

Il “Padiglione di legni” di Leonardo da Vinci: un modello ricostruttivo fisico e virtuale

Elena Eramo
 Ilaria Giannetti

Abstract

Nel corso delle ricerche mirate alla verifica dell'attenzione di Leonardo da Vinci nei confronti dell'antico, è stato possibile confermare l'unitarietà di alcuni disegni, reperiti in più codici vinciani, riferibili, nell'insieme, al progetto di una costruzione lignea smontabile e trasportabile, conosciuta come *Padiglione di legni*.

Nel contributo si presentano i risultati di uno studio volto alla verifica della effettiva coerenza progettuale di tali indicazioni sparse, attraverso lo sviluppo di una metodologia di modellazione filologica parametrica, supportata, anche, dalla realizzazione di un modello fisico in scala.

Lo studio ha portato un risultato innovativo, in quanto è la prima volta che tali disegni vengono riprodotti in piena aderenza alle indicazioni vinciane, realizzando un modello ricostruttivo, fisico e virtuale, del piccolo padiglione smontabile. Lo studio ha inoltre dimostrato la validità della metodologia di indagine adottata e la sua potenziale scalabilità per le analisi architettoniche e costruttive sulla base delle fonti documentali.

Parole chiave

Modellazione parametrica, Modello fisico, HBIM, Fonti documentali, Codici Vinciani.



Dai disegni del padiglione di Leonardo da Vinci al modello ricostruttivo virtuale.

Introduzione

Nei codici di Leonardo da Vinci, esiste un numero esiguo di carte, principalmente raccolte nel Manoscritto H [Ms. H, ff. 50v, 78v, 79r, 89r] (fig. 1) e nel Codice Atlantico [Cod. Atl., ff. 95r, 95v, 769r, 769v], con disegni riferibili a un "Padiglion di legni" [Ms. H, f. 78v]: piccola costruzione, di lato pari a circa 2,7 m, scomponibile e trasportabile, "non più grande di un armadio di sacrestia" [Pedretti 1981, p. 64].

