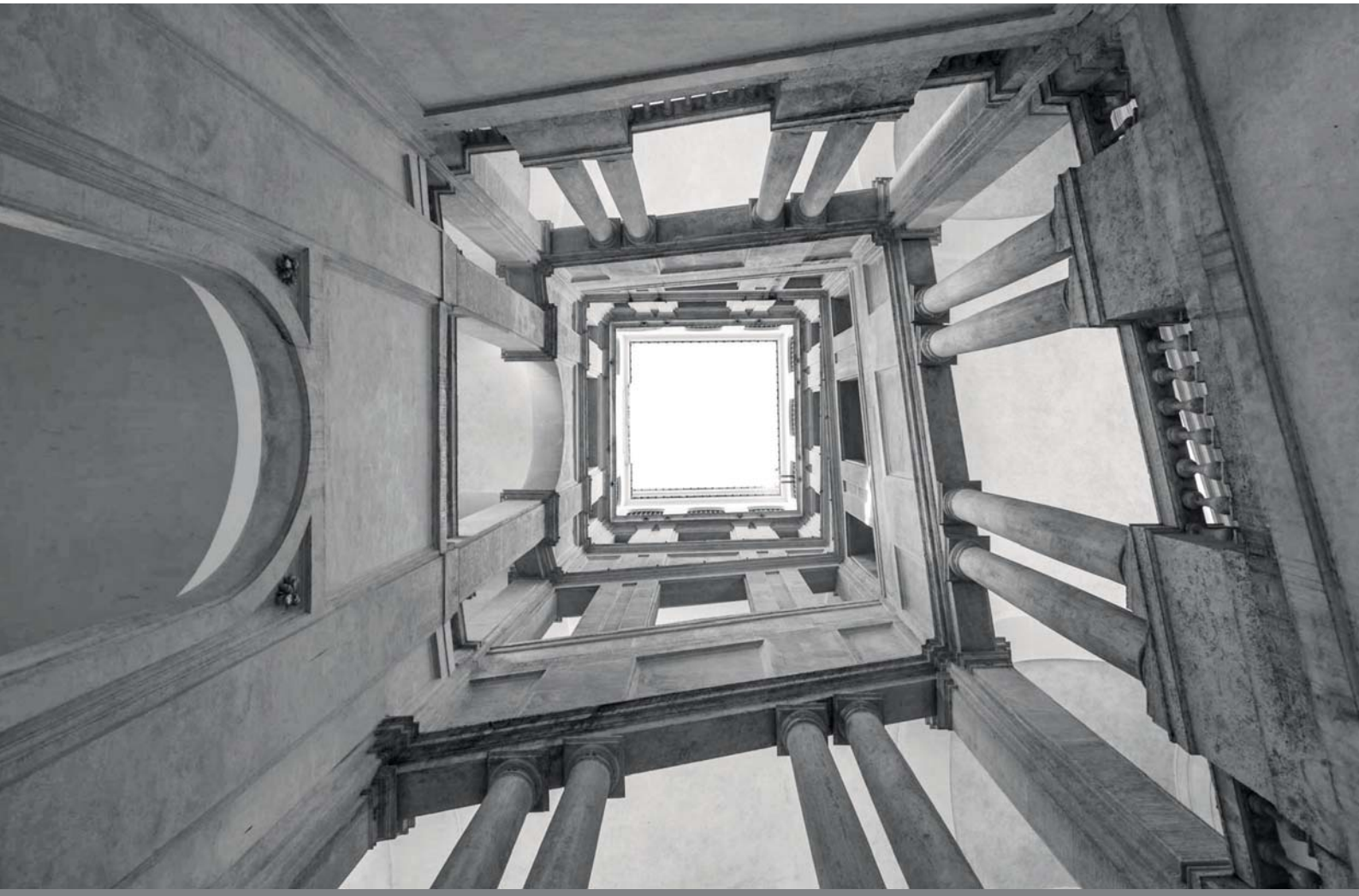
Terms of use:

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)

19 November 2026



Quaderni di Storia della Costruzione 2

Scale e risalite nella Storia della Costruzione in età Moderna e Contemporanea

a cura di Valentina Burgassi, Francesco Novelli, Alessandro Spila
Construction History Group - Politecnico di Torino DAD

Il tema delle scale (e delle loro controparti contemporanee, quali scale mobili, ascensori, rampe), affrontato alle sue radici dall'indimenticato convegno internazionale che si svolse a Tours nel 1979 (edito in "L'escalier dans l'architecture de la Renaissance", Picard 1985), poi dal più recente "L'Escalier en Europe 1450-1800. Formes, Fonctions, Décors" (dir. Gady, 2016), vuole essere approfondito, secondo la logica del cantiere e delle tecniche, dall'età moderna a quella contemporanea, in questo secondo volume dei Quaderni di Storia della Costruzione edito dal Construction History Research Center del Politecnico di Torino.
Il volume in oggetto prende le sue mosse dalla due giornate di studi sul tema di "Scale e risalite nella Storia della Costruzione in età Moderna e Contemporanea" (Politecnico di Torino, 17-18 febbraio 2022) e qui mette a sistema ricerche che riguardano la costruzione delle scale attraverso un più ampio respiro a livello nazionale ed internazionale: dalla presentazione di singoli casi - eccezionali o anche ordinari - analizzati nella loro consistenza costruttiva, all'analisi di tipi costruttivi ripetuti, quali le scale palladiane o le "geometric staircases"; dal rapporto tra scale e risalite e l'uso di determinati materiali (la pietra, il ferro, il cemento armato, etc), alle conseguenze costruttive dell'impiego di determinate forme. Nel volume si portano inoltre all'attenzione sistemi storici di calcolo, verifica ed evoluzioni normative nel rapporto che questi hanno avuto con le pratiche del costruire. La "fine della scala" e la sua sostituzione, o il suo affiancamento con altri sistemi di risalita – con ciò che comporta in termini di macchinari e impianti, in una prospettiva storica - è un altro tema suscettibile di esplorazioni in questo volume.

