

From the Document to Knowledge: the Constructive History of the Wooden Ring of the Dome of Santa Maria del Fiore

Federica Ottoni (Università degli Studi di Parma), Sofia Celli (Politecnico di Milano)

The paper presents the results of the research recently carried out on the chestnut chain of Santa Maria del Fiore dome, in Florence: probably the less investigated element of Brunelleschi's masterpiece. Thanks to the recent laser-scanner survey of the chain - carried out by the Opera del Duomo in Florence (studio Scaletti, Florence) - it has been possible to reconstruct the history of a really peculiar artifact (for materials and configuration) which always accompanied the debates on the stability of the dome, without ever becoming the protagonist. By comparing the results to historical treatises, the attempt was to date the different constructive elements of the wooden ring, thus enhancing the global knowledge on the dome. The analysis of the detailed notes drawn up by the workers led to localize the interventions on the chain. This allowed to distinguish the original technologies from the further interventions, thus mapping the technical advances that have taken place in the meantime during the centuries. In particular, the investigation carried out on a specific joint (E) aims to demonstrate the validity of a research method, which finds in the monument itself the first document of its complex history.

Dal documento alla conoscenza: la storia costruttiva della cerchiatura lignea della cupola di Santa Maria del Fiore

Federica Ottoni, Sofia Celli

L'indagine su di un manufatto e sulle sue evoluzioni, finalizzata alla sua conservazione, è una questione complicata; specialmente quando questo sia stato considerato per secoli forse il meno importante tra tutti gli elementi costruttivi di un capolavoro riconosciuto.

È il caso della catena lignea della cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze, che qui si vuole raccontare nel tentativo di dare giusta luce a un presidio la cui efficacia non mai è stata univocamente riconosciuta, forse nemmeno dal suo progettista.

I risultati qui presentati sono l'esito di una più ampia campagna d'indagine condotta recentemente sulla catena lignea di Santa Maria del Fiore, su indicazione e con il supporto dell'Opera del Duomo di Firenze, in collaborazione con Carlo Blasi e lo Studio Scaletti (Firenze) per la parte relativa all'indagine dimensionale. La ricerca documentale condotta sulla catena è riportata nella tesi di Dottorato di Sofia Celli, *La catena di castagni della cupola di Santa Maria del Fiore. Dall'analisi storico-costruttiva alla definizione di uno strumento informativo a supporto della conservazione e del restauro*, Dottorato di ricerca in Ingegneria Civile e Architettura, Ciclo XXXIII, Tutor: Federica Ottoni e Carlo Blasi (discussa a Marzo 2021).

Il testo è stato pensato in maniera unitaria dalle due autrici, tuttavia nel tradurre gli esiti della ricerca in testo scritto, a Federica Ottoni è dovuta l'introduzione e i paragrafi *Il caso studio: la cerchiatura lignea di Santa Maria del Fiore e Conclusioni*; a Sofia Celli i paragrafi *Un necessario confronto: costruzione dell'abaco dei giunti, tra analisi storica e dato rilevato e I giunti ottocenteschi (tipologia E): per la validazione di un metodo*.

Le autrici devono ringraziare l'Opera del Duomo di Firenze per l'importante occasione di studio e per l'accesso, in anteprima, ai risultati dell'approfondito rilievo geometrico della catena lignea, commissionato dall'Opera stessa allo studio Scaletti (Firenze) nell'ambito di una campagna di indagini più ampia sulla catena, finalizzata alla sua conservazione. Doveroso è poi il riconoscimento del ruolo di Carlo Blasi nel processo complessivo di conoscenza della Cupola del Brunelleschi e in questo studio in particolare. Anche a lui, sempre, va il ringraziamento delle autrici.

Accade, in questi casi, che in un'abbondanza di documentazione, si debba fare lo sforzo aggiuntivo di identificare, tra i diversi documenti, quelli in cui (tra le tante questioni) quel singolo elemento viene citato, in indagini archivistiche che vedono il tempo e la durata, al pari del caso, influenzare gli esiti della ricerca.

Come spesso succede poi, è il monumento (in un recupero tutto etimologico del termine) a fare da documento delle proprie evoluzioni e a fornire tracce delle trasformazioni storiche subite attraverso una diretta osservazione della sua geometria, oltre che dei relativi danni e deformazioni, prima ancora che nella documentazione degli stessi. Si deve procedere, insomma, su un duplice piano, in un continuo raffronto tra l'osservazione dettagliata del manufatto e il suo racconto nei documenti, sempre passando attraverso una quanto mai necessaria operazione di traduzione delle misure rilevate in quelle equivalenti nelle unità di misura originarie, in un passaggio mensio-cronologico indispensabile per datare precisamente interventi e variazioni.

Il ricco apparato documentale custodito nell'archivio dell'Opera del Duomo di Firenze conserva ben nascosti i documenti riguardanti la catena lignea e solo una minuziosa comparazione di misure (riportate nei documenti e rilevate con precisione nel manufatto) permette la conferma del dato storico, una volta identificati (non senza sforzo) i singoli elementi che la compongono. Spesso, il passaggio infatti è ulteriore e altre strutture (e documenti) – simili per configurazione costruttiva e per datazione – vengono in aiuto, procedendo così per assonanze nel tentativo di supportare ipotesi che devono essere validate su entrambi i fronti: la documentazione storica e l'aderenza alla realtà materiale, rilevata.

Qui di seguito è esposto il percorso analitico che ha portato alla datazione dei diversi elementi che compongono la catena lignea della cupola del Brunelleschi, considerandone lo sviluppo e le connessioni metalliche, che rappresentano il punto più critico, e ancora tutto da valutare staticamente, del comportamento della struttura nella sua opposizione al meccanismo di spinta della cupola. In particolare, si è voluto documentare qui il processo di datazione di uno specifico giunto di epoca ottocentesca, preso nel seguito ad esempio, tra quelli studiati, per illustrare il metodo utilizzato nella ricerca.

Questo contributo intende riaffermare il valore testimoniale del monumento, primo e più autentico documento di sé stesso.

Il caso studio: la cerchiatura lignea della cupola di Santa Maria del Fiore

La complessa geometria di Santa Maria del Fiore è ben nota almeno dagli anni Ottanta¹ e studi più recenti hanno ulteriormente indagato alcune questioni², chiarendo materiali e organizzazione costruttiva del magnifico sistema della cupola brunelleschiana di due calotte (una interna più massiccia e una esterna più sottile), collegate strutturalmente da massivi e massicci costoloni, che Brunelleschi ha inventato per risolvere il problema della sua costruzione. Altrettanto noti sono i “trucchi” escogitati da Brunelleschi per rispondere ai rischi sottesi alla complessa soluzione strutturale che aveva realizzato³, primo fra tutti la sua poderosa spinta. Le invenzioni escogitate e messe in campo partono certamente da una profonda conoscenza geometrico-proporzionale⁴ – utilizzata per il sapiente dimensionamento della cupola e della sua intercapedine – passando per il miglioramento tecnico della muratura e del modo di apparecchiarla, che risponde non solo a un problema costruttivo, ma anticipa – magari non quantitativamente ma sicuramente sul piano intuitivo del senso statico⁵ – il funzionamento perfetto di una cupola di rotazione⁶.

Tutto deriva evidentemente dalla tecnologia costruttiva romana, osservata e studiata da Brunelleschi, che, nel caso tuttigli artifici costruttivi messi in campo per opporsi alla spinta non avessero funzionato, inserisce un terzo sistema, articolato in tre ordini di cerchiatura, di cui la catena lignea fa parte⁷.

1. SANPAOLESI 1962; RAGER, SCAGLIA 1970; DI PASQUALE 1977; SAALMAN 1980; MAINSTONE 1980; CHIARUGI, QUILGHINI 1984; RICCI 1989.

2. DALLA NEGRA 2004; FANELLI, FANELLI 2004; GIORGI MATRACCHI 2006; GIORGI, MATRACCHI 2008; CONTI, CORAZZI 2011.

3. OTTONI 2012.

4. Partendo dall'applicazione dei rapporti corretti tra spessore e diametro della cupola (tra loro nel rapporto di 1/10 alla base e decrescenti fino a 1/12 al colmo, in una trascrizione proporzionale del vicino Battistero di San Giovanni), Brunelleschi riesce a ridurre a un unico centro il riferimento geometrico per il tracciamento e insieme la costruzione delle otto vele, unendo così alla capacità di prefigurazione matematica l'invenzione tecnologica di centine rampanti. Vedi CHIARUGI, QUILGHINI 1984; CHIARUGI 1984.

5. In Brunelleschi Paolo Rossi legge un primo passaggio da “tecnicismo empirico” a “scienza di pre-visione”, ROSSI 1962, p. 40. Sulle conoscenze statico-matematiche di Brunelleschi vedi anche SANPAOLESI 1978.

6. È noto che, per evitare soluzioni di continuità in corrispondenza degli spigoli della sua cupola ottagonale, Brunelleschi sceglie la particolare disposizione dei letti di posa a “corda blanda”, determinata dall'intersezione tra i coni e le superfici cilindriche, con l'obiettivo di evitare la creazione di zone deboli in corrispondenza degli sponi angolari (che anche intuitivamente avevano un ruolo fondamentale nella stabilità della cupola, soprattutto in fase costruttiva). Sarebbe poi ingeneroso liquidare come semplice stratagemma costruttivo (per voltare la cupola senza centine di sostegno) l'adozione della particolare disposizione dei mattoni a spinapesce, il cui sviluppo in eliche radiali – che seguono, con le normali ai giunti di malta, le linee isostatiche all'interno della calotta – crea di fatto una cupola di rotazione nello spessore dei muri. Vedi CHIARUGI 1984; FANELLI, FANELLI 2004; PIZZIGONI 2014.

7. Vasari ritiene che anche l'utilizzo delle cerchiature, almeno quella iniziale di macigno, sia stato ispirato a Brunelleschi dallo studio delle rovine antiche di Roma: «Ne restò che non fusse disegnata da lui ogni sorte di fabbrica [...] da' quali cavò le cignature et incatenature, e così il girarli nelle volte». VASARI 1966-1987, III, p. 233.

Un primo ordine è rappresentato dalla catena di macigno inserita tra il primo e il secondo camminamento, costituita da sei cerchiature in “pietra forte”, saldamente unite tra loro da staffe in ferro. Lo scopo è incrementare la resistenza a trazione dei pannelli murari della cupola, proprio lì dove gli sforzi sono maggiori, e insieme creare le solide basi necessarie per gli avanzamenti successivi della costruzione, scongiurando i problemi derivanti da eventuali discontinuità nella massa muraria, che potrebbero rappresentare altrettanti punti di minore resistenza. Anche se non direttamente osservabili, dai quaderni di cantiere si ha notizia di «grossi ferrj», che dovevano seguire e collegare i macigni da mettere «d’intorno la detta volta co’ loro sproni»⁸.

Un secondo sistema di cerchiatura, ancora più nascosto e non univocamente considerato dagli studiosi, è rappresentato dal funzionamento “a piattabanda” pensato per ciascuno dei lati del padiglione della cupola⁹.

In questo articolato sistema cerchiante, l’unico stratagemma visibile, e certamente il più tradizionale, è la catena lignea, che Brunelleschi inserisce – ispirandosi all’esempio del vicino battistero di San Giovanni – in una posizione più efficace, a trattenere i paralleli della cupola effettivamente soggetti a trazione. L’accorgimento strutturale delle catene, chiamate a contenere le spinte laterali e contrastare le tensioni di trazione che si sviluppano fisiologicamente alla base delle cupole, è ricorrente. Sono elementi corroboranti, dimensionati per via intuitiva più che per calcolo (almeno fino all’intervento del Viviani a fine Seicento) e citati dall’Alberti come «legamenti che girano attorno ai muri per tutta la loro lunghezza per tenere stretti gli angoli e incatenare la struttura dell’opera».¹⁰

Un po’ meno ricorrenti sono le catene lignee, presenti certamente nella tradizione costruttiva araba e meridionale, ma non così frequenti nella Firenze del XV secolo. La scelta di utilizzare il legno in luogo del ferro nella realizzazione delle catene è effettivamente peculiare, soprattutto alla luce del fatto che tiranti metallici erano comunemente posti in opera nella costruzione di archi e volte¹¹. Diversi studiosi ritengono che l’idea di utilizzare una cerchiatura lignea sia stata mutuata, oltre che dal vicino battistero di San Giovanni, dalle cupole del Medio Oriente, dove dispositivi analoghi sono più frequenti¹². Per

8. Nei quaderni di cantiere riportati da Cesare Guasti si rintracciano le dimensioni delle catene di macigno, costituite da blocchi di 44 x 44 cm (¾ di braccio quadrato), e della lunghezza variabile tra 58 cm (1 braccio) e 232 cm (4 braccia). Probabilmente erano tra loro vincolati da staffe metalliche, GUASTI 1857, p. 126.