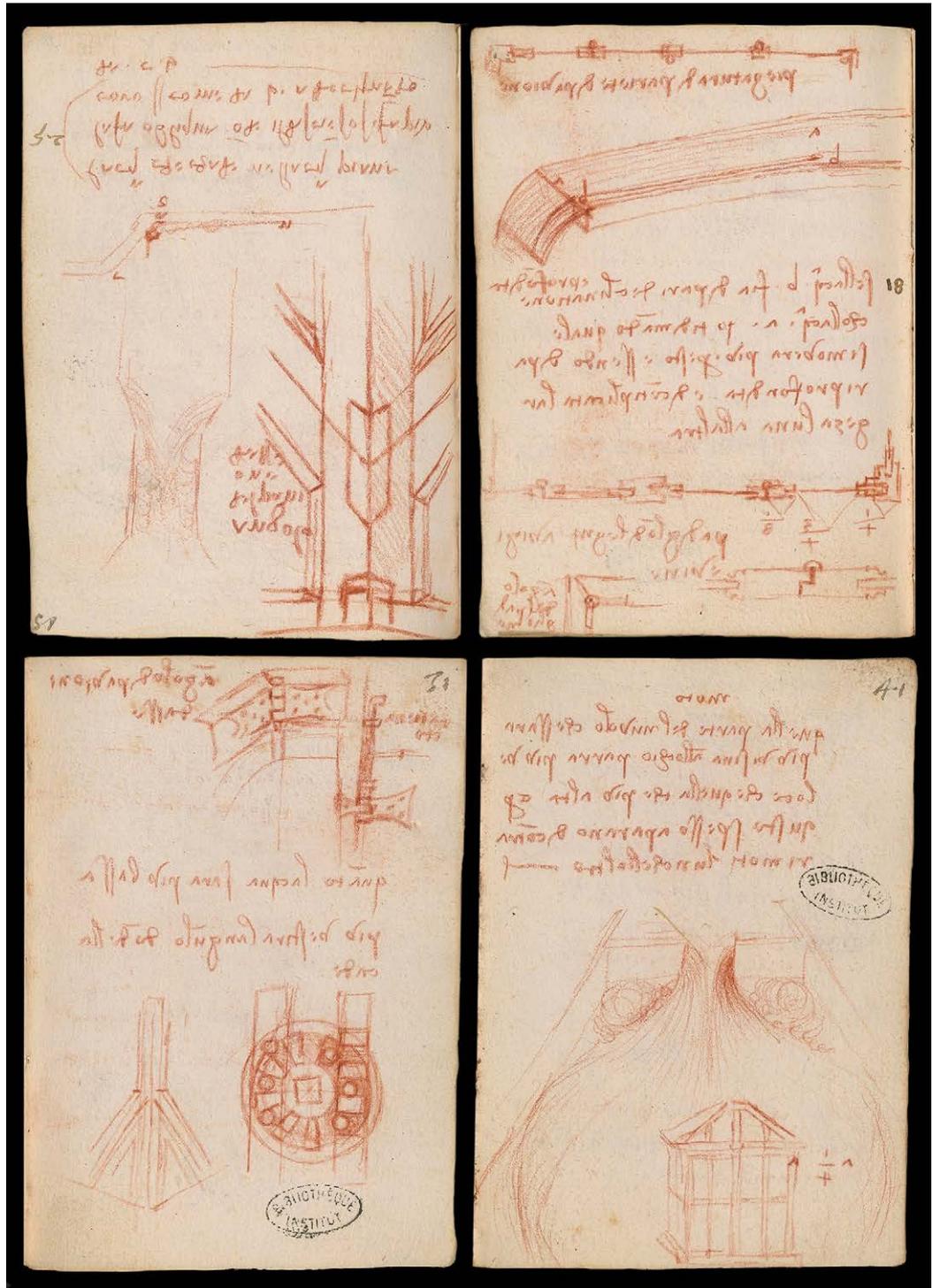


Fig. 1. Paris, Bibliothèque de l'Institut de France, Manuscrits de Léonard de Vinci, Ms 2179, ff. 50v, 78v, 79r, 89r. (©Bibliothèque de l'Institut de France).

Il padiglione è tra i progetti di architettura di Leonardo meno indagati dalla letteratura. L'unica analisi organica del progetto è offerta da Pedretti [Pedretti 1981, pp. 63-71], che ne stabilisce, innanzitutto, gli estremi cronologici, collocandone l'ideazione nel periodo della permanenza di Leonardo a Vigevano nel 1494 [1]. Nella sua analisi, Pedretti riassume i principali problemi per l'interpretazione dei disegni: la non chiarita destinazione funzionale; le poche annotazioni metriche, seppure sufficienti a definire la dimensione complessiva dell'opera; le principali mancanze o incongruenze, per le quali una ricostruzione filologica del progetto risulta solo parzialmente possibile.