Quaderni di Storia
della Costruzione
n. 2/2022

Quaderni di Storia della Costruzione 2

Scale e risalite nella Storia della Costruzione in età Moderna e Contemporanea

a cura di Valentina Burgassi, Francesco Novelli, Alessandro Spila
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 e 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: 978-88-85745-88-9



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

Quaderni di Storia della Costruzione
n. 2/2022

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

Consiglio direttivo 2022 / Executive committee 2022
Maria Luisa Barelli
Carla Bartolozzi
Valentina Burgassi
Edoardo Piccoli
Mauro Volpiano

Comitato scientifico 2022 / Scientific committee 2022
Carmen Andriani
Paola Barbera
Marco Giorgio Bevilacqua
José Calvo Lopez
Claudia Conforti
Vilma Fasoli
Sabine Frommel
Adriano Ghisetti Giavarina
Alberto Grimoldi
Tod Marder
Paolo Mellano
Valérie Nègre
Marco Rosario Nobile
Stefano Piazza
Giulio Ventura
Arturo Zaragozá Catalán

Progetto grafico ed impaginazione / Graphic design and Layout
Celia Izamar Vidal Elguera

Comitato Editoriale / Editorial committee
Margherita Antolini
Valentina Burgassi
Celia Izamar Vidal Elguera

Curatori del numero / Editors
Valentina Burgassi
Francesco Novelli
Alessandro Spila

Copertina / Cover
Scale a pozzo di palazzo Barberini, Roma
Fotografia di Marisa Tabarrini, 2022

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

Politecnico di Torino
1859
Dipartimento di Architettura e Design
Construction History Group
CHG PoliTo

indice

Prefazione
13 Valentina Burgassi, Francesco Novelli, Alessandro Spila

Introduzione
21 Michele Bonino

Scale a sbalzo e scale sospese
29 *Introduzione. Costruire scale a chiocciola in pietra nell'Italia meridionale e in Sicilia tra XV e XVII secolo: uno stato della questione*
Marco Rosario Nobile

41 Per scala commodas: *sistemi costruttivi di risalita delle torri campanarie lungo le sponde del lago d'Orta (XI e XII secolo)*
Ilaria Papa

61 *Perizia tecnica costruttiva nei monasteri cistercensi tra XII e XIII secolo: scale dei monaci e di servizio*
Silvia Beltramo

83 *La tecnica costruttiva delle scale a chiocciola nel Medioevo: scale a volta gettata, a gradino portante ed a* Vis de Saint-Gilles
Rinaldo D'Alessandro

103 *Il* caracol *quadrato in Sicilia (XVI secolo)*
Emanuela Garofalo

117 *Scale a sbalzo* a tutt'alzata *in uso in Piemonte nel Sei-Settecento*
Edoardo Piccoli

135 *Da scaloncino a scalone. La scala sospesa su volta del palazzo Fraganeschi a Cremona fra Sette e Novecento*
Alberto Grimoldi, Angelo Giuseppe Landi

153 *Tra funzione strutturale e rappresentazione architettonica: due scale di Alessandro Antonelli*
Cesare Tocci

163 *Scale a sbalzo in lastre di marmo a Torino nei primi decenni del Novecento*
Maurizio Gomez Serito, Edoardo Piccoli, Giulio Ventura

Implicazioni costruttive negli scaloni di rappresentanza in età moderna

185 *Introduzione.* Le Scale devono avere "...molto lume, chiaro & abbondante..." *(V. Scamozzi, I, III, XX, 316, 30)*
Claudia Conforti

201 *"Decoro" e necessità di "lume": comporre le facciate e illuminare le scale maggiori nel Rinascimento*
Sergio Bettini

221 «Una schalla [...] fatta chon gran spesa». *Lo scalone del castello di Udine progettato da Giovanni da Udine: materiali, tecniche e pratica di cantiere*
Federico Bulfone Gransinigh

243 *Lo scalone a pozzo quadrato "alla moderna" di palazzo Barberini a Roma nel contesto europeo*
Marisa Tabarrini

265 *Lo scalone d'onore nell'architettura civile in età barocca a Torino. Il caso di palazzo Birago di Borgaro*
Maria Concepción López González, Roberta Spallone, Marco Vitali, Fabrizio Natta, Enrico Pupi

285 *Costruire in pietra da taglio a Malta in età moderna. La scala della Biblioteca della Valletta*
Armando Antista

301 *The Inquisition Palace staircase in Birgu by Carapecchia (18th century): architecture and construction under the Order of St. John of Jerusalem*
Valentina Burgassi

319 *L'impiego delle strutture colonnari negli scaloni dei palazzi nobiliari del Settecento: la scala di palazzo Butera a Palermo (1760-1765 c.)*
Stefano Piazza, Gaia Nuccio

339 *Le due scale triangolari di palazzo Barberini. Tipologia, costruzione e ibridazione dal Pantheon al Barocco*
Alessandro Spila

359 *Dalla conversazione alla costruzione: la scala della Rotonda di Borgovico tra modelli, progetto e cantiere*
Marica Forni

379 *Tre architetti, un sovrano e uno scalone. Dispute strutturali e formali in merito al nuovo scalone del castello di Moncalieri (1816-1820)*
Paolo Cornaglia

Scale e risalite tra Ottocento e Novecento

391 *Introduzione. Non tutti imbecilli*
Gabriele Neri

397 *La Chiesa di Sant'Eusebio a Camagna Monferrato: percorsi ascensionali verso la cupola e il lanternino di Crescentino Caselli*
Carla Bartolozzi, Francesco Novelli

417 *L'evoluzione della distribuzione verticale e il cemento armato nella fabbrica industriale del primo Novecento*
Rossella Maspoli

439 *Scale e risalite verso "l'azzurro del cielo" nelle architetture-monumento dei protagonisti dell'architettura del Novecento italiano*
Gentucca Canella, Tanja Marzi

461 *La risalita all'Ottagono di Simon Mago nella Basilica di San Pietro in Vaticano: dalla chiocciola michelangiolesca all'ascensore degli anni Duemila*
Valentina Florio

475 Abstracts

Tra funzione strutturale e rappresentazione architettonica: due scale di Alessandro Antonelli