9. FANELLI, FANELLI 2004; OTTONI *ET ALII* 2016.

10. ALBERTI 1452, Libro III, cap. IX, p. 210.

11. Nella stessa cattedrale fiorentina, già nel 1367, si era operato secondo questa modalità al fine di consolidare le volte delle navate lungo le quali erano state rilevate delle lesioni (GIORGI, MATRACCHI 2006, pp. 296-297). Vedi, tra le altre, una interessante discussione sull’uso delle catene in SANTUCCI 2013.

12. In particolare, sono state rilevate importanti affinità con il mausoleo di Oljaitu a Soltaniye. Sulla questione vedi

quanto riguarda il territorio italiano, l'impiego di cerchiature lignee risulta invece particolarmente raro: sebbene si registri una certa diffusione di radiciamenti e tiranti in legno, le cerchiature fiorentine di Santa Maria del Fiore e di San Giovanni sembrano rimanere, almeno a conoscenza di chi scrive, le due principali testimonianze materiali di questo elemento costruttivo¹³.

Nonostante sia il più visibile tra i sistemi di cerchiatura utilizzati, la catena lignea è forse l'elemento costruttivo meno noto e studiato del capolavoro brunelleschiano, così come non è del tutto chiara la paternità dell'idea, né l'effettiva convinzione della sua efficacia da parte dell'ideatore¹⁴.

Nell'originale programma costruttivo del 1420¹⁵, infatti, si legge che quella inserita doveva essere la prima di quattro «catene di quercia grosse»¹⁶ da posizionarsi nella cupola ogni 12 braccia in altezza (circa 7 metri), per garantire una migliore connessione tra i ventiquattro costoloni e contrastare la spinta orizzontale. Tuttavia, poiché «nel murare la pratica insegna quello che si ha da seguire»¹⁷, il progetto iniziale viene modificato in corso d'opera e quella osservabile a tratti, a circa 4 metri dal primo camminamento della cupola, è l'unica delle quattro catene originariamente previste, a essere stata realizzata (fig. 1). I documenti non riportano informazioni utili a capirne il perché, né consentono di datare precisamente quando sia avvenuto questo cambio di programma. Nel programma costruttivo del 1426¹⁸ non si fa alcun esplicito riferimento alle catene di quercia, ed è in quella stessa occasione che le «volticciuole a botti» al di sotto delle quali dovevano essere posizionate originariamente le catene, vengono sostituite con archi orizzontali, rendendo così molto difficile il loro inserimento. Non è tuttavia da escludere che la decisione di rinunciare alle successive tre catene previste sia precedente, dato che già negli emendamenti del 1422¹⁹ ci si riferisce alla catena come "la" sola da inserirsi intorno alla cupola e non "una" delle quattro previste.

TAMPONE 1996, pp. 25-256; MAINSTONE 1970, p. 123; MAINSTONE 1980, pp. 886-888; SAALMAN 1980, pp. 80-82.

13. È possibile che, come accennato da Poleni (POLENI 1748, col. 112-113, par. 186), anche la cupola di San Marco a Venezia fosse dotata di una cerchiatura lignea, oggi scomparsa.

14. La rinuncia a realizzare le altre catene previste avviene dopo l'allontanamento di Lorenzo Ghiberti dal cantiere e questo potrebbe far pensare a una partenità ghibertiana delle cerchiature lignee, anche se la questione è ancora da indagare.

15. Archivio di Stato di Firenze (ASF), Arte della Lana 149, cc. 59v-60r. Una trascrizione è pubblicata in FANELLI 2004, pp. 20-21.

16. «E a l'altezza d'ogni dodici braccia o circa delle decte volte sono volticciuole a botti tra l'uno sprone e l'altro per andito intorno alle decte cupole; e sotto le dette volticciuole tra l'uno sprone e l'altro sono catene di quercia grosse che legano i decti sproni e in su decti legni una catena di ferro», ASF, Arte della Lana 149, cc. 59v-60r.

17. *Ibidem*.

18. Firenze, Archivio dell'Opera di Santa Maria del Fiore (AOSMF), II.2.1, cc. 170v-171.

19. AOSMF, II. 1.80, c. 17v.

La questione è interessante, non solo dal punto di vista dello studio del manufatto, ma perché sollecita interrogativi sul ruolo strutturale della catena stessa. Si potrebbe pensare, non senza una certa presunzione, che lo studio della reale efficacia statica della catena lignea nel meccanismo di contrasto alla spinta della cupola, possa continuare idealmente quel dibattito che la coinvolse alla fine del Seicento, quando la Commissione Granducale propose di cerchiare la cupola, questa volta con quattro ordini di catene di ferro, per scongiurarne il crollo²⁰.

Nemmeno alla fine di quel dibattito, che insieme ad altri ha rappresentato il passaggio dall'intuizione alla scienza del costruire, si arrivò a una conclusione e la cupola del Brunelleschi rimane di fatto l'unica, tra le grandi cupole in muratura (insieme a quella del Pantheon romano, che pure solo in muratura non è) a non essere stata cerchiata dopo la sua costruzione.

Anche nel caso della catena lignea si può parlare di un dibattito, non ancora risolto, in merito alla sua reale funzione: centina, magari temporanea, o vera e propria cerchiatura strutturale?

Gli studiosi che nel corso dei secoli se ne sono interessati, si sono inseriti in questo dibattito cercando di risolvere la questione, basandosi però su osservazioni di carattere generale più che su indagini sistematiche. Diverse sono le considerazioni relative alla posizione della catena, alle dimensioni dei suoi componenti, alla facilità di manutenzione, alla durabilità del legno²¹, ma, in nessuna di quelle occasioni di studio si sono eseguiti precisi rilievi geometrici del manufatto, né è sembrato centrale indagarne la storia costruttiva e ritracciare la cronologia delle trasformazioni subite²².

A ben vedere, la catena rientra in una lunga storia iconografica e documentale, ma sempre come elemento di corredo. Quello di Antonio da Sangallo il Giovane²³ è forse il primo tra i disegni della catena lignea, anche se la maggior parte delle rappresentazioni successive si rifà piuttosto al rilievo eseguito, alla fine del Seicento, da Giovan Battista Nelli che per primo ne rileva andamento, connessioni angolari e stato di conservazione (fig. 2), nel tentativo di studiare la stabilità della cupola. Il disegno di Giovan Battista Nelli, dato alle stampe nel 1733²⁴ è stato più o meno riproposto da tutti

20. GALLUZZI 1977; BARBI, DI TEODORO 1989; DI TEODORO 2011; OTTONI 2012; DI TEODORO 2021.

21. Vedi, a titolo esemplificativo, gli scritti di Francesco Fontana (F. FONTANA, *Relazione dell'ultima visita del cav. Francesco Fontana*, AOSMF, III.1.19, *Suppliche, Rescritti e Ordini del Governo*, fasc. 305), Alessandro Cecchini (NELLI 1753, pp. 81-82), Bartolomeo Vanni (B. VANNI, *Considerazioni sopra la stabilità della gran cupola del Duomo di Firenze...*, Firenze, Biblioteca Riccardiana di Firenze, Ms. Riccardiano 2141, cc. 46r., 62r., 59v.), Leonardo Ximenes (XIMENES 1757, LIBRO II, CAPO V, p. 158).

22. DALLA NEGRA 1995; DALLA NEGRA 2004.

23. Il disegno della catena per mano di Antonio da Sangallo il Giovane è conservato presso il Gabinetto dei Disegni e delle Stampe di Firenze, 1164 Av.

24. SGRILLI 1733, tav. VII.

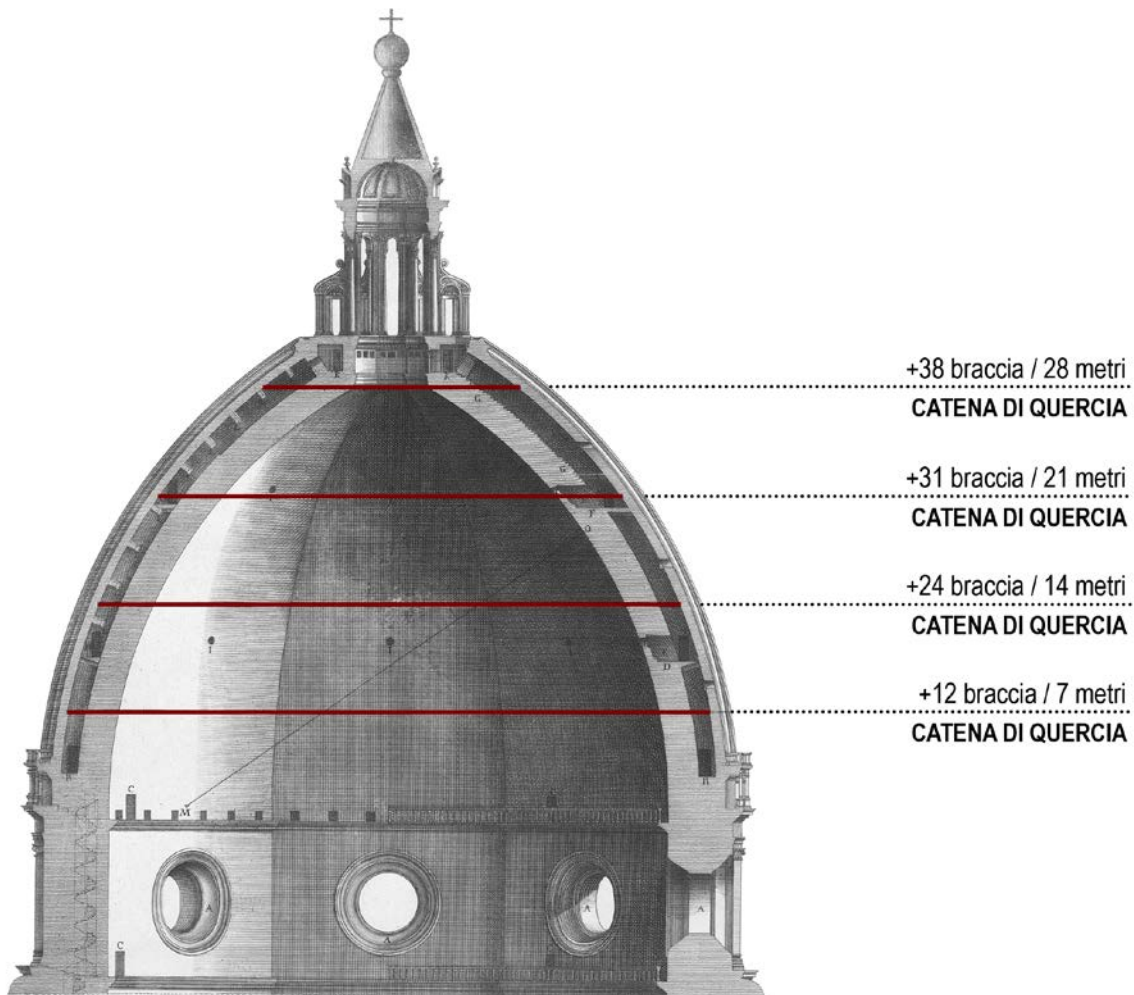


Figura 1. I quattro ordini di catene lignee previsti dal programma costruttivo del 1420 (immagine tratta da Sgrilli 1733, fig. IX; elaborazione S. Celli).