In merito alla possibile destinazione funzionale, Marinoni identifica i temi dei ff. 95 e 769, rispettivamente, quali "padiglione smontabile o camera da campo" e "padiglione della Duchessa Isabella" [Marinoni 2006], presumibilmente per l'analogia della tipologia lignea con i più noti disegni del "padiglione del giardino della duchessa di Milano" [Ms. B, ff. 11v-12r]. Vecce ritiene, più plausibilmente, che la costruzione sia una struttura destinata alla duchessa Beatrice [2], da collocare nelle tenute di campagna per il riposo o con funzione di "raffinato bagno e di toilette" [Vecce 2016, p. 18]. Una ipotesi alternativa è proposta da Pedretti, il quale interpreta il padiglione come "studiolo mobile", che Leonardo potesse portare con sé negli spostamenti tra i diversi luoghi del ducato [Pedretti 1981, p.70]. Nelle note autografe di Leonardo la costruzione è genericamente indicata come padiglione ligneo [3], con due eccezioni: la prima a margine del dettaglio di un elemento in ferro e legno ripiegato, definito "Asse pel fondo dello studio" [Cod. Atl., f. 769v]; la seconda accanto al disegno di un ferro per il fissaggio di un pacchetto di elementi lignei, indicato: "Angulo d'una camera da campo" [Cod. Atl., f. 769v]. A queste va aggiunta la nota che segue uno studio di connessioni metalliche snodabili per travetti lignei, presente nel Codice Madrid I [f. 172r], nella quale Leonardo sottolinea l'utilità di una delle giunture disegnate "nelle piegature delle pariete de' padiglioni fatti di legniami, per farli da sconnettere e ffarli portatili". Le analisi condotte confermano l'ipotesi di Pedretti, per la maggior compatibilità con le indicazioni autografe di Leonardo e, soprattutto, per la facilità e rapidità di montaggio, supportata da pionieristiche tecniche di 'prefabbricazione', messe in luce nella ricostruzione digitale del progetto qui presentata.

Metodologia

Per lo studio del padiglione, al fine di una approfondita comprensione dei dettagli costruttivi e della ricostruzione del processo di montaggio, è stata sviluppata una specifica metodologia di indagine che si basa sull'uso combinato della modellazione parametrica e della realizzazione di modelli in scala, attraverso tecniche di fabbricazione digitale. In particolare, il modello parametrico è stato impiegato, in una prima fase, come strumento di 'ridisegno ricostruttivo' e, in una seconda fase, come strumento di rappresentazione. Nella prima fase, il modello è stato utilizzato, seguendo il metodo filologico, per ricostruire la geometria e i dettagli costruttivi del padiglione attraverso l'analisi comparativa e iterativa delle fonti grafiche. Nella seconda fase, il modello, arricchito da contenuti informativi, costituisce lo strumento per la rappresentazione virtuale del padiglione e, allo stesso tempo, un 'archivio digitale' interattivo delle corrispettive carte vinciane. La metodologia adottata è stata articolata in quattro azioni: a) reperimento e analisi delle fonti; b) modellazione parametrica e informativa del padiglione sulla base delle fonti; c) realizzazione di un modello fisico in scala; d) produzione di visualizzazioni interattive del padiglione e della relativa documentazione ('archivio digitale'). Sul piano operativo, le azioni b), c) e d) sono supportate: dall'uso di software commerciali di modellazione parametrica e informativa, sfruttando l'interoperabilità tra il software Grasshopper e il software Revit attraverso il *plug-in* Rhino Inside-Revit; dalla tecnologia di produzione *Fused deposition modeling* (FDM); con l'uso della stampante 3D desktop, Prusa i3 MK3S+; dall'esportazione dei dati secondo l'open standard IFC 4 e sotto forma di database testuali; infine, della piattaforma ShapeDiver; applicazione cloud per la realizzazione di simulazioni di realtà aumentata sulla base dei codici di modellazione parametrica elaborati con il software Grasshopper.