Cesare Tocci
Politecnico di Torino, Dipartimento di Architettura e Design

Le scale piemontesi a tutt'alzata, sicuramente meno raffinate dal punto di vista costruttivo rispetto ad altri episodi più nobili, sono dal punto di vista strutturale non molto diverse. La collaborazione tra i gradini costituisce infatti un carattere essenziale di questa particolare tipologia di scala a sbalzo indipendentemente dalle modalità con cui viene conseguita: non importa se mediante l'accostamento irregolare di elementi grossolanamente lavorati, perché in attesa di essere ulteriormente rifiniti, oppure attraverso la precisione stereotomica del taglio delle pietre, lasciate a vista e perfettamente a contatto per tutta l'estensione del loro aggetto.
È evidente che l'uso di gradini non accuratamente lavorati all'intradosso, perché destinati a ricevere l'intonaco o un'imbottitura, ha come esito naturale un contatto imperfetto e, tanto più, quanto più ci si allontana dall'incastro nel muro; ma questo viene comunque assicurato – contestualmente alla posa in opera o immediatamente dopo – dalla sistematica rinzeppatura del vuoto tra i gradini che ripristina il 'mutuo' soccorso tra gli elementi; così come, anche quando i gradini sono realizzati da sottili lastre lapidee, fisicamente separate, il contatto viene ristabilito dai mattoni di coltello che realizzano le alzate laterizie e consentono un comportamento d'assieme. In questo modo i carichi, soprattutto quelli concentrati dovuti al transito delle persone, agenti su un singolo gradino, possono in qualche misura essere trasmessi anche ai gradini immediatamente sottostanti, contribuendo a ridurre le sollecitazioni nel materiale lapideo rispetto allo schema dello sbalzo semplice.

L'importanza del mutuo contatto tra un gradino e l'altro verrà esplicitamente riconosciuta, a fine secolo XIX, sia da Musso e Copperi sia dal Formenti, nei loro celebri Manuali[1]. Tuttavia, la piena consapevolezza della complessità o, per meglio dire, ambivalenza del comportamento strutturale delle scale a sbalzo, caratterizzato dalla coesistenza di due distinte modalità che la struttura può scegliere di mobilitare per minimizzare il suo cimento statico, è già evidente

[1] "In queste scale i gradini sono infissi nel muro, *ciascuno di essi si sostiene di per se stesso e serve di rinforzo a quello immediatamente superiore*, essendo lo spazio fra di essi chiuso coll'alzata di muratura, cosicché restano tutti uno solidale dell'altro a partire dal primo che poggia sul ripiano, ..." (Musso Copperi 1885; il corsivo è nostro). Musso e Copperi suggeriscono inoltre di procedere al disarmo solo dopo avere realizzato le alzate, evidentemente ritenendo la collaborazione tra i gradini essenziale per conferire al loro assemblaggio riserve di resistenza aggiuntive rispetto al funzionamento a mensole indipendenti. Una attenzione analoga si riconosce in una delle bellissime tavole del Trattato di Formenti (tavola LXX, figura 6), nella quale le lastre lapidee sottili, ancora non completamente murate nella parete in costruzione e sorrette da una impalcatura lignea provvisoria, sono strutturalmente 'accoppiate' da mattoni inseriti di taglio all'estremo libero dello sbalzo (Formenti 1895).



Fig. 1. Scale a sbalzo elicoidali nella Mole, a sinistra, e in San Gaudenzio, a destra [fotografie dell'autore].

[1.]

nell'opera di Alessandro Antonelli. La cui architettura non solo fornisce una "esemplificazione delle virtualità statiche inaudite e delle possibili varianti"[2] della tipologia della scala a sbalzo ma ne propone, in alcuni casi, una sorta di *reductio ad essentiam* perfettamente coerente con il suo 'sistema' costruttivo nel quale la funzione strutturale è costantemente e deliberatamente tradotta in rappresentazione architettonica.
Lo dimostrano tre sorprendenti scale che, sebbene a tal punto scarnificate da identificarsi apparentemente con le sole lastre che realizzano le pedate, sembrano caratterizzate da un comportamento d'assieme non molto diverso – ancorché più raffinato e complesso – rispetto a quello delle scale a tutt'alzata prima descritto.
Sono le scale che nella Mole conducono, nelle due campate angolari verso via Riberi, dalla galleria degli archi parabolici alla sommità del peristilio esterno, e quella che in San Gaudenzio consentiva la risalita all'interno della lanterna, dalla sommità della cupola fino alla guglia (fig. 1).
Quest'ultima è stata purtroppo quasi integralmente demolita in occasione dei lavori di consolidamento effettuati da Arturo Danusso negli anni Trenta del secolo scorso[3]: ne sopravvive un breve tratto iniziale, all'innesto del cilindro murario – attorno al quale la scala si avvolgeva – sul castello conico di sostegno della lanterna, sufficiente però per capire che la soluzione costruttiva è praticamente la stessa.
Nel seguito faremo dunque riferimento alle due scale della Mole che oltre ad essere ancora oggi percorribili sono anche descritte in dettaglio nei bellissimi rilievi di Franco Rosso (fig. 2, a sx).

Le scale sono sorrette da colonne murarie cave che poggiano in falso sulle volte del matroneo, impostando su una lastra granitica circolare che serve a ripartirne il carico sull'estradosso della vela

[2] È quanto Franco Rosso scrive riferendosi alle scale della Mole (Rosso 1977).
[3] Calderini 2008.

[2.]