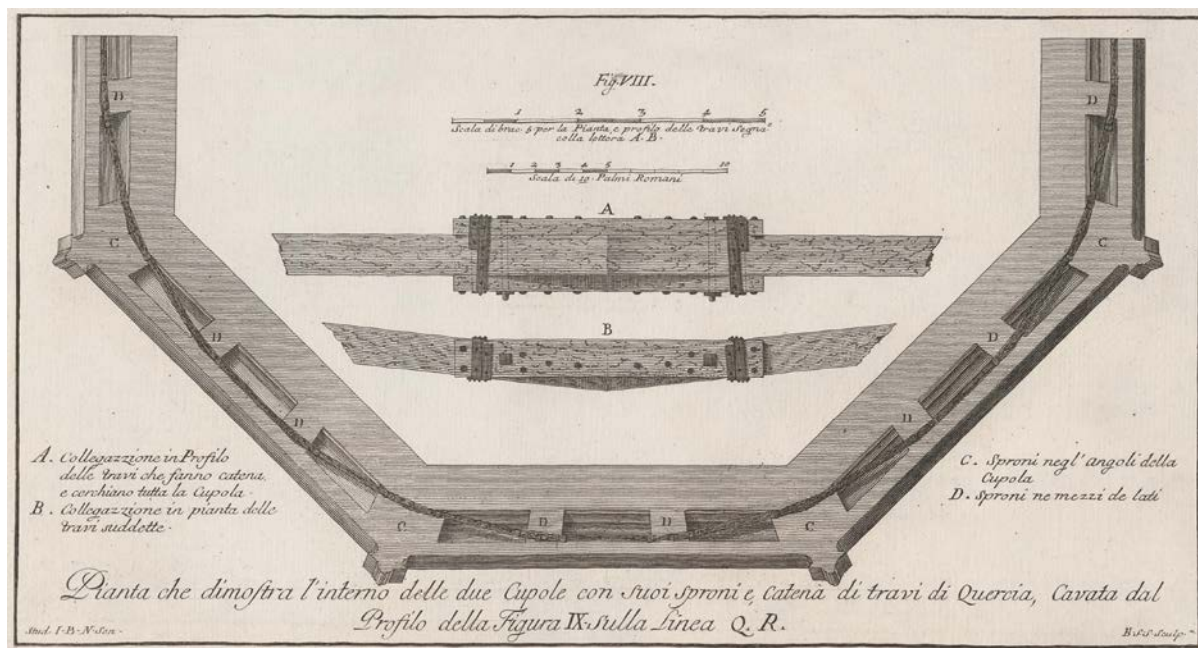


Figura 2. Rappresentazione della catena lignea della Cupola di Santa Maria del Fiore come rilevata da Giovan Battista Nelli a fine Seicento (da SGRILLI 1733, fig. VIII).

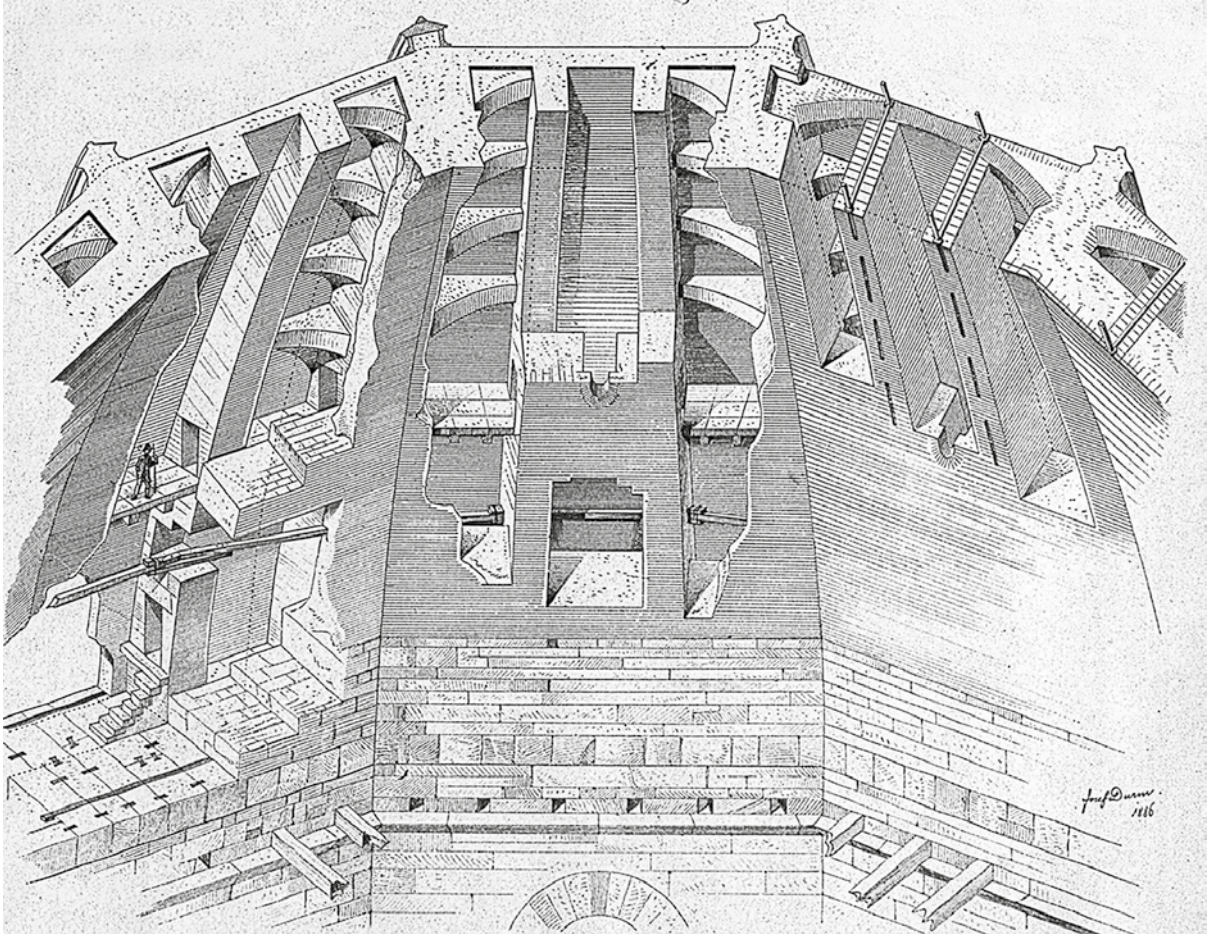


Figura 3. Rappresentazione della catena lignea per mano di Josef Durm. Si noti la catena lignea (da DURM 1887, tav. I).

coloro che si sono occupati della questione (fig. 3)²⁵. Tuttavia, il confronto tra il rilievo seicentesco e lo stato di fatto evidenzia alcune imprecisioni che, date le oggettive difficoltà ispettive²⁶, nessuno ha fino a ora tentato di rettificare.

In particolare, il disegno omette di rappresentare i cunei in legno che si trovano sistematicamente addossati al lato del nodo, presumibilmente per garantire maggior fermezza al sistema (fig. 4a) e gli elementi lignei raffigurati da Nelli sono tutti privi di intagli, che invece sul manufatto sono chiaramente visibili: sagomature e incastri ne facilitano l'assemblaggio (fig. 4b-c).

La cosa più curiosa e fuorviante, ai fini dell'analisi della catena e alla luce dell'attuale rilievo, è che tutti i disegni individuati riproducono – seppur con qualche variazione sul tema²⁷ – una medesima tipologia di giunto, quello originale riconducibile al disegno costruttivo di Brunelleschi. A guardarla oggi attentamente, la catena mostra invece altre cinque tipologie di giunto, mai rappresentate e mappate, ognuna frutto di altrettanti interventi di riparazione e cura, eseguiti nel tempo, che ne rendono evidentemente la configurazione geometrica – oltre che lo stato di conservazione – molto diversa da quella finora rappresentata.

Analogamente, sul piano documentale, pochi studiosi hanno specificatamente affrontato lo studio della catena e quanti lo hanno fatto²⁸ si sono concentrati per lo più sul periodo della sua costruzione (1422-1424), senza analizzare trasformazioni e aggiunte successive, che invece – come si è anticipato e si vedrà dettagliatamente nel prosieguo – sono state molte e continue nel corso dei secoli.

La nostra ricerca comincia da qui: dall'osservazione di un vuoto di analisi e di conoscenza, nella complessa storia di un capolavoro. Già nel 1996, Gennaro Tampone scriveva: «Rimane oggi non poco lavoro da fare per compiere un rilievo completo e minuzioso di tutta la catena e dei suoi collegamenti, per individuare le parti autentiche e quelle successive e soprattutto per determinare con maggior discernimento compiti, funzionamento ed efficacia del dispositivo nelle sue componenti e nel suo

25. In particolare vi i "rilievi" di Jean Baptiste Rondelet (RONDELET 1831, tav. CLXXXIX) e Joseph Durm (DURM 1887, tav. 43).

26. La cerchiatura lignea corre a un'altezza di circa 4 metri dal piano di calpestio del primo camminamento della cupola e, pertanto, non può essere ispezionata senza l'aiuto di ponteggi o scale. Inoltre, i nodi angolari della catena sono parzialmente inglobati nella muratura dei costoloni e dunque, a meno di scassi, non possono essere rilevati nella loro interezza.

27. Alcuni studiosi, pur basandosi sul rilievo del Nelli, ne hanno integrato il disegno aggiungendo ulteriori elementi dei quali non è mai stata attestata l'esistenza. In particolare, facendo riferimento al programma costruttivo del 1420, Frank D. Prager e Giustina Scaglia (PRAGER, SCAGLIA 1970, p. 37) e Massimo Ricci (RICCI 1989, p. 91) hanno ipotizzato (e rappresentato) l'esistenza di tiranti metallici ancorati superiormente alla cerchiatura lignea la cui presenza però non è stata mai effettivamente confermata da un rilievo.

28. SAALMAN 1980; RICCI 1989; DI PASQUALE 2002.



Figure 4a-c. I tre giunti rappresentati in figura (da sinistra a destra: vano 10, 13 e 19) mostrano in maniera abbastanza evidente alcuni dettagli del sistema di connessione che non compaiono nel rilievo del Nelli (foto S. Celli, 2018).

complesso»²⁹. Da questa esortazione comincia la nostra storia, forti del fatto che l’Opera di Santa Maria del Fiore, negli ultimi anni, ha avviato alcune ricerche mirate a sopperire a tali mancanze: nel 2014 il laboratorio IVALSA del CNR ha eseguito alcune prove a campione sulle travi che compongono la cerchiatura, ricavandone utili informazioni sullo stato di conservazione e sullo stato tensionale³⁰ e, più recentemente, nel 2018, è stato effettuato un accurato rilievo geometrico del dispositivo ligneo mediante tecnologia laser scanner³¹.

29. TAMPONE 1996, p. 260.

30. Tali prove hanno tuttavia coinvolto solamente due delle ventiquattro travi presenti e, seppur indicative, non possono considerarsi rappresentative delle condizioni globali della cerchiatura. I risultati di tali prove non sono stati pubblicati ma sono contenuti nella *Relazione preliminare sullo stato di conservazione e tensionale di alcuni elementi lignei della cupola di Santa Maria del Fiore in Firenze*, redatta da M. Negri, M. Fellin, J. Bontadi, CNR – IVALSA Laboratorio Qualità del Legno e Laboratorio di Dendrocronologia, 11 aprile 2014, documento interno OSMF.

31. Il rilievo è stato eseguito nel maggio 2018 su commissione dell’Opera, dallo Studio Scaletti, in collaborazione con lo Studio Comes (Firenze).

Il lavoro qui presentato riguarda gli esiti dell'indagine eseguita, sempre in bilico tra analisi storica – confortata da una rigorosa ricerca archivistica e da una altrettanto utile comparazione tipologica (per epoca e qualità costruttiva) – e osservazione dettagliata della realtà rilevata, in particolare dei giunti, o meglio accrocchi, della catena. La ricerca così condotta ha portato a datare i maggiori interventi eseguiti su di essa e a ricostruirne per la prima volta le reali vicende storiche.

Un necessario confronto: costruzione dell'abaco dei giunti, tra analisi storica e dato rilevato

La catena lignea si configura oggi come il risultato di una serie di trasformazioni avvenute nel corso dei secoli: ai giunti metallici ideati da Brunelleschi se ne sono aggiunti altri; le antiche travi lignee sono state talvolta sostituite e talaltra rafforzate per mezzo di inserimenti metallici, e ciascun intervento ha lasciato il proprio segno, tracciando una storia che racconta non solo le vicissitudini della cerchiatura, ma anche le evoluzioni tecnologiche e i lenti progressi avvenuti nel frattempo nel campo della carpenteria e della metallurgia.