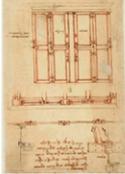
DOCUMENTI RELATIVI AL PADIGLIONE						
ID	CODICE	FOGLIO	IMMAGINE	TRASCRIZIONE	FONTI	LINK
D1	Codice Atlantico	95r		<p>(A sinistra) Tutti i ferramenti vanno di dentro.</p> <p>(Al centro) Finestra - Finest[r]a</p> <p>(In basso al centro) Ogni asse debbe essere ascosta dentro alla superfizie del legname insino al centro del suo polo. E questa regola farà che li usci o finestre non faranno nell'aprire alcuno spiraculo.</p> <p>(A sinistra) Si serra a vite la bandella.</p> <p>(A destra) Muro.</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D2	Codice Atlantico	95v		<p>(Invisibile prima del restauro. Contiene il disegno di un particolare del "padiglione smontabile" visto nel recto.)</p> <p>Ferro</p> <p>Angulo d'una camera da campo</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D3	Codice Atlantico	769r		<p>(Figura superiore) di fori - 3/4 larga - 1/8 - 1/8 - braccia 1 e 2/3 - 1/4 - di dentro - 1/4 - b a a b, da capo a piè fia l'uscio alto braccia 4 e 1/3</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D4	Codice Atlantico	769v		<p>(D'alto in basso, presso le rispettive figure) Uscio serrato.</p> <p>Uscio aperto.</p> <p>Finestra doppia.</p> <p>Angolo del pavione.</p> <p>Catenaccioli per disgiugnere e congiugnere.</p> <p>Asse pel fondo dello studio.</p> <p>Questa non è laldabile.</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D5	Manoscritto H	50v		<p>(particolare del padiglione di Vigevano)</p> <p>angolo del pavione d'asse.</p> <p>(strozzatura di canale)</p> <p>(profilo di canale, con) c - nb - a - s</p> <p>L'acqua che cade nell'acqua piana, la fa obliqua, onde il discenso si fa più corre[n]te: come da b a declinando da c b.</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	
D6	Manoscritto H	78v		<p>Piegatura di parete di pavione .</p> <p>(Canale diviso nel senso della lunghezza in) a-b, a-b</p> <p>Se l'acqua b fia di pari declinazione e profondità coll'acqua a, io ti dimando quale si muoverà più presto essendo di pari profondità e centuplicata larghezza l'una all'altra.</p> <p>(Elemento di padiglione, con) 1/4 3/4 1/8</p> <p>Padigion di legni a Vigevine.</p> <p>Angolo del padiglione.</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	
D7	Manoscritto H	79r		<p>(Elemento del padiglione, con) catenaccio</p> <p>Angolo di pavione d'asse.</p> <p>Quanto l'acqua sarà più bassa, più vestirà l'angolo dond'ella cade.</p> <p>(Elementi del padiglione)</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	
D8	Manoscritto H	89r		<p>Moto.</p> <p>Quella parte del nuvolo che sarà più vicina all'occhio, parrà più veloce che quella ch'è più alta, e per qu[est]o spesso apparano di contrari moti l'un che l'altro.</p> <p>(Strozzatura di canale)</p> <p>(Padiglione, con) a 1/4</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	

Fig. 2. Catalogo dei disegni vinciani riferibili al padiglione. Elaborato dalle autrici.

Reperimento e analisi delle fonti

Nella prima fase di indagine è stata condotta l'analisi dei dettagli di progetto del padiglione delineati nei fogli citati in letteratura, seguita da una rilettura approfondita della produzione vinciana, al fine di individuare eventuali carte non identificate riferibili al padiglione, ovvero studi su dettagli costruttivi simili a quelli contenuti nelle carte note. I disegni sono stati catalogati in due gruppi: quelli certamente riferibili all'oggetto di studio e quelli utili, per analogia con altri progetti di Leonardo, a completarne gli elementi costruttivi non completamente definiti.

Gli otto disegni del primo gruppo sono divisi tra il Manoscritto H [Ms. H, ff. 50v, 78v, 79r, 89r] e il Codice Atlantico [Cod. Atl., ff. 95r, 95v, 769r, 769v] (fig. 2). Il primo è un taccuino composto da tre quaderni di pagine in sedicesimo, attualmente rilegati in un ordine diverso da quello di compilazione, redatto tra Milano e Vigevano all'inizio del 1494 [Vecce 2016, p. 15]. I fogli riferiti al padiglione appartengono al medesimo quaderno [Ivi, p. 17] e contengono rapidi schizzi progettuali e dettagli costruttivi redatti a matita rossa. Il *medium* è utilizzato, indifferentemente, per scrivere e disegnare: consuetudine che, alla fine del Quattrocento, Leonardo consolida per l'annotazione speditiva di idee e osservazioni sul campo, sfruttando supporti di piccolo formato [Antonelli 2019].