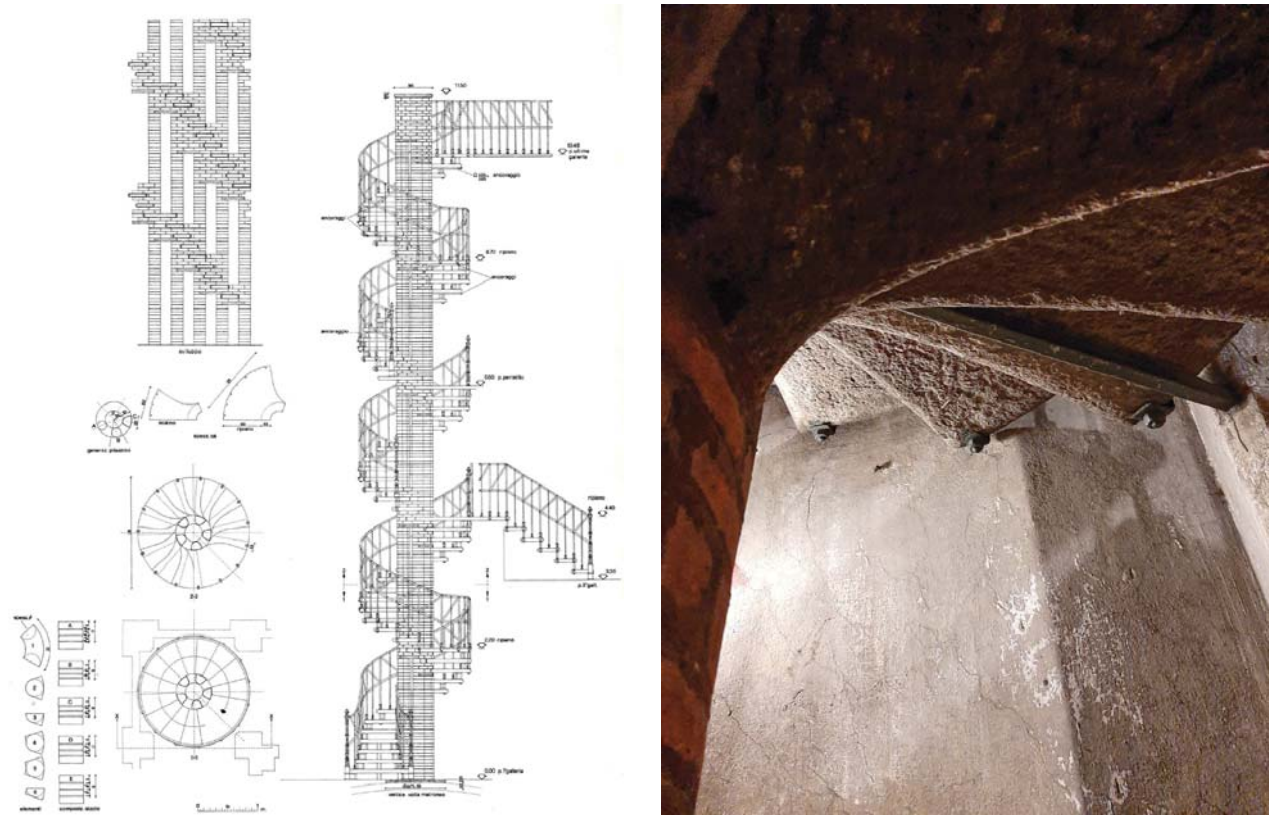


Fig. 2. Le scale elicoidali della Mole nel rilievo di Franco Rosso, a sinistra [Rosso, 1977]; i quadrelli sottoposti ai gradini che svolgono la funzione di ancoraggi alle strutture di perimetro del vano di risalita, a destra (gli ancoraggi sono evidenziati nel disegno di rilievo) [fotografia dell'autore].

muraria, smussando i picchi tensionali che sarebbero derivati da un appoggio diretto.
Le due colonne sono svuotate al punto da ridursi a uno scheletro di cinque sottilissimi pilastrini tra loro connessi da fasce murarie elicoidali di altezza appena sufficiente a fornire il peso necessario a garantire l'incastro a ventaglio dei gradini[4]. Questi sono costituiti da lastre di gneiss alte 6 cm, che sbalzano di 63 cm dalla superficie cilindrica della colonna nelle cui pareti, spesse appena 15 cm, si incastrano a tutto spessore; la rigorosa tessitura pseudo-isodoma dell'apparecchio murario della colonna, nella quale si alternano mattoni di tre altezze diverse, consente di innestare, senza sbavature, le lastre risolvendo il problema della variabilità delle alzate legata alla necessità di raggiungere quote prefissate. In prossimità dell'incastro, uno dei due lati obliqui che realizzano la forma trapezia dei gradini si trasforma in una curva concava che segue il profilo cilindrico della colonna, diventando ad essa tangente e aumentando così la superficie di incastro.

Sebbene fisicamente separate, ovvero realizzate da elementi lapidei staccati, le lastre in gneiss in realtà interagiscono non (troppo) diversamente da quelle delle scale con pedate collaboranti. L'interazione non è però continua su tutta la lunghezza della pedata – come negli scaloni principali a tutt'alzata, o nelle scale secondarie con alzata laterizia, della Mole o, ancora, nelle scale sempre con alzata laterizia che si avvolgono attorno alla base del tamburo di San Gau-

[4] Il cilindro murario di San Gaudenzio – sostituito con un altro, di maggior diametro, in cemento armato – era invece ininterrotto, salvo le feritoie che dovevano dare luce al cannocchiale sottostante.





[3.]

Fig. 3. Scale a sbalzo alla base del tamburo di San Gaudenzio, a sinistra [fotografia dell'autore], e nel Santuario di Boca, a destra [Fondo Franco Rosso, Archivio di Stato di Torino].

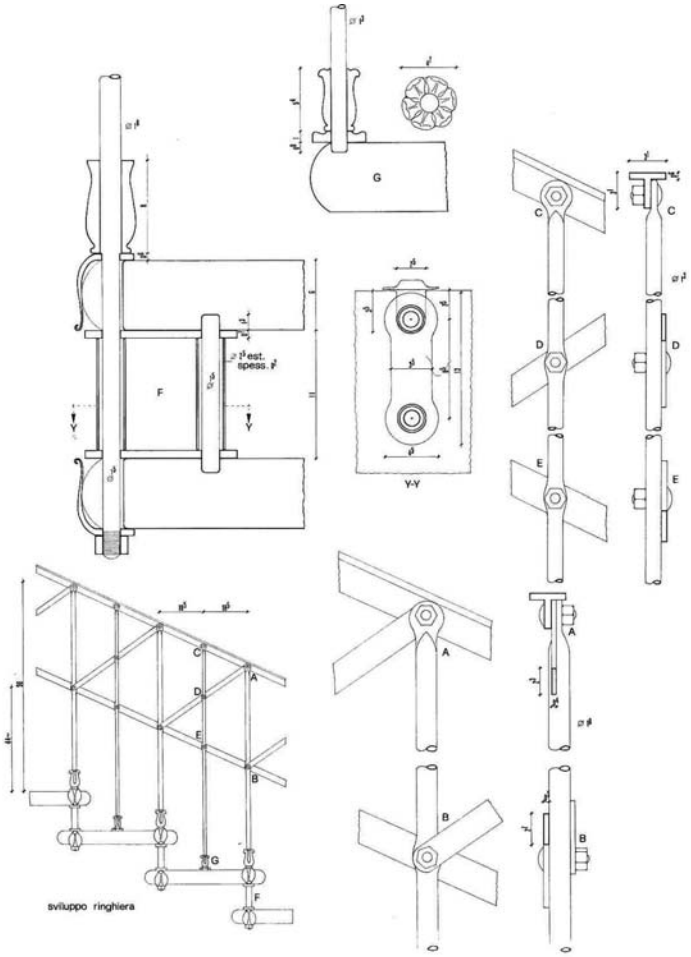
denzio (fig. 3, a sx) – ma concentrata nel punto in cui lo scambio di forze è intuitivamente più necessario, ovvero quello più distante dall'incastro.