Per poter datare ciascun componente della catena si è condotta primariamente una ricerca storica investigando le fonti archivistiche. Per quanto riguarda l'approvvigionamento di materiali e la posa in opera della catena si è fatto riferimento all'archivio digitale delle fonti dell'Opera di Santa Maria del Fiore curato da Margaret Haines³². Si sono poi individuate date significative (e certe) da utilizzarsi come altrettanti caposaldi, partendo dalla trascrizione dei documenti effettuata a metà Ottocento da Cesare Guasti, alcuni dei quali si riferiscono proprio a riparazioni alla catena³³. Da qui, il confronto con la cronologia dei principali eventi traumatici che, nel tempo, hanno interessato Santa Maria del Fiore (fulmini e terremoti)³⁴, ha permesso di individuare altrettante date da indagare nel dettaglio, nelle quali fosse più probabile rilevare notizie di danni e riparazioni.

Poiché la catena si compone di elementi lignei e metallici, l'attenzione è stata focalizzata in particolare sulle note di spesa redatte da fabbri, falegnami e, occasionalmente, muratori. Di essenziale importanza sono stati inoltre i rapporti stilati dagli Architetti dell'Opera in occasione delle visite annuali, mirate all'individuazione di eventuali criticità, nonché alla definizione delle priorità di intervento.

Come spesso succede, anche i vuoti testimoniali rappresentano un'interessante indicazione circa la storia della catena, evidenziando, in corrispondenza di tali vuoti, altrettanti periodi in cui alla catena

32. HAINES 2015.

33. GUASTI 1857, docc. 382-383 (pp. 169-171), doc. 388 (pp. 175-176).

34. Cronologia costruita consultando i database dell'INGV e l'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ROVIDA ET ALII 2017).

stessa è stata data meno attenzione (e manutenzione). L'analisi delle carte d'archivio ha consentito di delineare un quadro abbastanza preciso dei danni occorsi con maggior frequenza, così come delle loro cause e dei possibili rimedi e non è sorprendente scoprire, al termine dell'analisi, come la maggior parte delle riparazioni effettuate sulla cerchiatura si trovi in risposta a fenomeni di marcescenza delle travi, per lo più derivanti dall'infiltrazione di acque piovane dalla copertura³⁵.

Ciò che non è stato possibile evincere dalla documentazione d'archivio sono invece le esatte localizzazioni degli interventi: le pur dettagliate note di spesa dei capomastri, infatti, forniscono di rado indicazioni utili a collocare gli interventi nello spazio e la piena comprensione dei dati raccolti è derivata – come sempre accade nel percorso di analisi dei documenti – dal confronto del dato storico con l'evidenza dello stato di fatto e dunque con il preciso rilievo geometrico eseguito nel 2018³⁶.

Il passo successivo quindi è stato analizzare e classificare le diverse tipologie di giunto esistenti nella catena, a partire dalle evidenze rilevate; approfittando della possibilità di condurre osservazioni *in situ* e integrando le informazioni ottenute con quelle leggibili dalla nuvola di punti (in particolare riguardanti la superficie superiore delle travi lignee, del tutto nascosta alla vista) è stato possibile redigere un abaco tipologico che comprende in tutto sei tipologie di giunto, eterogeneamente distribuite lungo la cerchiatura e riconducibili a periodi storici diversi (fig. 5).

Solo dopo questa operazione si è ritornati alle carte d'archivio, con l'obiettivo di individuare corrispondenze tra le descrizioni offerte dai documenti storici e lo stato di fatto. Una volta individuate possibili corrispondenze, è stato il raffronto dimensionale tra le misure deducibili dalle note di spesa (opportunamente tradotte) e quelle ricavate dal rilievo laser scanner a validare le ipotesi di datazione proposte e a collocare anche fisicamente i documenti.

Questo processo, abbastanza immediato per quanto riguarda le misure lineari (a meno della sempre necessaria conversione delle unità di misura storiche nel sistema metrico corrente³⁷), ha richiesto qualche passaggio aggiuntivo per le misure di peso: per un confronto più affidabile, sulla base del rilievo geometrico, sono stati realizzati modelli tridimensionali dei giunti analizzati per ricavare il volume dei singoli elementi e, così, il peso corrispondente³⁸.

35. Ancora oggi, i profili di umidità del legno risultano compatibili con la presenza di elevata umidità ambientale, con conseguente rischio di attacco biologico. I risultati sono nella medesima relazione già citata nella precedente nota 31.

36. Rilievo eseguito dallo Studio Scaletti (Firenze), vedi la precedente nota 32.

37. Per la conversione delle unità di misura si è fatto riferimento *Tavole di riduzione* 1809.

38. Si è applicata la formula $M = V \times \delta_{ferro}$, considerando una densità del ferro pari a 7,85 g/cm³, ipotizzata in assenza di dati specifici sulle leghe utilizzate. A questa approssimazione si aggiunge la regolarizzazione della sezione dei giunti.

TIPOLOGIA A	
	<p><i>Descrizione</i></p> <p>Il giunto è costituito da una fasciatura chiodata in ferro battuto, un perno in ferro battuto e 5/6 chiodi semplici di fattura artigianale.</p>
	<p><i>Datazione</i></p> <p>1424</p>
	<p><i>Legenda</i></p>
	<p><i>Diffusione (n° settore n° di riscontri)</i></p> <p>S 2 S3 2 S4 4 S5 3 S6 3 S7 2 S8 2</p>
TIPOLOGIA B	
	<p><i>Descrizione</i></p> <p>Il giunto è costituito da una staffa singola in ferro battuto serrata con un paletto, un perno in ferro battuto e 5/6 chiodi di fattura artigianale.</p>
	<p><i>Datazione</i></p> <p>XVI sec.</p>
	<p><i>Legenda</i></p>
	<p><i>Diffusione (n° settore n° di riscontri)</i></p> <p>S 2 S3 1 S5 1 S7 2 S8 2</p>
TIPOLOGIA C	
	<p><i>Descrizione</i></p> <p>Catena metallica sovrapposta alla catena lignea. Le aste della catena sono connesse tra loro per mezzo di un sistema di asole e cunei.</p>
	<p><i>Datazione</i></p> <p>1637</p>
	<p><i>Legenda</i></p>
	<p><i>Diffusione (n° settore n° di riscontri)</i></p> <p>S 2</p>
TIPOLOGIA D	
	<p><i>Descrizione</i></p> <p>Due piastre metalliche chiodate alla trave, connesse tramite due staffe serrate da quattro dadi quadrati. Sulla piastra superiore si innesta una catena metallica, ancorata alla trave tramite un cuneo.</p>
	<p><i>Datazione</i></p> <p>XVIII sec.</p>
	<p><i>Legenda</i></p>
	<p><i>Diffusione (n° settore n° di riscontri)</i></p> <p>S5 1 S6 1 S7 1 S8 1</p>
TIPOLOGIA E	
	<p><i>Descrizione</i></p> <p>Staffa singola in ferro industriale serrata tramite sistema occhiello - paletto. Alla staffa si accosta un perno filettato in ferro industriale, bloccato per mezzo di un dado quadrato.</p>
	<p><i>Datazione</i></p> <p>1823</p>
	<p><i>Legenda</i></p>
	<p><i>Diffusione (n° settore n° di riscontri)</i></p> <p>S1 1 S6 5</p>
TIPOLOGIA F	
	<p><i>Descrizione</i></p> <p>Due piastre metalliche chiodate alla trave e giuntate per mezzo di un perno serrato da un dado. Sulla piastra superiore si innesta una catena metallica, fissata alla trave tramite un cuneo.</p>
	<p><i>Datazione</i></p> <p>1845</p>
	<p><i>Legenda</i></p>
	<p><i>Diffusione (n° settore n° di riscontri)</i></p> <p>S1 2 S2 1</p>

Figura 5. Prospetto sintetico delle tipologie di giunto individuate sulla cerchiatura lignea (elaborazione S. Celli).

Un ulteriore passaggio è stato il confronto con la trattatistica e manualistica storica – che ha consentito di validare le ipotesi formulate, talvolta chiarendo il significato di alcuni specifici termini utilizzati nella documentazione nonché la reale conformazione delle soluzioni – così come con esempi storici costruiti.

Questo procedimento analitico è stato applicato sistematicamente alle sei tipologie di giunto rilevate³⁹, riuscendo così a ricostruire un abaco dei diversi accrocchi presenti nella catena lignea (fig. 5) e una affidabile rappresentazione grafica della storia stessa delle sue trasformazioni (fig. 6).

I giunti di gran lunga più diffusi sono quelli di tipologia A (fig. 7a-c) coevi alla costruzione (1423-1424)⁴⁰. A oggi, sulla catena se ne contano almeno diciotto – di cui solo quattordici si possono considerare ancora efficienti – e ulteriori dieci se ne possono realisticamente ipotizzare all'interno della muratura dei costoloni angolari. Similmente a quanto rilevato da Giovan Battista Nelli (fig. 2), il giunto si compone di una fascia metallica, un perno di sezione quadrata e un numero variabile di chiodi semplici. Insieme, questi tre elementi garantiscono la connessione verticale tra la trave principale in legno di castagno e le due assi in quercia posizionate, in prossimità dei costoloni, sopra e sotto di essa a fare da collegamento orizzontale e garantire la continuità della cerchiatura lignea.

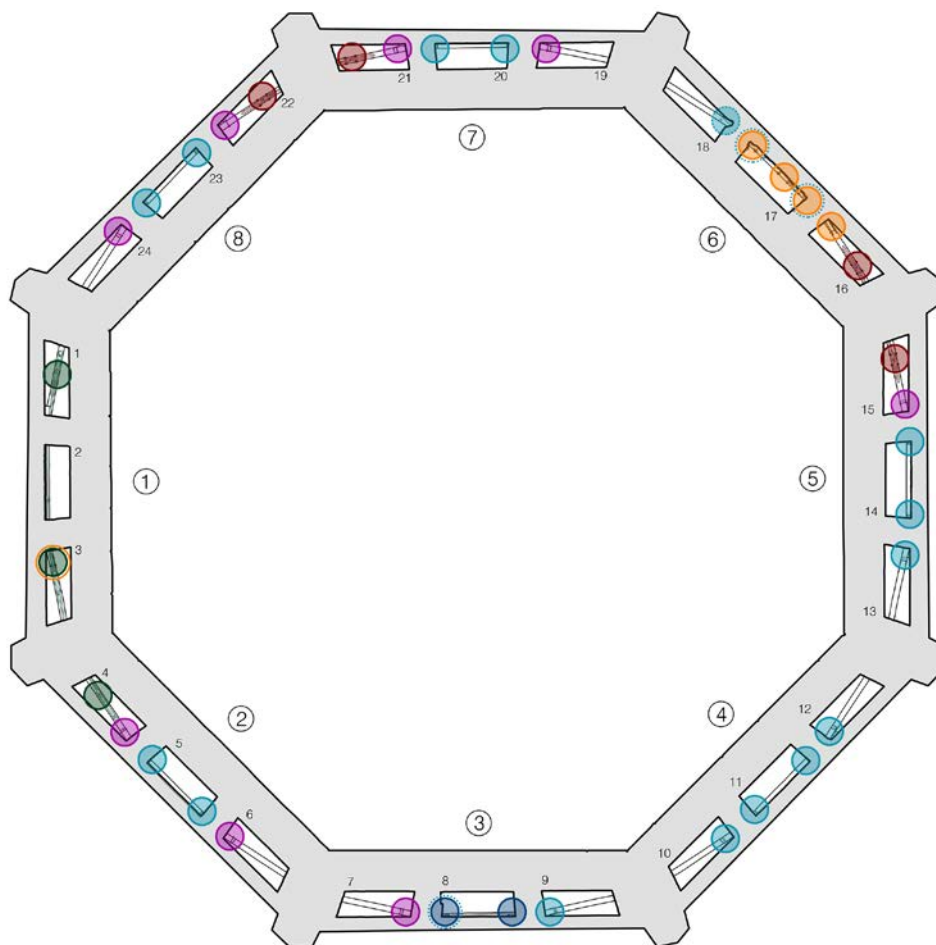
La seconda tipologia di giunto individuata (B) risulta sostanzialmente analoga a quella precedentemente descritta (fig. 8a-c). L'unica differenza si rileva nell'elemento cerchiante: la fasciatura metallica è in questo caso sostituita da una staffa a U bloccata all'estremità superiore mediante un sistema a occhielli e paletto. Il perno e i chiodi sono invece del tutto identici a quelli del giunto A. La stretta somiglianza osservabile tra le due tipologie di giunto ha spinto a ipotizzare che il giunto B non sia altro che il frutto di una riparazione eseguita sul giunto A. Purtroppo, nella documentazione archivistica consultata non si sono trovati riferimenti a questo intervento. Pare tuttavia ragionevole attribuirlo a un periodo relativamente prossimo alla costruzione e ciò in virtù della lavorazione del ferro e del confronto con casi studio similari⁴¹.