Di diversa natura, i due fogli contenuti nel Codice Atlantico hanno, invece, datazione non certa. Il Codice è, notoriamente, una delle miscellanee derivate dalla raccolta e rilegatura, in ordine prevalentemente casuale, dei fogli sciolti di grande formato presenti, alla morte di Leonardo, nel suo studio [Vecce 1998, p. 47]. I disegni del padiglione occupano due fogli non consecutivi [Cod. Atl., ff. 95, 769], ma coerenti nella tecnica esecutiva [4] e nel contenuto. Dai presupposti brevemente illustrati, secondo una prassi progettuale ricorrente per Leonardo in quegli anni [Calvi, 1925 pp. 147 e ss.], si ritiene che questi ultimi siano rielaborazioni 'in pulito' e più meditate della medesima idea progettuale delineata nelle carte del Manoscritto H, a questa coeve.

Tra le carte del secondo gruppo, nell'ambito di questo studio, ne è stata riscontrata una mai prima segnalata dalla letteratura con riferimento al padiglione [Vecce 2016; Pedretti 1981]. Nel foglio si leggono indicazioni per la preparazione di una tavola lignea per dipingere, messa "in telaio in modo possa crescere e discredere secondo l'umido", accompagnate da una piccola assonometria [Ms. A, f. 1r]. Sebbene non direttamente riferibili al progetto, gli accorgimenti lì descritti appaiono coerenti con le ipotesi sul sistema di montaggio dei pannelli-parete del padiglione.

Modellazione parametrica e informativa

Nella seconda azione, le carte sono state catalogate attribuendo un codice identificativo univoco, che ne permettesse l'associazione con gli elementi costruttivi del padiglione e l'elaborazione dei dati di input per la modellazione.

A tal fine è stata eseguita una classificazione delle componenti costruttive secondo una prima distinzione tra elementi lignei ed elementi metallici di connessione. Gli elementi lignei sono stati, quindi, gerarchicamente suddivisi in due classi: struttura portante (travi del basamento, montanti e correnti del telaio, travi della copertura) e elementi non strutturali (pannelli-parete, pannelli di pavimento e di copertura). Sono state, quindi, aggiunte due classi di pezzi 'speciali', impiegati per la decorazione e per la chiusura di colmo del tetto a padiglione. Per gli elementi metallici, invece, sono stati individuati sei tipi di connessioni, riconducibili a quattro classi, che seguono la denominazione desunta dalle fonti: "ferri"; "catenaccioli", "cerniere", "assi pel fondo".

La tipizzazione degli elementi lignei è stata desunta dalle carte ed è stata organizzata in elementi strutturali portanti (1 tipo di montante angolare e 2 tipi di montante centrale, 3 tipi di travi di basamento, 4 tipi di travi di pavimento; 2 tipi di trave-cornice, e 1 solo tipo di trave di colmo) e in tipologie di pannelli (pannello-parete pieno; pannello-parete con finestra; pannello-parete con porta; pannello di copertura; pannello di pavimento), queste ultime caratterizzate dall'incastro di telai e tavole.

A conclusione della modellazione geometrica, ciascun elemento è stato arricchito da specifici parametri informativi: il nome originario dell'elemento desunto dalla documentazione; il link diretto alle fonti di riferimento; i dati dimensionali generali, espressi anche in termini dei rapporti di proporzione; il peso stimato.