Il contatto puntuale tra le pedate non è una novità: nel santuario di Boca lo stesso Antonelli dispone, tra lastre consecutive, all'estremo libero dello sbalzo, un solo mattone (fig. 3, a dx), soluzione poi replicata dal suo allievo Crescentino Caselli.

La novità, nelle scale elicoidali della Mole (ma anche di San Gaudenzio), è nel fatto che l'elemento di contatto tra le lastre lapidee è realizzato da perni metallici alloggiati in apposite sedi scavate nella pietra, all'intradosso e all'estradosso di due gradini consecutivi, e la sua funzione di collegamento coesiste con – o forse è dissimulata da – quella, apparentemente principale, di consentire l'ancoraggio dei montanti della ringhiera.

Ma c'è un ulteriore elemento di complessità: la modalità con cui l'ancoraggio è realizzato e la conformazione stessa della ringhiera suggeriscono la possibilità che Antonelli abbia cercato di trasformare l'interazione unilaterale (ovvero basata sul semplice contatto) tra le lastre lapidee in un collegamento bilaterale (in grado di lavorare anche in trazione) nel quale ciascun gradino può 'puntellare' da sotto, ove necessario, quello superiore ma, al contempo, 'tirare' da sopra quello sottostante.

L'elemento compresso del collegamento è, evidentemente, e semplicemente realizzato dai perni metallici. L'elemento teso è costituito dai montanti principali della ringhiera che attraversano, sull'allineamento dell'alzata, ciascuna coppia di gradini sovrapposti, passando dentro tacche scavate sul loro bordo esterno. I montanti sono bloccati in basso da un dado avvitato a contrasto contro l'intradosso del gradino inferiore della coppia e, in alto, dal mancorrente a T che svolge le funzioni di briglia superiore di un traliccio reticolare continuo, essendo la briglia inferiore costituita da una lama che corre





[4.]

Fig. 4. Scale a sbalzo elicoidali nella Mole: il sistema bilaterale di connessione tra le lastre lapidee – a sinistra nel rilievo di Franco Rosso [Rosso, 1977], a destra in una vista di dettaglio [fotografia dell'autore].

parallela al mancorrente stesso, poco più in basso, e le aste di parete dalle bandelle diagonali che le collegano (fig. 4).
La possibilità del sistema di lavorare in trazione è dunque legata alla rigidezza di questo traliccio la cui conformazione sembra suggerire precisamente questa funzione – e ci sarebbe da chiedersi, ma non in queste brevi note, se davvero sia in grado di garantirla. Supposta una imperfezione all'incastro di uno dei gradini e ammesso un conseguente, ancorché impercettibile, movimento di discesa dell'estremo libero di quel gradino, detto movimento non potrebbe avvenire – anche in assenza del perno metallico facente funzione di puntone compresso – se non trascinando verso il basso il traliccio reticolare che però, grazie ai montanti secondari ad esso vincolati, appoggia sui gradini immediatamente contigui a quello sede del cedimento.
A noi sembra che questa peculiare funzione della ringhiera sia più plausibile di quella ipotizzata da Franco Rosso quando scrive che la rigidezza che la ringhiera conferisce alla scala è "tale da consentire di ridurre ai minimi termini gli organi di ancoraggio ai supporti che ne accompagnano l'elevazione", vale a dire ai quattro fulcri angolari che definiscono l'invaso nel quale si svolge l'ascesa. In ogni caso, quale che sia il reale comportamento strutturale

[5] "Nel suo sistema, *il muro non esiste altrimenti che come mezzo di chiusura e di riparo*, il sostegno e la solidità della fabbrica è tutta raccomandata a pilastri, che danno punti di appoggio principali, ad archi, i quali formano a loro volta il contrasto dei pilastri, … un complesso di tiranti invisibile, immerso nella massa delle murature stesse, ne completa la solidità, l'invariabilità del sistema meccanico" (il corsivo è nostro) (Caselli 1888). In realtà, i muri a cassa vuota che realizzano l'involucro esterno degli edifici e delimitano i vani scala, ancorché quasi inessen-



[5.]

Fig. 5. Archi dritto-rovesci, nell'intercapedine del volto della Mole, a sinistra [Rosso, 1977], e nella cupola di San Gaudenzio, a destra [fotografia dell'autore].

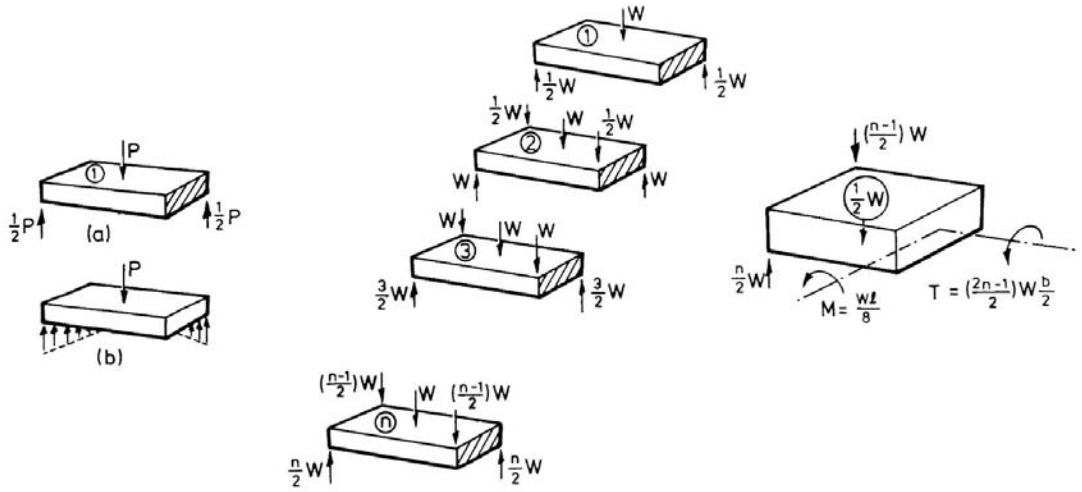
delle scale elicoidali della Mole, resta il fatto che esse sono perfettamente coerenti con l'intera visione antonelliana dell'architettura muraria.