I giunti di tipo C (fig. 9a-c) sono solamente due, entrambi collocati nel vano centrale della vela 3, alle due estremità della trave. A causa della presenza di una sottile lamina metallica che ricopre

39. Si deve rilevare che dalla ricerca d'archivio non sono emersi documenti riguardanti i giunti di tipologia B e D, datati quindi per comparazione con la trattatistica storica e con casi studio similari.

40. HAINES 2015. Le note di spesa registrano l'acquisto di diversi elementi riconducibili a questa tipologia di giunto: «chastagni grossi per la chatena» (AOSMF, II.4.9, c. 74v); «panchoni di quercia e angholi» (AOSMF, II.4.9, c. 71v) o «panchonis querce angulatis» (AOSMF, II.1.83, c. 70); «chaviglie per la chatena della maggiore cupola di chastagni» (AOSMF, II.4.9, c. 84v-85v); «piastre di fero [...] per rinchalzare i choni per restringere la chatena della tribuna maggiore» (AOSMF, II.4.9, c. 80).

41. Si fa riferimento alle staffe poste in opera da Giorgio Vasari a Palazzo Vecchio (Firenze) nel 1563; DERINALDIS, TAMPONE 2006.



- | | | |
|---|---|--|
| ● TIPOLOGIA A 1424 | ● TIPOLOGIA C 1637 | ● TIPOLOGIA E 1823 |
| ● TIPOLOGIA B XVI sec. | ● TIPOLOGIA D XVIII sec. | ● TIPOLOGIA F 1845 |

Figura 6. Planimetria della cerchiatura lignea (vista dall'alto) illustrativa della distribuzione delle diverse tipologie di giunto individuate (elaborazione S. Celli, F. Ottoni).

interamente gli elementi lignei, risultano solo parzialmente visibili. L'intervento, riconducibile alle riparazioni occorse nel 1637 per volere dell'architetto Gherardo Silvani⁴², prevedeva il consolidamento della catena esistente mediante l'inserimento di tiranti metallici aggiuntivi. Si osservano infatti tre aste in ferro sovrapposte alla cerchiatura originaria, dotate di occhiello alle estremità e connesse tra loro mediante un giunto "a cerniera", ovvero sovrapponendo gli occhielli di due aste contigue e inserendovi un cuneo verticale come elemento bloccante. Quest'ultimo, attraversando la catena in tutta la sua altezza, garantisce anche il collegamento verticale tra gli elementi, fissando i nuovi tiranti metallici alle preesistenti travi in legno.

La quarta tipologia di giunto (D) appare piuttosto complessa e comprende elementi di connessione verticale e orizzontale (fig. 10a-c): due grandi staffe piegate a U e chiuse all'estremità superiore per mezzo di bulloni garantiscono la connessione verticale tra gli elementi lignei (catena e sottostante mensola), mentre un tirante metallico con terminale a occhiello e un cuneo in ferro rafforza il collegamento orizzontale tra travi contigue. Completano il sistema due piastre metalliche chiodate alla trave che, come il cuneo in ferro, assicurano il migliore ancoraggio tra il tirante e la trave lignea, così come tra i vari elementi metallici.

I giunti di tipologia E (fig. 11a-c), descritti più nel dettaglio nel prossimo paragrafo, sono attualmente cinque e sono situati all'interno della vela 6, sulla quale si sviluppa una delle lesioni principali della cupola⁴³. Qui, le infiltrazioni di acqua piovana e la conseguente diffusione di funghi della carie⁴⁴, hanno evidentemente necessitato di un intervento di riparazione e una nuova trave lignea è stata aggiunta al di sotto di quella originale, collegata tramite giunti metallici agenti verticalmente: una staffa piegata a U – chiusa superiormente mediante un sistema occhielli-paletto – e un perno di sezione circolare fissato per mezzo di un bullone avvitato all'estremità inferiore del fusto. La posa in opera di questi elementi, voluta dall'architetto Gaetano Baccani, risale al 1823 ed è ben documentata dalle carte d'archivio⁴⁵.

Infine, l'ultima tipologia di giunto individuata (F) è il risultato dell'ultima importante riparazione eseguita sulla cerchiatura lignea. L'intervento, ancora attribuibile a Baccani, è stato eseguito in due

42. Si è fatto principalmente riferimento a tre relazioni redatte in seguito alle visite annuali occorse nel 1637 (AOSMF, V.3.18 II), nel 1639 (AOSMF, V.3.19, f.166) e nel 1667. In particolare, nel 1639, Silvani dà indicazione di sostituire «in più luoghi i catenoni di quercia, che cingono la gran cupola, i quali avevano notabilmente patito per l'acqua».

43. Per una descrizione del quadro fessurativo e della sua evoluzione si rimanda a OTTONI, COISSON, BLASI 2010.

44. Le analisi a campione effettuate dal laboratorio IVALSA nel 2014 hanno evidenziato come la testa della trave del vano centrale della vela (per l'appunto quello dove sono collocati la maggior parte dei giunti di tipo E) risulti completamente distrutta da un progressivo attacco di funghi lignivori. Vedi NEGRI, FELLIN, BONTADI 2014.

45. I documenti ai quali si è fatto riferimento, analizzati nel prosieguo di questo contributo, sono la nota di spesa del fabbro (AOSMF, XI.3.3, fasc. 84), quella del falegname (AOSMF, XI.3.3, fasc. 93) e una relazione scritta dall'architetto Baccani nel 1827 (AOSMF, XI.2.5, fasc. 23).



Figura 7a-c. Giunti di tipologia A: modello 3D, vano 13 e vano 9 (foto ed elaborazione S. Celli, F. Ottoni, 2018).



Figura 8a-c. Giunti di tipologia B: modello 3D, vano 22 e vano 7 (foto ed elaborazione S. Celli, F. Ottoni, 2018).



Figura 9a-c. Giunti di tipologia C: modello 3D e vano 8 (foto ed elaborazione S. Celli, F. Ottoni, 2018).



Figura 10a-c. Giunti di tipologia D: modello 3D, vano 22 e vano 15 (foto ed elaborazione S. Celli, F. Ottoni, 2018).

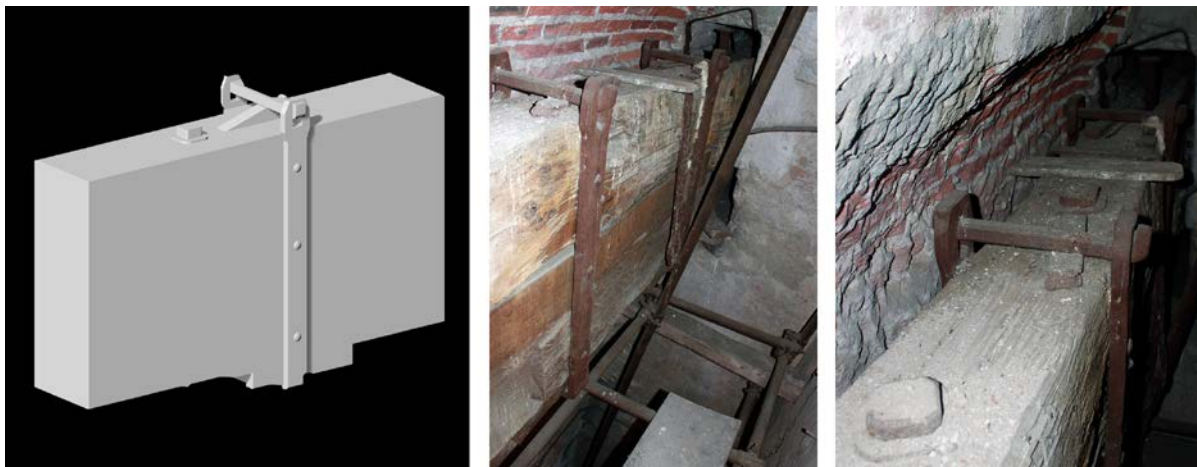


Figura 11a-c. Giunti di tipologia E: modello 3D e vano 17 (foto ed elaborazione S. Celli, F. Ottoni, 2018).



Figura 12a-b. Giunti di tipologia F: modello 3D e vano 1 (foto ed elaborazione S. Celli, F. Ottoni, 2018).

tranche tra il 1845 e il 1848 e ha portato all'inserimento di una catena metallica sovrapposta a quella lignea (fig. 12a-b). La nuova catena corre dal vano 1 al vano 4 rinforzando il collegamento orizzontale in tutta la vela 1 e in parte della vela 2. Il giunto si compone di un tirante, ancorato da un lato alla trave lignea (mediante due piastre metalliche e un cuneo in ferro) e dall'altro al tirante contiguo (mediante un giunto a cerniera), e di due perni a sezione circolare dotati di un'estremità filettata e fissati per mezzo di bulloni. La datazione di questa tipologia di giunto è stata supportata da una documentazione d'archivio sufficientemente ricca⁴⁶ e, nonostante siano state rilevate alcune discrepanze tra il dato storico e lo stato di fatto, può considerarsi piuttosto attendibile.

Nel prosieguo del presente lavoro, si è scelto di descrivere nel dettaglio le operazioni prima descritte per una sola tipologia di giunto, quella ottocentesca (E), che possa servire da dimostrazione della validità del metodo seguito nella ricerca per tutti gli altri.

I giunti ottocenteschi (tipologia E): per la validazione di un metodo

Come per gli altri giunti, il processo di datazione di questa tipologia ha preso avvio dal raffronto tra le informazioni offerte dalle carte d'archivio e lo stato di fatto. La lettura della documentazione ha da subito evidenziato alcune assonanze tra il tratto di catena compreso nel vano centrale della vela 6 (vano 17) e gli elementi posti in opera nel corso delle riparazioni del 1823, primo intervento dell'Architetto dell'Opera Gaetano Baccani, quando si occupò di «lavori della massima urgenza, come segnatamente la riannestatura della catena formata di grosse travi di Castagno, e Querce» che egli stesso aveva trovato troncata in due punti «per causa della filtrazione che da gran tempo ivi facevano le acque piovane»⁴⁷. Dal documento esaminato si comprendono bene le cause del danno registrato (l'infiltrazione di acque piovane), che insieme forniscono un possibile indizio sulla collocazione spaziale dell'intervento: evidentemente una delle vele maggiormente lesionate (appunto la vela 6, in particolare nel vano centrale). Le note di spesa di legnaiolo e magnano offrono poi descrizioni dettagliate dei singoli elementi messi in opera: in data 13 settembre 1823, facendo esplicito riferimento alla catena

46. L'ipotesi di datazione è stata formulata sulla base delle informazioni contenute nella documentazione d'archivio. In particolare, per quanto riguarda l'intervento del 1845 si è fatto riferimento a una relazione dell'Architetto Baccani (AOSMF, XI.2.14, fasc. 1) e alla nota di spesa del fabbro (AOSMF, XI.3.17, n° 61). Per quanto concerne invece il 1848 ci si è basati su un documento emesso dalla Deputazione dell'Opera (AOSMF, XI.2.16, fasc. 16) e, soprattutto, sulla nota di spesa del fabbro (AOSMF, X.3.20, n°117).

47. AOSMF, XI.2.5, fasc. 23. Di questo evento dà notizia anche Cesare Guasti che, pur segnalando una data errnea, nel prospetto cronologico esposto nella sua monografia accenna a come «nel 1825 il cavalier Gaetano Baccani, presente architetto dell'Opera, la riannestò in vari punti, e la rimesse in tirare con travi e staffoni in ferro inchiavardati», GUASTI 1857, p. 19).

di castagno, il legnaiolo segnala l'installazione di due nuove travi in quercia, delle quali fornisce anche le dimensioni. Mentre della prima – lunga all'incirca 350 cm (6 braccia), alta 35 cm (12 soldi) e larga 29 cm (10 soldi) – viene specificato che «rimane nel costolone»⁴⁸, della seconda vengono riportate unicamente le misure: 440 cm di lunghezza, 48 cm di altezza e 32 cm di larghezza.