Modello fisico

Per verificare le ipotesi elaborate sul processo di montaggio, a partire dal modello parametrico è stato fabbricato un modello in scala di un angolo del padiglione con l'uso della stampante Prusa i3 MK3S+: le dimensioni contenute del piatto di stampa, 20 x 20 centimetri, hanno richiesto la progettazione di un modello in scala 1:10. La compatibilità tra il modello tridimensionale virtuale e la tecnologia di produzione rapida della stampa 3D ha reso possibile l'impiego del modello fisico come agile strumento di indagine, complementare al modello virtuale. È stato, così, possibile verificare la correttezza delle ipotesi dimensionali e geometriche elaborate nel modello virtuale, attraverso la simulazione fisica del processo di montaggio del padiglione. (fig. 4) A tal proposito è emersa la possibilità di montare le componenti sfruttando convenienti processi di confezione degli elementi a piè d'opera, velocizzando notevolmente l'assemblaggio, come nel caso dei pannelli di pavimento e dei pannelli-parete con cerniere assemblabili a terra contemporaneamente al montaggio del telaio principale del padiglione. (fig. 5)

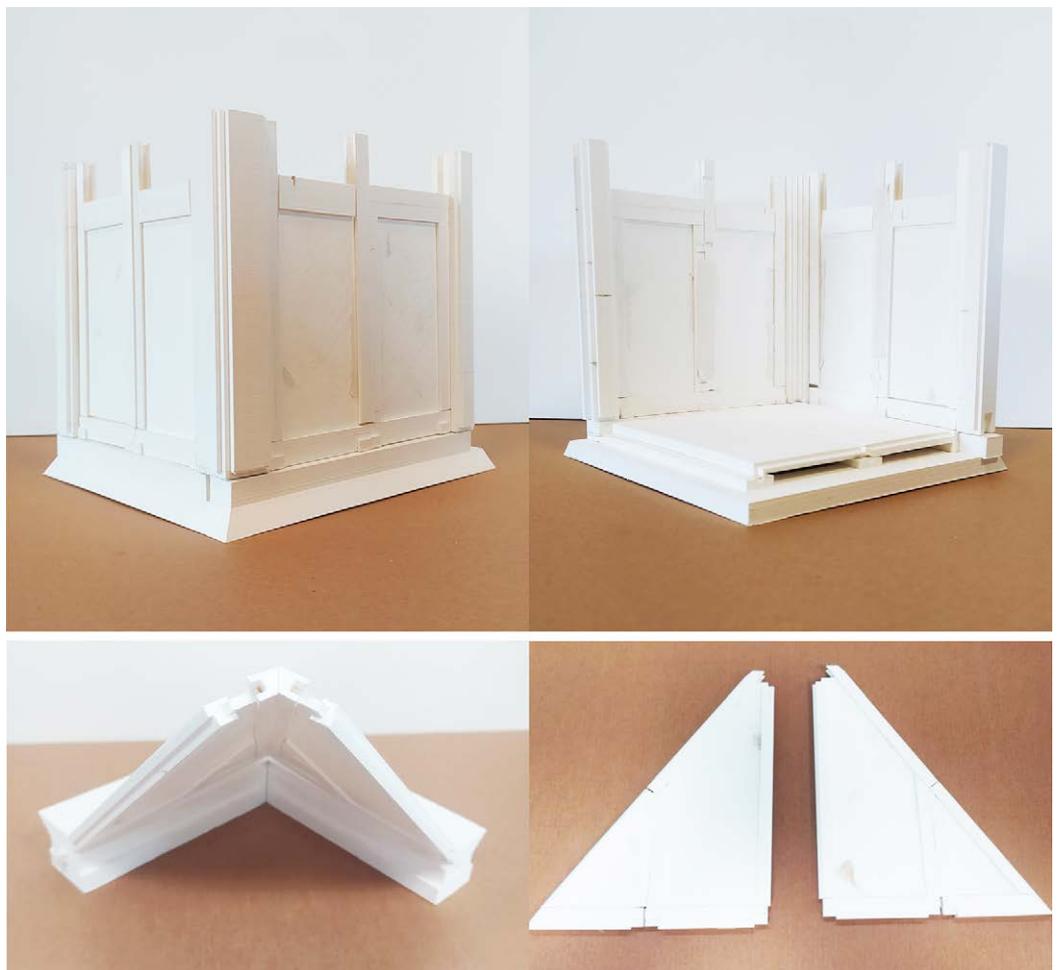


Fig. 4. Prove sulla procedura di montaggio del modello fisico. Elaborazione delle autrici.