Un'architettura ridotta all'essenziale che si identifica o, meglio, si riduce, al sostegno isolato[5] – quanto di più vicino sia stato proposto all'ideale di Laugier, da cui tanti erano stati affascinati senza riuscire a realizzarlo[6] – e non si può immaginare (né tanto meno realizzare) senza una chiara consapevolezza di quale sia il problema vero della costruzione muraria – la mancanza di connessione tra le parti – e di come esso imponga di fornire all'assemblaggio strutturale ciò di cui quello è, per sua natura costruttiva, intrinsecamente sprovvisto – e, dunque, rendendo bilaterali i vincoli interni, efficacissimi in compressione ma solo debolmente, se non per nulla, resistenti a trazione.

È questa la funzione dei tiranti invisibili, immersi nella muratura, che assicurano "l'invariabilità del sistema meccanico" a 'fulcri' isolati; o, ancor più chiaramente, degli archi dritto-rovesci incatenati che trasformano le sottili superfici laterizie della Mole, ma anche di San Gaudenzio, in veri gusci metallici irrigiditi[7] (fig. 5); infine, in una tra

ziali per portare i carichi verticali, di fatto integralmente sorretti dai pilastri, esercitano una azione di controventamento tutt'altro che trascurabile ai fini della stabilità globale.

[6] Chissà se, avendo di fronte un edificio come la casa delle colonne di Antonelli, John Summerson avrebbe smussato il suo commento su Laugier e sui tentativi, a suo parere velleitari, di tradurlo in pratica: "... nel 1753, nessun architetto avrebbe potuto proporre niente di così pazzesco che eliminare le pareti. Ma Laugier non era un ar-



[6.]

Fig. 6. Trasmissione dei carichi in una scala a sbalzo, nell'ipotesi di interazione unilaterale tra i gradini (semplice contatto), e sollecitazioni flessionali e torcenti nell'n-esimo gradino [Heyman 1995].

le espressioni forse più paradigmatiche di quell'ideale costruttivo, del sistema di collegamento tra i gradini delle scale elicoidali della Mole e di San Gaudenzio.

Ma davvero l'interazione bilaterale garantita da quel sistema consente di conseguire una maggiore efficienza strutturale? O non sta piuttosto Antonelli rappresentando, per una volta, non una funzione ma una finzione strutturale?

In una breve nota[8] dedicata alle *geometrical stairs*, Jacques Heyman sviluppa con la consueta, disarmante, chiarezza alcune semplici considerazioni sul comportamento statico delle scale a tutt'alzata che possono aiutare a inquadrare il problema. Assumendo che le imperfezioni inevitabilmente connaturate a qualunque struttura reale – e associate alle sue caratteristiche geometriche, alle proprietà dei materiali, alle condizioni di vincolo – siano tali da impedire un funzionamento a mensole indipendenti, Heyman mostra come i gradini di una scala a sbalzo possano comunque trovare una configurazione equilibrata appoggiandosi l'uno sull'altro e trasmettendosi delle azioni di contatto. Queste si presentano sotto forma di coppie torcenti (fig. 6) che si propagano verso il basso, sommandosi[9], e fanno sì che al comportamento flessionale delle singole mensole si possa associare il comportamento torsionale del loro assemblaggio. Se allora si immagina che uno solo dei gradini subisca un piccolo abbassamento – quello elastico banalmente dovuto al sovraccarico istantaneo indotto dal transito delle persone, o quello plastico associato a un piccolo cedimento del vincolo di incastro – estendendo il ragionamento di Heyman e, immaginando che le lastre lapidee possano scambiarsi anche delle forze di trazione, quel gradino avrebbe la possibilità di appoggiarsi sul gradino sottostante e di essere appeso a quello sovrastante. L'interazione di contatto, a questo punto bilaterale, implicherebbe il coinvolgimento non solo dei gradini inferiori a quello in esame ma anche di quelli superiori, con l'innesco di coppie torcenti di segno opposto ma, in modulo, pari esattamente alla metà di quelle relative al caso monolaterale (gradini solo appoggiati)[10] (fig. 7).

chitetto; era un filosofo e parlava in astratto. Sapeva naturalmente che le pareti non si potevano eliminare …" (Summerson 1971).

[7] "Tutta la costruzione laterizia in quest'opera [*la Mole, ndr*] assimila le costruzioni metalliche, per cui un Ingegnere ginevrino assai distinto dissemi: Che se non esistesse l'architettura metallica, essa sarebbe divinata in questa costruzione" (Antonelli 1874; citato in Rosso 1989).

[8] Heyman 1995.

[9] Per il semplice fatto che, scendendo, si aggiunge un numero crescente di gradini. Tuttavia, muovendosi verso il basso, la flessione su ciascun gradino rimane inalterata (e sostanzialmente modesta) perché le singole forze che realizzano le coppie torcenti sono più intense, ma si elidono a vicenda; mentre la torsione si accumula e può condurre, per rampe sufficientemente lunghe – e nell'ipotesi (sicuramente troppo penalizzante), di un difetto generalizzato all'incastro di tutti i gradini – a valori incompatibili con la resistenza del materiale.