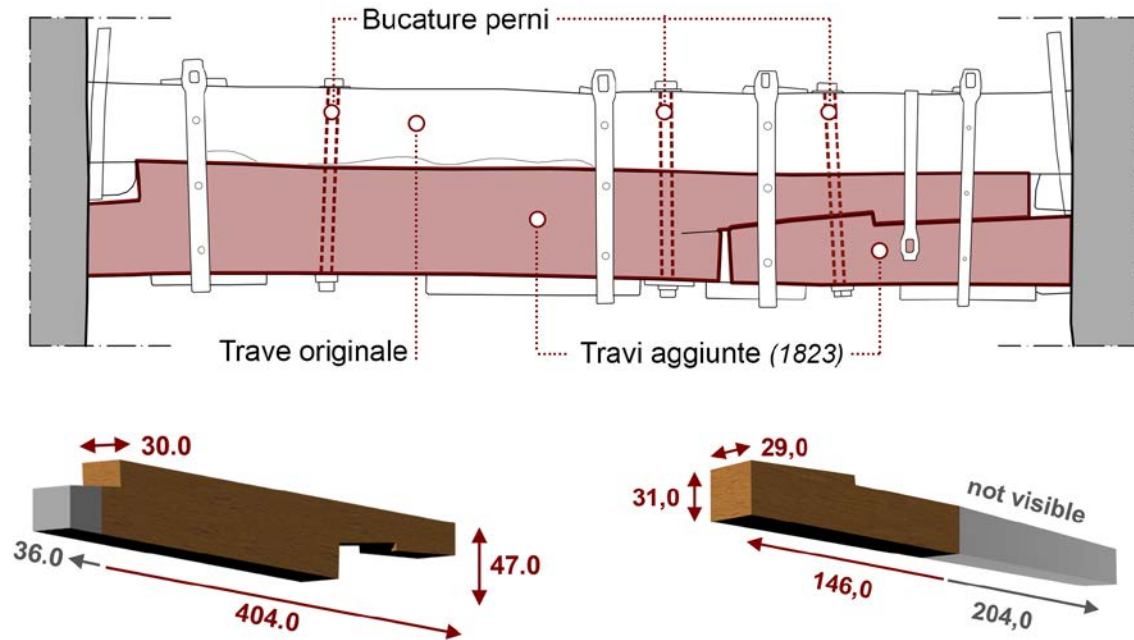
La terza voce riportata nella nota di spesa è altrettanto interessante e fa riferimento alle operazioni di bucatura delle due travi citate allo scopo di inserirvi tre chiavarde. In effetti, osservando il tratto di cerchiatura del vano 17 (quello centrale nella vela 6), si nota la presenza di una trave lignea posizionata al di sotto della trave originale, di fattura visibilmente più recente. Tale trave non si configura tuttavia come un unico elemento ligneo, ma si compone di due parti distinte giuntate tra loro mediante un incastro a dentatura obliqua, poi rinforzato per mezzo di perni e staffe metalliche.

Dal confronto eseguito con il dato dimensionale (fig. 13) si è trovata una corrispondenza quasi perfetta per la trave più lunga, che misura circa 4 m: pare del tutto ragionevole che i 35 cm di scarto tra documento e rilievo possano essere interni alla muratura, nella quale si trova innestata la testa della trave stessa. Un po' più difficilmente giustificabili sono le discrepanze individuate per la trave più corta che, da rilievo, sporge dal costolone di circa 146 cm. Tuttavia, poiché il documento ottocentesco fa riferimento a esso come alla «catena che rimane nel costolone», possiamo ipotizzare che si estenda per tutta la larghezza del costolone (circa 130 cm); sommando le due lunghezze si ottiene una lunghezza totale (circa 280 cm) di 70 cm più corta rispetto alla catena descritta nella nota di spesa del legnaiolo, ma tale discrepanza pare ancora giustificabile ipotizzando – anche sulla base delle osservazioni condotte *in situ* – che la porzione di trave mancante sia stata tagliata durante l'installazione e riutilizzata nel vano attiguo (vano 16) dove pure è stato posizionato uno dei giunti di tipologia E (fig. 14).

Sul piano della carpenteria metallica, la nota corrispondente del magnano descrive con dovizia di particolari tanto le staffe quanto i perni posti in opera nel 1823: «15 staffoni piegati a forca con occhi fatti di massello che abbracano 2 travi alti da tutte due le parti braccia 1 e $\frac{1}{2}$, e fatto suoi paletti colla testa sotto, e sopra, e fatto le sue stacciole di $\frac{1}{2}$ braccio: con suoi buchi tanto agli staffoni che alle stacciole, e fatto le sue biette da imbiettare sotto il paletto»⁴⁹. Lo stato attuale presenta (fig. 15) cinque grandi staffe a U, chiuse superiormente grazie a due occhielli e un paletto trasversale, che avvolgono le due travi precedentemente citate, ovvero quella originale e quella aggiunta successivamente al di sotto di essa. L'altezza delle staffe, definita dal magnano in 1 braccio e $\frac{1}{2}$ (87,5 cm), coincide con quella attuale che, in base alla staffa, varia dagli 87 ai 90 cm. Al di sotto di ciascun paletto di chiusura

48. AOSMF, XI.3.3, fasc. 93.

49. AOSMF, XI.3.3, fasc. 84.



In grigio la porzione d'appoggio della trave, collocata all'interno del costolone. La lunghezza è stata ipotizzata sulla base del dato storico: $4.04 + 36.0 = 4.40$ m

Documento 1823	Rilievo 2018
Lunga braccia 7e1/2 = 4.40 m	4.04 m (visibile)
Alta braccia 5/6 = 48 cm	47 cm
Larga soldi 11 = 32 cm	30 cm

In grigio la "catena che rimane nel costolone". La lunghezza è stata ipotizzata sulla base del dato storico ($1.46 + 2.04 = 3.50$ m)

Documento 1823	Rilievo 2018
Lunga braccia 6 = 3.50 m	1.46 m (visibile)
Alta soldi 12 = 35 cm	31 cm
Larga soldi 10 = 29 cm	29 cm

Figura 13. Raffronto qualitativo e dimensionale tra la nota di spesa del legnaiolo (1823) e il tratto di catena visibile nel vano 17 nelle sue condizioni attuali (2018) (elaborazione S. Celli).

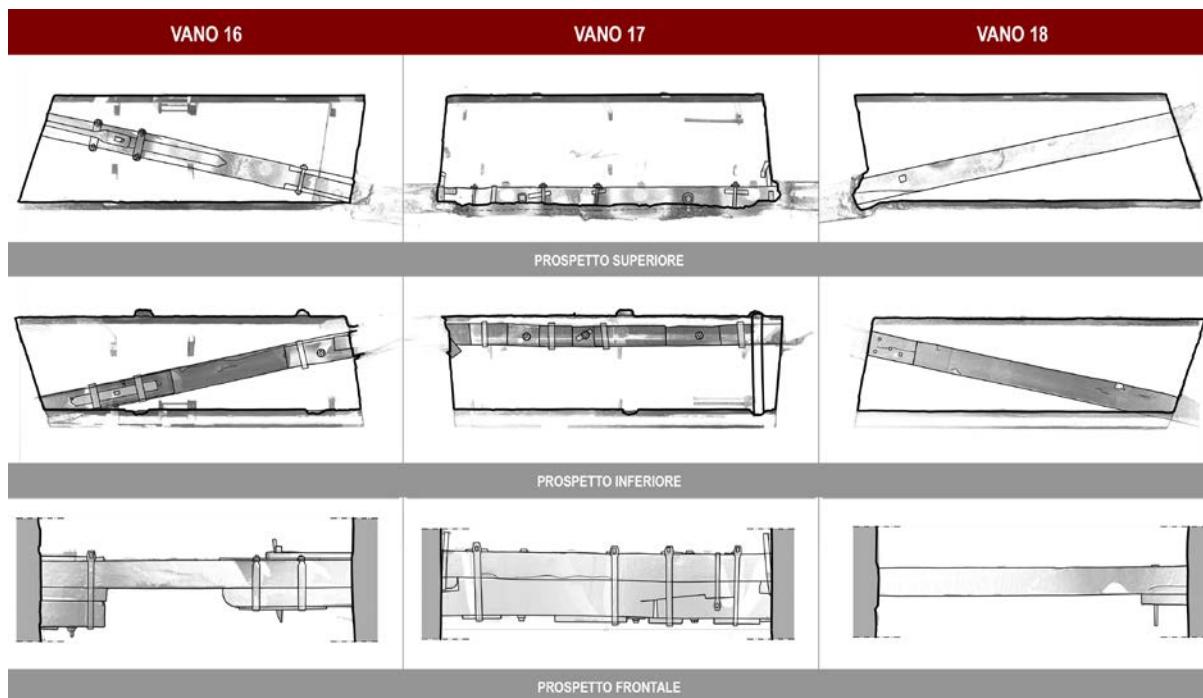


Figura 14. Planimetria e vista frontale della porzione di cerchiatura osservabile nella vela 6 (rilievo ad opera di Studio Scaletti e Studio COMES, 2018; elaborazione S. Celli).

si nota inoltre un cuneo in ferro (“bietta⁵⁰”) inserito per calibrare l’altezza della staffa adattandola perfettamente alla posizione specifica, mentre le “stacciole” sono, con buona approssimazione, le tavolette in legno posizionate tra la superficie inferiore della trave e la staffa⁵¹ (fig. 16).

Tale ipotesi ha trovato conforto nel raffronto dimensionale: la larghezza di questi elementi varia tra i 26 e i 29 cm, compatibili con il valore di mezzo braccio (29 cm) indicato dalla nota di spesa. Ulteriori conferme sono emerse dalla manualistica ottocentesca e, in particolare, da Giuseppe Valadier che, nel descrivere le possibili modalità di connessione tra travi lignee, propone il disegno di una staffa sostanzialmente analoga a quella situata nel vano 17, con l’apposizione, abbastanza diffusa, di un «pezzo di regoletto lavorato [...] fra la corda e la parte inferiore dello staffone»⁵². Qualche dubbio sulla completa corrispondenza è dato dal numero di staffe riportate nel documento (quindici) e quelle ora rilevabili (cinque), che però trova conforto in un documento del 1848⁵³ che riferisce di una parziale rimozione degli stessi.

Dei perni, «n°3 chiavardoni con capo e quadre sotto il capo invitate a ferro con suoi dadi»⁵⁴, non vengono forniti dati dimensionali, e in assenza di un confronto diretto con il dato misurato si è proceduto in maniera indiretta per la verifica dell’ipotesi. I perni visibili (esattamente tre, come quelli dichiarati e come le bucaure rendicontate dal falegname) sono dotati di un’estremità filettata dove è avvitato un dado. Un’ulteriore voce della nota di spesa, registrata in data successiva, riferisce poi della fornitura di una «chiave con occhio quadro [...] per uso di serrare i dadi delle chiavarde della catena»⁵⁵ confermando la forma quadrata dei dadi posti in opera nel 1823, così compatibile con quelli osservabili oggi nel giunto (fig. 16). Un conforto numerico è quindi deducibile dal peso totale della fornitura di ferro (comprensivo delle quindici staffe, tre chiavarde, biette e complementi vari), riportato nella nota di spesa, pari a 1369 libbre e 11 onces, ovvero circa 465 Kg⁵⁶. Il modello tridimensionale dei giunti di tipologia E (sulla base del rilievo geometrico del 2018) ha infatti permesso di ricavare il peso unitario della staffa e del perno; moltiplicando poi il peso unitario per quindici staffe e tre perni, e sommando i due valori, si è ottenuto un

50. Bietta (o zeppa): «Pezzetto di legno o d’altra materia soda, a guisa di conio, che s’adopera talora per serrare o stringere, o fendere, o spaccare il legno, o altro», TOMMASEO, BELLINI 1861, p. 966.

51. Definizione di “staccia” in BATTAGLIA 1961-2009. Vedi poi VENERONI 1703, p. 734 che traduce il termine con «petite regle ou équerre» (*piccolo regolo o squadra*).

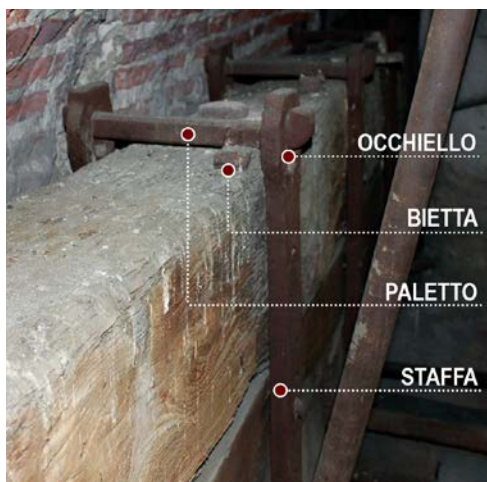
52. VALADIER 1831, Tomo II, Sezione VI, Articolo XXX, p. 36.