Visualizzazioni interattive e archivio digitale

A supporto del processo di conoscenza e valorizzazione del padiglione e delle relative fonti, il modello di indagine è stato arricchito attraverso due azioni parallele. Da un lato il modello parametrico e informativo è stato prodotto in formato interoperabile, sulla base delle codifiche degli standard aperti. Il formato IFC 4 è stato, quindi, adottato per permetterne la fruizione on-line, su visualizzatori *open*, e in forma di database testuali, sfruttando e personalizzando la funzione nativa 'abachi' del software Revit. In entrambi i casi, alla geometria del modello sono puntualmente associate le fonti grafiche permettendo, allo stesso tempo, la verifica del processo di modellazione filologica e la fruizione semplificata delle fonti documentali, in ambiente digitale interattivo. Dall'altro, sono state prodotte visualizzazioni interat-

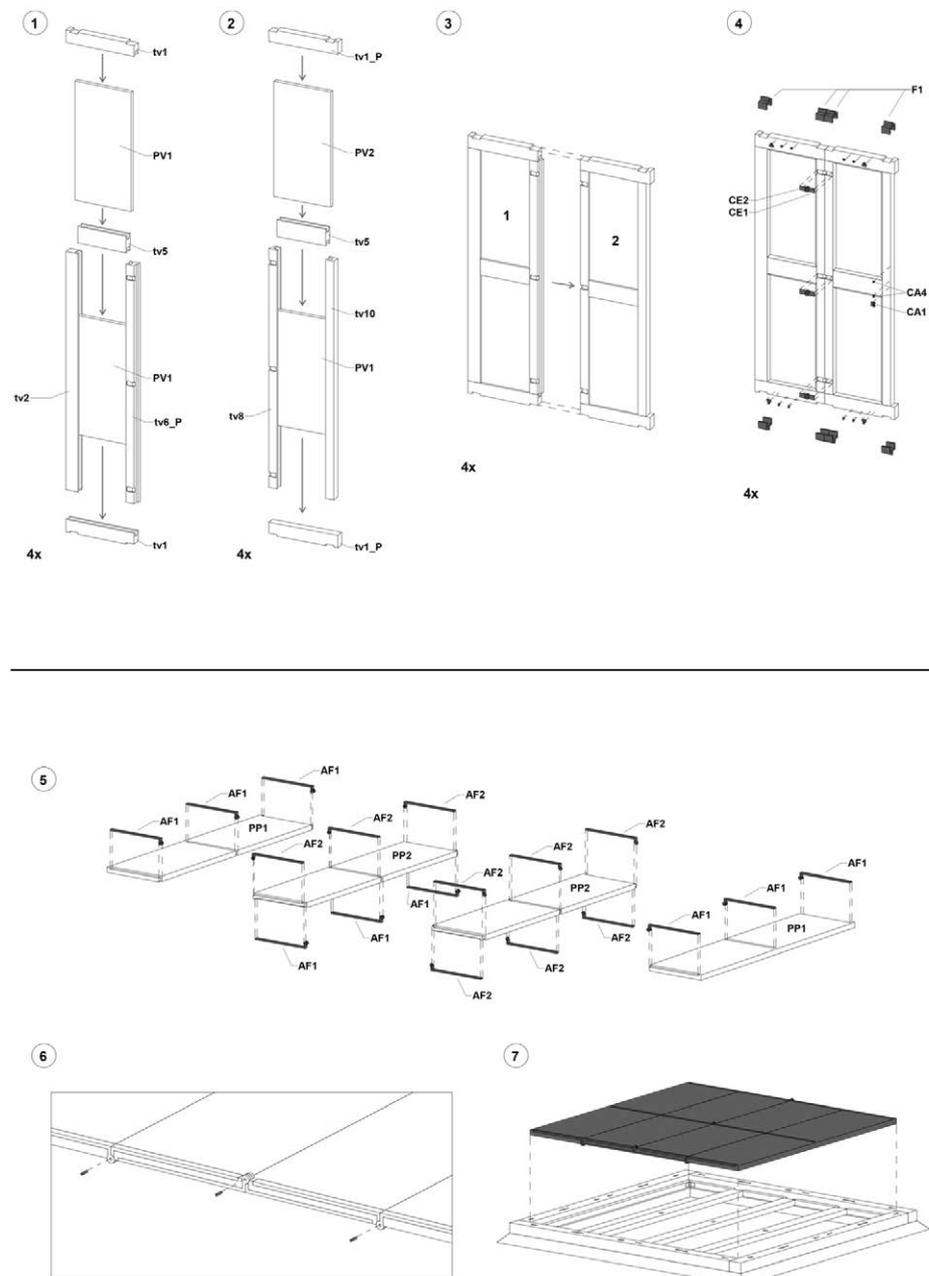


Fig. 5. Estratto degli elaborati grafici di illustrazione del processo di montaggio ipotizzato per la parete-porta (in alto) e i pannelli di pavimento (in basso). Elaborazione delle autrici.



Fig. 6. Viste del modello virtuale del padiglione. Elaborazione delle autrici.

tive e immersive del modello virtuale, elaborando una simulazione del manufatto in realtà aumentata a partire dal modello parametrico. L'interfaccia per la visualizzazione immersiva del manufatto è stata sviluppata attraverso la personalizzazione del codice di modellazione parametrica, elaborato con il software Grasshopper, e l'impiego della piattaforma ShapeDiver: (fig. 8)

Conclusioni

Il presente lavoro è stato incentrato sullo studio del "Padiglione di legni" di Leonardo da Vinci attraverso l'applicazione di una metodologia di indagine basata sull'uso combinato dell'analisi delle fonti, della modellazione parametrica-informativa, di modelli fisici e di visualizzazioni interattive.