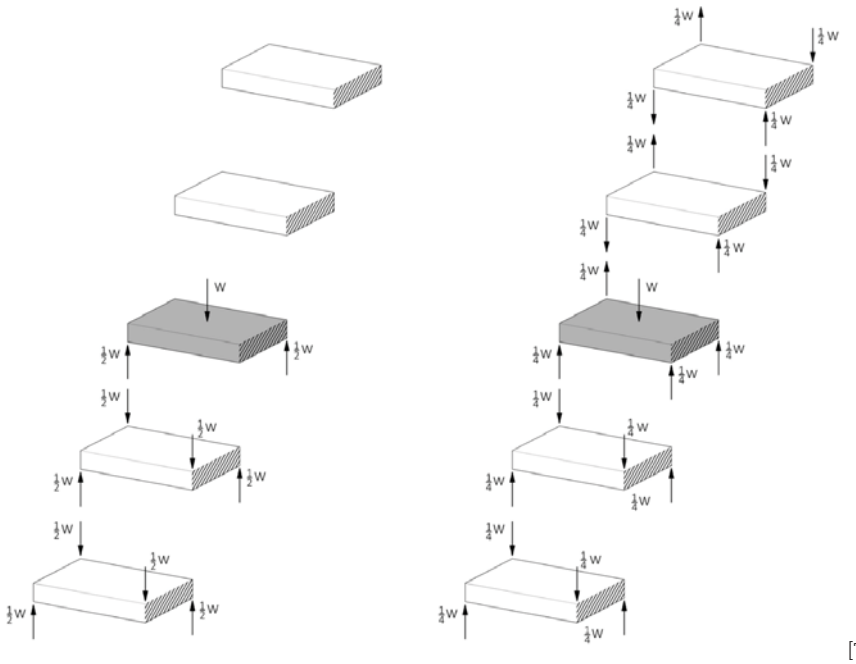


Fig. 7. Interazione unilaterale (a sinistra) e bilaterale (a destra) dei gradini di una scala a sbalzo, nell'ipotesi di cedimento localizzato in uno dei gradini (evidenziato in grigio) [disegno dell'autore].

[7.]

Non c'è modo di sapere quale sia il funzionamento effettivo dei gradini e quale la reale distribuzione delle forze interne nella scala[11].
Si potrebbe pensare – estendendo la famosa metafora antropomorfa con la quale lo stesso Heyman illustra il teorema statico dell'analisi limite[12] – che, avendo a disposizione una molteplicità di possibili meccanismi resistenti, la scala possa mobilitare di volta in volta quelli che le permettono di minimizzare le sollecitazioni interne: così il mutuo contatto tra i gradini consentirebbe di fronteggiare eventuali piccoli assestamenti delle sezioni di incastro e, al contempo, il funzionamento a mensola aiuterebbe a ridurre le sollecitazioni torcenti associate a quegli stessi assestamenti.
Da questo punto di vista il sistema bilaterale antonelliano si può leggere come un potenziamento delle riserve di resistenza sulle quali la scala può contare nell'ipotesi che i gradini interagiscano tra loro per contatto semplice (unilaterale). Con analogo ragionamento – e con la consapevolezza che l'argomentazione rischia di diventare un po' forzata – anche gli organi di ancoraggio che collegano le scale ai fulcri di perimetro potrebbero trovare una più articolata giustificazione: essendo realizzati con quadrelli metallici sottoposti ai gradini, essi consentono di considerare, come lunghezza libera delle rampe, la distanza tra gli organi stessi e di ridurre conseguentemente – nel tratto superiore delle scale, dove la distanza tra i pianerottoli della seconda e dell'ultima galleria sarebbe eccessiva (fig. 2, a dx) – l'accumulo di tensione associato, nel modello di Heyman, al comportamento torsionale.
È come se Antonelli – che per la Mole, ricorda Nascè, non presentò mai nessun calcolo –assunta come ineludibile l'impossibilità di prevedere come davvero si propaghino le forze all'interno di una struttura muraria, abbia inteso moltiplicare (prudenzialmente) i vincoli

[10] Per le scalette elicoidali della Mole, le tensioni di trazione associate al funzionamento torsionale dei gradini valgono nei due casi – di interazione unilaterale e bilaterale – circa 0.19 e 0.10 MPa; quelle flessionali associate al funzionamento a mensola circa 0.70 MPa. Per una diversa giustificazione del beneficio derivante dalla natura bilaterale del contatto tra i gradini si veda: Jurina, et al. 2016.

[11] "If the exact geometry of the each tread were known, together with its elastic properties; if the stair had been perfectly constructed, or alternatively surveyed to find its actual state; if the elasticity and other properties of the support walls had been ascertained; if, in short, a complete knowledge of the stair were available, then, in theory, a laborious calculation would yield the values of the forces in the stair. Even so, such a calculation would be valid for only a limited period; small accidental settlements, for example, can lead to marked changes in internal force systems. *All this is well known to structural analysts (although it is sometimes hidden from view behind computer packages)*, and leads to the adoption of simple equilibrium systems such as that shown in Fig. 5a" (il corsivo è nostro). L'ironia di Heyman sui "computer packages" che nascondono, dietro le rassicuranti schermate colorate degli output del calcolo, la realtà (inafferrabile) del comportamento strutturale, trova un parallelo tagliente nel commento di Antonino Giuffrè ai (raffinati) calcoli che egli stesso, da analista strutturale di altissimo livello, aveva effettuato per il restauro della Cattedrale di Sant'Angelo dei Lombardi danneggiata dal terremoto del 1980: "Questa conclusione (*quella derivante dal calcolo, ndr*) non differisce da quella che si era raggiunta basandosi sull'esame della stessa struttura dan-

su cui la struttura stessa può contare in modo da consentirle di scegliere tra diversi percorsi di equilibrio.
Nulla vi è però di eccessivo, dal punto di vista dimensionale, in quei percorsi che sono solo numericamente ridondanti ma sono realizzati mediante sezioni strutturali ridotte al minimo.
Franco Rosso scrive che Cimbro Gelati[13], quando identifica nella resistenza della pietra e non nella lunghezza dell'incastro nel muro il limite dell'efficienza statica della tipologia a sbalzo, proponendo una lunghezza di incastro non superiore a 25 cm[14], stia recependo una innovazione di Antonelli[15]. Che incastra gli scaloni della Mole, distrutti durante il consolidamento degli anni Trenta (e che sbalzavano di oltre 2 m), per 23 cm – in muri che, internamente, erano tramezzi dello stesso spessore; e le scale elicoidali per soli 15 cm.
La lunghezza di incastro è evidentemente essenziale nel funzionamento flessionale, assai meno in quello torsionale. Con riferimento al primo, è sufficiente un semplicissimo calcolo per riconoscere che le sollecitazioni in una mensola lunga 1.5 m, e incastrata per 25 cm, sono di quasi due ordini di grandezza più elevate di quelle nel materiale murario dell'incastro[16]. Lunghezze di incastro maggiori sarebbero dunque perfettamente inutili così come sarebbe superfluo – a meno di altre esigenze – uno spessore del muro superiore a quello dell'incastro, purché l'altezza della parete sopra l'incastro sia tale da evitare il ribaltamento (non a caso, l'ultimo metro del cilindro cavo che regge le scale elicoidali nella Mole è pieno).
Ma questo semplice controllo anche Antonelli avrebbe potuto effettuarlo. E chissà che non lo abbia effettuato, senza poi presentare – troppo banali – i calcoli.

neggiata. Si può dire che la conferma, *o forse che ne è confermata*" (il corsivo è nostro) (Carocci Tocci 2010).