53. «Per aver impiegato due giornate e $\frac{3}{4}$ di tempo di due uomini per segare sul posto n° 4 staffoni le quali collegavano le catene del fianco della Cupola» - AOSMF, XI.3.20, n° 90.

54. AOSMF, XI.3.3, Giustificazioni di computisteria, fasc. 84.

55. *Ibidem*.

56. 1 libbra equivale a 339,542 grammi; 1 oncia a 28,295 grammi (*Tavole di riduzione* 1809).



Altezza staffa:
Braccia 1 e 1/2*
*1 braccio = 58.36 cm



Figura 15. Staffa attualmente visibile nel vano 17 (vela 6). Si noti come tanto le parti che la compongono, quanto le dimensioni siano coerenti con la nota di spesa redatta dal magnano nel 1823 (foto e elaborazione S. Celli, 2018).



Figura 16. Perno dei giunti di tipologia E (vano 17, vela 6). Si osservino il dado quadrato, avvitato al fusto filettato, e la "stacciola" in legno. (foto e elaborazione S. Celli, 2018).

peso complessivo di circa 480 Kg, realisticamente compatibile con quello indicato dal magnano, con uno scarto di soli 15 Kg, che si è rivelato assolutamente accettabile considerato il livello di approssimazione, rappresentando così una conferma dimensionale indiretta del documento esaminato (tab. 1).

La manualistica ottocentesca ha poi confermato configurazione e modalità di utilizzo delle staffe, per le quali si prevedono occhi, paletto e zeppe (o biette)⁵⁷. In particolare, Valadier fa riferimento alla possibilità di inserire un regolo in legno tra la trave e la staffa perché «formi ripieno»⁵⁸ e garantisca quindi una migliore aderenza tra i due elementi e tutti gli elementi descritti si ritrovano nei giunti di tipologia E, rafforzando così l'ipotesi che esso possa essere datato al 1823 (fig. 17). Il trattato di Nicola Cavalieri San Bertolo⁵⁹ è servito poi per indagare ulteriormente la tipologia dei perni, nonché degli incastri lignei, intesi come strumento per combinare due travi lignee in un'unica trave composta. Nel trattato si dice che, tanto la testa quanto il gambo di questi elementi possono avere forma rotonda o quadrata; vengono poi citate chiavarde con «punta lavorata a vite»⁶⁰ – ovvero filettata – bloccata mediante dadi (“madrevite”). Tali configurazioni ben collimano con quelle osservabili nella vela 6: appunto, testa quadrata e fusto a sezione circolare filettato in corrispondenza dell'estremità inferiore. Una ulteriore conferma è data del resto dalle tavole allegate al manuale, che illustrano i possibili incastri lignei da utilizzare per comporre più elementi lignei in uno solo, nei quali pure sembra di poter riconoscere la soluzione adottata dal Baccani di «giuntura a doppio dente in terzo, o sia a doppia ugnatura»⁶¹.

A ulteriore riprova dell'ipotesi di datazione, si sono esaminati analoghi casi, databili a fine Settecento - inizio Ottocento. Una particolare affinità si è riscontrata con alcune staffe impiegate presso l'Accademia delle Belle Arti di Firenze, risalenti indicativamente al 1784 (fig. 18) e la vicinanza spaziotemporale di questo manufatto si può considerare, al termine del percorso seguito, una affidabile conferma dell'ipotesi di datazione avanzata per questa tipologia di giunto, che rappresenta uno degli ultimi interventi eseguiti sulla catena nella sua lunga storia.

57. VALADIER 1831, Tomo II, Sezione VI, Articolo XXX, p. 39.

58. *Ivi*, p. 36.

59. CAVALIERI SAN BERTOLO 1832.

60. «Abbiamo spesso fatto menzione anche dei perni ossia chiavarde, per mezzo delle quali si uniscono e si stringono insieme le travi nell'armature. In una chiavarda si distinguono tre parti, cioè la testa, il fusto e la punta. La testa può essere rotonda, ovvero quadra; e così pure il fusto. Quanto alla foggia della punta debbono distinguersi due specie di chiavarde. Le chiavarde della prima specie hanno la punta traforata per traverso, e si fermano in opera introducendo nel foro una zeppa di ferro [...]. Quelle della seconda specie hanno la punta lavorata a vite, e si fermano con una madrevite», CAVALIERI SAN BERTOLO 1832, Vol. I, Libro II, Capo XVI, §460.

61. CAVALIERI SAN BERTOLO 1832, Vol. I, Libro II, Capo XVI, §238-242. I disegni ai quali fa riferimento il testo sono raccolti nella Tavola VIII del medesimo volume.

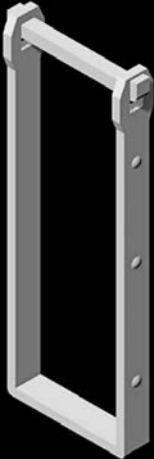

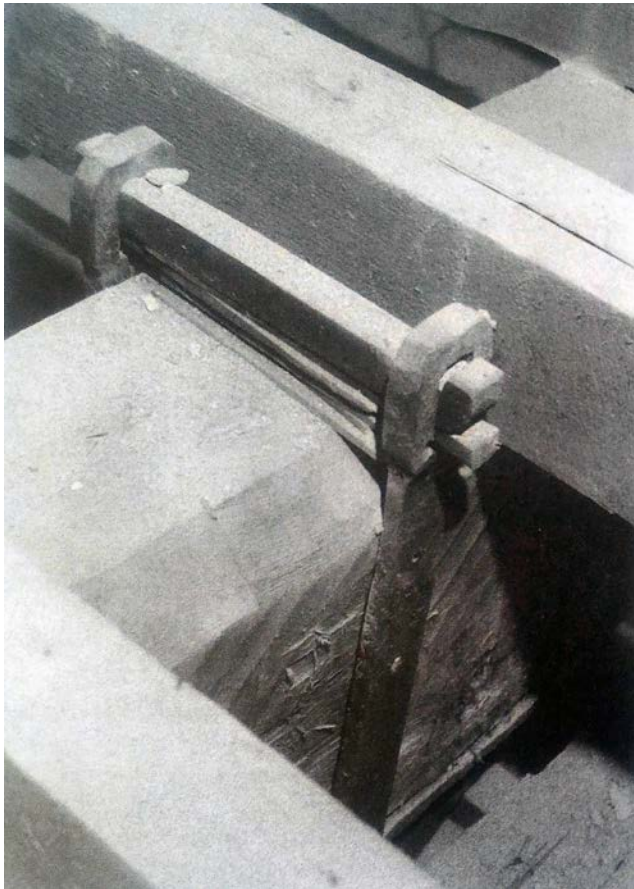
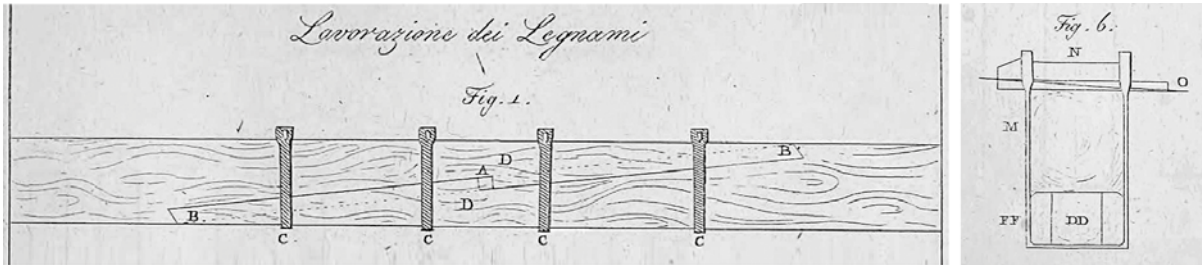
	STAFFE	
	<i>Volume massimo</i> (relativo alla staffa di maggiori dimensioni – S6.V17.G4_E1)	5150,7 cm ³
	<i>Peso massimo</i>	40 Kg
	<i>Volume minimo</i> (relativo alla staffa di minori dimensioni – S6.V17.G2_E2)	2800 cm ³
	<i>Peso minimo</i>	20 Kg
	Peso medio	30 Kg
	CHIAVARDE	
	<p>Per quanto riguarda invece le chiavarde, poiché si è rilevata sufficiente omogeneità nei dati dimensionali ricavati dal rilievo geometrico, si è deciso di prendere in considerazione solamente uno dei tre elementi ai quali si fa riferimento nella nota di spesa.</p>	
	<i>Volume chiavarda</i>	1019 cm ³
	<i>Volume rondelle</i>	114 cm ³
	<i>Volume dado</i>	135 cm ³
	<i>Volume totale</i>	1268 cm ³
	Peso totale	10 Kg

Tabella 1. Calcolo del peso di staffe e chiavarde di tipo E, in base alle dimensioni ricavate dal rilievo del 2018 (elaborazione S. Celli).



Dall'alto, figura 17. A sinistra: Illustrazione di uno dei sistemi da impiegarsi per collegare tra loro due travi lignee. A destra: Rappresentazione dei diversi elementi che compongono una staffa, incluso il regoletto in legno da posizionarsi tra la trave e la staffa (DD) (da VALADIER 1831, tav. LXVIII).

Figura 18. Una staffa piuttosto simile a quella di tipologia E, individuata presso l'Accademia di Belle Arti di Firenze e risalente indicativamente al 1784 (da TAMPONE 1990, p. 290).

Conclusioni

In conclusione, si crede di poter affermare, di aver chiarito alcuni dei punti ancora poco indagati del capolavoro brunelleschiano. Il percorso seguito, a metà tra analisi storica e rilievo di dettaglio, ha permesso di datare, con buona approssimazione, tutti gli elementi metallici oggi presenti lungo la cerchiatura lignea, ricostruendone la lunga storia di riparazioni e trasformazioni che paiono confermare, almeno fino al primo Ottocento, una certa attenzione a quell'elemento, considerato per secoli evidentemente utile alla stabilità della cupola. La dibattuta questione circa la sua reale funzione, e quella attribuitagli dal progettista, non ha trovato una soluzione, pur avendola ricercata specificatamente nei documenti, e molti sono i punti ancora da indagare, a partire dall'effettiva efficienza strutturale di questo peculiare sistema cerchiante, che per materiali e collegamento tra questi, risulta in effetti difficile da stimare affidabilmente. La datazione degli accrocchi può rappresentare in questo senso un primo passo, anche se molte ulteriori riprove sarebbero utili e auspicabili per avere conferma definitiva delle ipotesi avanzate: un'analisi dendrocronologica del legno, insieme all'applicazione del metodo di datazione al radiocarbonio sugli elementi metallici, potrebbero senz'altro costituire ulteriori dati da inserire nell'indagine, così come l'approfondimento della ricerca archivistica – con particolare riferimento ai secoli meno studiati (XVI e XVIII) – potrebbe ulteriormente supportare le ipotesi di datazione dei giunti B e D, dove maggiori sono le lacune documentarie.

A meno dei necessari approfondimenti, ciò che si è voluto riaffermare qui, al termine di un percorso in continuo dialogo tra riferimenti documentali ed evidenze costruite, è in definitiva il monito di Raffaello che nel confronto tra «la misura diligente delle opere» e «la loro descrizione» nei trattati «dei buoni autor»⁶² racchiude la chiave di ogni ricerca mirata alla conservazione. Come quella svolta su un manufatto minore, parte di una grande fabbrica, che forse anche a esso deve la sua stabilità.

Ma questa è un'altra storia.

62. «Essendo io stato assai studioso di q[ues]te antichità, et havendo posto non picciola cura in cercarle minutamente et misurarle con diligentia, et leggendo i buoni autori, confrontare l'opere con le scritture, penso di haver conseguito qualche notitia dell'architettura antica», Di TEODORO 2015, Appendice I, pp. 141-142.