[12] "If a structure can stand, then it will" (Heyman 2022). Vale la pena ricordare che la validità dei teoremi dell'analisi limite è subordinata alla capacità della struttura di sopportare un certo livello di deformazione ovvero di esibire una certa duttilità; l'estensione degli stessi teoremi alle costruzioni murarie storiche è dunque generalmente lecita, ma la fragilità del comportamento meccanico del materiale lapideo e il suo utilizzo in tipologie (come le scale a sbalzo) dotate di una ridotta quantità di vincoli impongono una certa cautela.

[13] Gelati 1899.

[14] In contrasto con la regola di Curioni che suggeriva 1/5 dello sbalzo, per scalini più lunghi di 1.5 m, e comunque non meno di 30 cm quando gli scalini sono più corti.

[15] Formenti però riporta anche la pratica diffusa in Lombardia, di usare incastri di 15 o 25 cm a seconda che la luce sia minore o maggiore di 1.2 m (quest'ultima vista comunque come massima).

[16] E agiscono su un materiale il cui comportamento è intrinsecamente fragile (cfr. 12). Di là da qualsiasi altra considerazione, è questo un motivo di problematicità delle scale a sbalzo, soprattutto quelle realizzate in lastre sottili: nonostante gli eccezionali valori di resistenza della pietra – paragonabili, come ordine di grandezza, in compressione, a quelli dell'acciaio e, dunque, in trazione (assumendo un decimo degli altri), a quelli del legno – è la natura fragile del comportamento meccanico a fissare dei limiti invalicabili all'utilizzo di questa peculiare tipologia e ad averne decretato, infine, l'abbandono.

Bibliografia

Antonelli 1874
Alessandro Antonelli, 1874; citato in Franco Rosso, *Alessandro Antonelli (1798-1888)*, Milano: Electa, 1989.

Calderini 2008
Chiara Calderini, "Use of reinforced concrete in preservation of historic buildings: conceptions and misconceptions in the early 20th century", *International Journal of Architectural Heritage*, 2:1, 25-59, 2008, DOI: 10.1080/15583050701533521.

Carocci Tocci 2022
Caterina F. Carocci, Cesare Tocci, *Antonino Giuffrè. Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro*, Roma: Gangemi, 2010.

Caselli 1888
Crescentino Caselli, *Alessandro Antonelli, Architetto*, Torino: Tip. Camilla e Bertolero, 1888.

Formenti 1895
Carlo Formenti, *La pratica del fabbricare*, Milano: Hoepli, 1895.

Gelati 1899
Cimbro Gelati, *Nozioni pratiche ed artistiche di architettura*, Torino: Tip. Camilla e Bertolero, 1899.

Heyman 1995
Jacques Heyman, "The mechanics of masonry stairs", *Transactions on the Built Environment*, vol 15, 1995, pp. 259-265.

Heyman 2022
Jacques Heyman, *Skeletons. A technical autobiography written for instruction and entertainment*, Roma: Storia e Letteratura, 2022.

Jurina *et al*. 2022
Lorenzo Jurina, Andrea A. Bassoli, et al., *Le scale negli edifici storici criteri e tecniche di consolidamento*, CIAS – Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale-Scientifico, Lisbona, 22-28 maggio 2016.

Musso Copperi 1885
Giuseppe Musso, Giuseppe Copperi, *Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati*, Torino: Paravia, 1885.

Rosso 1977
Franco Rosso, *Alessandro Antonelli e la Mole di Torino*, Torino: Stampatori, 1977.

Summerson 1971
John Summerson, *Il linguaggio classico dell'architettura*, Torino: Einaudi, 1971.

Torino dicembre 2022
Politecnico di Torino

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 CHG e ne supportano le attività scientifiche e didattiche.

Valentina Burgassi è architetto e storico dell'architettura di età moderna. Ricercatrice postdoc all'École Pratique des Hautes Études (Paris) in *Histoire de l'Art*, assegnista presso il centro di ricerca Construction History del Dipartimento di Architettura e Design (Politecnico di Torino), ha conseguito un doppio Dottorato di Ricerca (in *Beni Architettonici e Paesaggistici* al Politecnico di Torino e in *Histoire de l'Art all'École Pratique des Hautes Études*) e una specializzazione post-laurea in *Beni Architettonici e del Paesaggio*. È stata *boursière* all'*École Française de Rome* (2018), borsista al *Palladio Museum* (2020) ed è parte di *équipes* di ricerca nazionali (*Construction History* CHG) ed internazionali (*Histara, GIS Patrimoines Militaires*).

Francesco Novelli architetto, Ph.D., specialista in *Storia, Analisi e Valutazione dei Beni Architettonici e Ambientali*, architetto, è ricercatore in restauro architettonico presso il DAD Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino dove insegna in qualità di professore titolare nei corsi teorici ed ateliers progettuali nei corsi di laurea in Architettura. Svolge ricerche ed è autore di monografie e saggi scientifici su temi riguardanti il restauro dei beni architettonici, la tutela e conservazione del patrimonio architettonico religioso e fortificato, il progetto di rifunzionalizzazione e valorizzazione in interventi complessi di restauro. Ha progettato e diretto numerosi interventi di restauro.

Alessandro Spila è stato ricercatore di Storia dell'Architettura presso il Politecnico di Torino (2019-2022), Marie Curie Individual Fellow presso la Humboldt Universitat di Berlino (2015-2017), è attualmente Incaricato di ricerca presso il Centro Studi sulla Cultura e l'Immagine di Roma. Ha conseguito a Roma nel 2010, presso l'Università La Sapienza il dottorato di ricerca in Storia e Restauro dell'Architettura, dalla quale ha pubblicato il recente volume *Palazzo Colonna nel Settecento Architettura e potere nella Roma del secolo dei Lumi* (De Luca 2020). Membro del Construction History Group, del Comitato Scientifico della rivista Studi sul Settecento romano e degli Annali dell'Accademia di San Luca è stato titolare di contratti di docenza presso l'Università Sapienza di Roma.

ISBN 978-88-85745-88-9