Bibliografia

- ALBERTI 1452 - L.B. ALBERTI, *De re aedificatoria*, 1452 (testo latino e traduzione di Giovanni Orlandi, con introduzione e note di Paolo Portoghesi, Edizioni Il Polifilo, Milano, 1966).
- BARBI, DI TEODORO 1989 - L. BARBI, F.P. DI TEODORO, *1695-1698: I rilievi di Giovan Battista Nelli per la cupola di Santa Maria del Fiore*, in «Rivista d'Arte», XLI, s. IV, V, 1989, pp. 57-111.
- BATTAGLIA 1961-2009 - S. BATTAGLIA, *Grande dizionario della lingua italiana*, UTET, Torino 1961-2009, vol. II, 2000.
- BROGIOLO, CAGNANA 2012 - G.P. BROGIOLO, A. CAGNANA, *Archeologia dell'architettura - metodi e interpretazioni*, All'insegna del Giglio, Firenze 2012.
- CAVALIERI SAN BERTELO 1832 - N. CAVALIERI SAN BERTELO, *Istituzioni di architettura statica e idraulica*, A spese dell'ingegnere Vittorio Bellini, Firenze 1832.
- CHIARUGI, QUILGHINI 1984 - A. CHIARUGI, D. QUILGHINI, *Tracciamento della cupola del Brunelleschi. Muratori e geometria*, in «Critica d'Arte», XLIX (1984), pp. 38-47.
- CHIARUGI 1984 - A. CHIARUGI, *La cupola del Brunelleschi. Problemi di tracciamento e costruzione. Il modello dell'ACMAR*, in «Ingegneri Architetti costruttori», 1984, pp. 31-37.
- CONTI, CORAZZI 2011 - G. CONTI, R. CORAZZI, *Il segreto della cupola del Brunelleschi a Firenze*, Pontecorboli Editore, Firenze, 2011.
- DALLA NEGRA 2004 - R. DALLA NEGRA, *La cupola di Santa Maria del Fiore nei disegni antichi e nei rilievi moderni: alcune considerazioni alla luce del nuovo rilievo fotogrammetrico*, in R. DALLA NEGRA (a cura di), *La cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze: il rilievo fotogrammetrico*, Sillabe, Livorno 2004, pp. 1-27.
- DALLA NEGRA 2004 - R. DALLA NEGRA, *La cupola del Brunelleschi: il cantiere, le indagini, i rilievi*, in R. DALLA NEGRA, C. ACIDINI LUCHINAT (a cura di), *La cupola di Santa Maria del Fiore. Il cantiere di restauro. 1980-1995*, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma 1995, pp. 1-46.
- DALLA NEGRA 2021 - R. DALLA NEGRA, *Oltre il visibile: la "pseudo cortina" muraria brunelleschiana della cupola di Santa Maria del Fiore*, in «Ananke», 2021, 91, pp. 10-14.
- DE RINALDIS, TAMPONE 2007 - P.P. DE RINALDIS, G. TAMPONE, *The failure of timber structures caused by incorrect design-execution of the joints. Two cases study*, in G. TAMPONE ET ALII, *From Material to Structure – Mechanical Behaviour and Failures of the Timber Structures*, Proceedings of the 16th International Symposium of the IWC (Firenze, Venezia e Vicenza 11-16 novembre 2007), ICOMOS, 2007.
- DI PASQUALE 1977 - S. DI PASQUALE, *Primo rapporto sulla Cupola di Santa Maria del Fiore*, CLUSF, Firenze 1977.
- DI PASQUALE 2002 - S. DI PASQUALE, *Brunelleschi. La costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore*, Marsilio Editore, Venezia 2002.
- DI TEODORO 2011 - F.P. DI TEODORO, *Giovanni Poleni, Domenico Maria Manni e le catene per la cupola di Santa Maria del Fiore: per la storia delle fratture e dei previsti risarcimenti alla "grande macchina" di Filippo Brunelleschi*, in «Annali dell'Architettura», 2011, 23, pp. 151-176.
- DI TEODORO 2015 - F.P. DI TEODORO, *La Lettera a Leone X di Raffaello e Baldassar Castiglione: un nuovo manoscritto*, in «Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa» 2015, 7/1, s. 5, pp. 119-168.
- DI TEODORO 2021 - F.P. DI TEODORO, *Cupole, fratture e cerchiature. Sulle orme delle memorie storiche di Giovanni Poleni: il discorso sopra la stabilità della cupola di Santa Maria del Fiore contro le false voci sparse in Firenze da Bartolomeo Vanni (1720)*, in «Ananke» 2021, 91, pp. 15-31.
- DURM 1887 - J. DURM, *Die domkuppel in Florenz und die kuppel der Peterskirche in Rom*, Verlag Von Ernst & Korn, Berlin 1887.

- FANELLI, FANELLI 2004 - G. FANELLI, M. FANELLI, *La Cupola del Brunelleschi. Storia e futuro di una grande struttura*, Mandragora, Firenze 2004.
- GALLUZZI 1977 - P. GALLUZZI, *Le colonne «fesse» degli Uffizi e gli «screpoli» della Cupola. Il contributo di Vincenzo Viviani al dibattito sulla stabilità della cupola del Brunelleschi. (1694-1697)*, in «Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze», II (1977), pp.70-111.
- GIORGI, MATRACCHI 2006 - L. GIORGI, P. MATRACCHI, *Santa Maria del Fiore, facciata, corpo basilicale, cupola*, in G. ROCCHI COOPMANS DE YOLDI (a cura di), *S. Maria del Fiore. Teorie e storie dell'archeologia e del restauro nella città delle fabbriche arnofiane*, Alinea Editrice, Firenze 2006, pp. 277-324.
- GIORGI, MATRACCHI 2008 - L. GIORGI, P. MATRACCHI, *New studies on Brunelleschi's Dome in Florence*, in D. D'AYALA, E. FODDE (eds), *Structural analyses of historical construction*, Proceedings of the 6th Conference of SAHC (Bath, 2-4 luglio 2008), Taylor & Francis, Londra 2008, pp. 191-198.
- GUASTI 1857 - C. GUASTI, *La cupola di Santa Maria del Fiore illustrata con i documenti dell'Archivio dell'Opera secolare*, Barbera, Bianchi e Comp., Firenze 1857.
- HAINES 2015 - M. HAINES (a cura di), *Gli anni della Cupola. Archivio digitale delle fonti dell'Opera di Santa Maria del Fiore*, 2015, <http://duomo.mpiwg-berlin.mpg.de/> (ultimo accesso 11 giugno 2021).
- IPPOLITO, PERONI 1997 - L. IPPOLITO, C. PERONI, *La cupola di Santa Maria del Fiore*, NIS, Roma, 1997.
- MAINSTONE 1980 - R.J. MAINSTONE, *Le origini della concezione strutturale della cupola di Santa Maria del Fiore*, in G. DE ANGELIS D'OSSAT, F. BORSI, P. RAGIONIERI (a cura di), *Filippo Brunelleschi. La sua opera, il suo tempo*, Atti del Convegno Internazionale di Studi Brunelleschiani (Firenze, 16-22 ottobre 1977), Centro Di, Firenze 1980, pp. 883-892.
- NELLI 1753 - C. NELLI, *Discorsi di architettura del senatore Giovan Batista Nelli*, Paperini, Firenze 1753.
- OTTONI, COISSON, BLASI 2010 - F. OTTONI, E. COISSON, C. BLASI, *The crack pattern in Brunelleschi's dome in Florence: damage evolution from historical to modern monitoring system analysis*, in «Advanced Materials Research», 2010, 133-134, pp. 53-64.
- OTTONI 2012 - F. OTTONI, *Delle cupole e del loro tranello. La lunga vicenda delle fabbriche cupolate tra dibattito e sperimentazione*, Aracne editrice, Roma 2012.
- OTTONI ET ALII 2016 - F. OTTONI, C. BLASI, M. BETTI, G. BARTOLI, *Enhancing resilience of historic domes to earthquakes. The historic chains of the baptistery of San Giovanni and of the dome of Santa Maria del Fiore in Florence*, in *Resilienza delle città d'arte ai terremoti*, XXXIII giornata dell'ambiente (Roma, 3-4 novembre 2015), Atti dei Convegni Lincei, Bardi edizioni, Roma 2016, pp. 287-308.
- PIZZIGONI 2014 - A. PIZZIGONI, *I mattoni del Brunelleschi. La geometria reciproca tridimensionale della Spinapesce nella concezione strutturale della cupola di Santa Maria del Fiore*, in «Structural», 2014, 185, DOI 10.12917/Stru185.05, pp. 1-20.
- POLENI 1748 - G. POLENI, *Memorie storiche della gran cupola del tempio vaticano*, Nella stamperia del Seminario, Padova 1748.
- PRAGER, SCAGLIA 1970 - F.D. PRAGER, G. SCAGLIA, *Brunelleschi. Studies of his technology and inventions*, Dover Publications Inc, New York 1970.
- RICCI 1983 - M. RICCI, *Il fiore di Santa Maria del Fiore*, Alinea, Firenze 1983.
- RICCI 1989 - M. RICCI, *La catena de' castagni della cupola di S. Maria del Fiore*, in G. TAMPONE (a cura di), *Legno e restauro. Ricerche e restauri su architetture e manufatti lignei*, Messaggerie Toscane, Firenze 1989, pp. 89-93.
- RICCI 2014 - M. RICCI, *Il genio di Filippo Brunelleschi e la costruzione della cupola di Santa Maria del Fiore*, Sillabe, Livorno 2014.
- RONDELET 1831 - J.B. RONDELET, *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, L. Carenti, Mantova 1831.
- ROSSI 1962 - P. ROSSI, *I filosofi e le macchine 1400-1700*, Feltrinelli, Milano 1962.
- Rossi 1978 - P.A. Rossi, *Principi costruttivi della cupola di Santa Maria del Fiore*, in «Critica d'Arte», 1978, 157-159, pp. 85-118.

- ROVIDA ET ALII 2017 - ROVIDA, M. LOCATI, A. ANTONUCCI, R. CAMASSI (a cura di), *Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI)*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), 2017, <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/> (ultimo accesso 11 giugno 2021).
- SAALMAN 1980 - H. SAALMAN, *Filippo Brunelleschi. The cupola of Santa Maria del Fiore*, A. Zwemmer Ltd, Londra 1980.
- SANPAOLESI 1941 - P. SANPAOLESI, *La cupola di Santa Maria del Fiore. Il progetto, la costruzione*, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma 1941.
- SANPAOLESI 1962 - P. SANPAOLESI, *Brunelleschi*, Edizioni per il Club del Libro, Milano, 1962.
- SANPAOLESI 1978 - P. SANPAOLESI, *Ipotesi sulle conoscenze matematiche statiche e meccaniche del Brunelleschi*, in *Scritti vari di Storia, Restauro e critica dell'architettura*, a cura della Facoltà di Architettura di Firenze, Firenze 1978, pp. 57-71.
- SANTUCCI 2013 - G. SANTUCCI, *"Incatenandolo al solito di ferri". Giorgio Vasari e l'uso del ferro nell'architettura toscana di età moderna*, in H. BURNS (a cura di), *Architettura e identità locali*, Olschki, Firenze 2013, pp. 147-165.
- SGRILLI 1733 - B.S. SGRILLI, *Descrizione e studi dell'insigne fabbrica di S. Maria del Fiore metropolitana fiorentina*, Per Bernardo Paperini, Firenze 1733.
- TAMPONE 1990 - G. TAMPONE (a cura di), *Il restauro del legno*, Nardini editore, Firenze 1990.
- TAMPONE 1996 - G. TAMPONE, *Il restauro delle strutture di legno*, Hoepli, Milano 1996.
- Tavole di riduzione 1809 - Tavole di riduzione delle misure e pesi toscani alle misure e pesi analoghi del nuovo sistema metrico dell'impero francese*, Presso Molini, Landi e comp., Firenze 1809.
- TOMMASEO, BELLINI 1861 - N. TOMMASEO, B. BELLINI, *Dizionario della lingua italiana*, Dalla società l'unione tipografico-editrice, Torino 1861.
- VALADIER 1831 - G. VALADIER, *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di San Luca*, Con permesso dei superiori, Roma 1831.
- VASARI 1550-1568 - G. VASARI, *Le vite de' più eccellenti pittori, scultori e architettori nelle redazioni del 1550 e 1568*, testo a cura di R. Bettarini, commento secolare a cura di P. Barocchi, 6 voll., Firenze, Sansoni - S.P.E.S. 1966-1987, vol. III, 1971.
- VENERONI 1703 - G. VENERONI, *Dittionario italiano e francese*, Appresso Lorenzo Basegio, Venezia 1703.
- XIMENES 1757 - L. XIMENES, *Del vecchio e nuovo Gnomone Fiorentino e delle osservazioni astronomiche, fisiche ed architettoniche fatte nel verificarne la costruzione*, Nella stamperia Imperiale, Firenze 1757.