I risultati ottenuti hanno per oggetto, innanzitutto, l'inedita ricostruzione fisica e virtuale del piccolo manufatto, cui fa seguito la riprova della genialità del progettista anche nel concepire un'architettura minore, portatile, secondo principi di facile e rapido assemblaggio e smontaggio, arricchiti da procedure di confezione a piè d'opera degli elementi costruttivi.

I risultati, inoltre, pongono in luce la validità della metodologia di indagine adottata e la sua potenziale scalabilità per le analisi architettoniche e costruttive sulla base delle fonti documentali.



Fig. 7. Vista del modello virtuale del padiglione dall'interno. Elaborazione delle autrici.

Note

[1] [Pedretti 1981, p. 63]. Nello specifico, Pedretti fa riferimento a un appunto del 2 febbraio 1494, segnato a margine di un disegno redatto presso la Sforzesca, residenza estiva del duca Sforza presso Vigevano [Ms. H, f. 65v]. La datazione proposta da Pedretti è ribadita da Vecce, in quanto concorde con il probabile ordine di redazione dei fogli del Ms. H [Vecce 2016].

[2] È, in effetti, per sua moglie Beatrice d'Este, che Lodovico Sforza fa trasformare la sua tenuta presso Vigevano nella villa della Sforzesca, visitata da Leonardo al tempo della redazione del progetto del padiglione [Pedretti 1981, p. 64].

[3] In alcuni degli elaborati si legge: "angolo del pavione" [Cod. Atl., f. 769v], "angolo del pavione d'asse" [MS. H, f. 50v], "Padiglione di legni a Vigevine" e "Angolo del padiglione" [MS. H, f. 78v], "Angolo di pavione d'asse" [MS. H, f. 79r].

[4] "Disegni preparatori a matita quindi definitivi a sanguigna, ripassati a penna" [Marinoni 2006, vol. 13, p. 269].

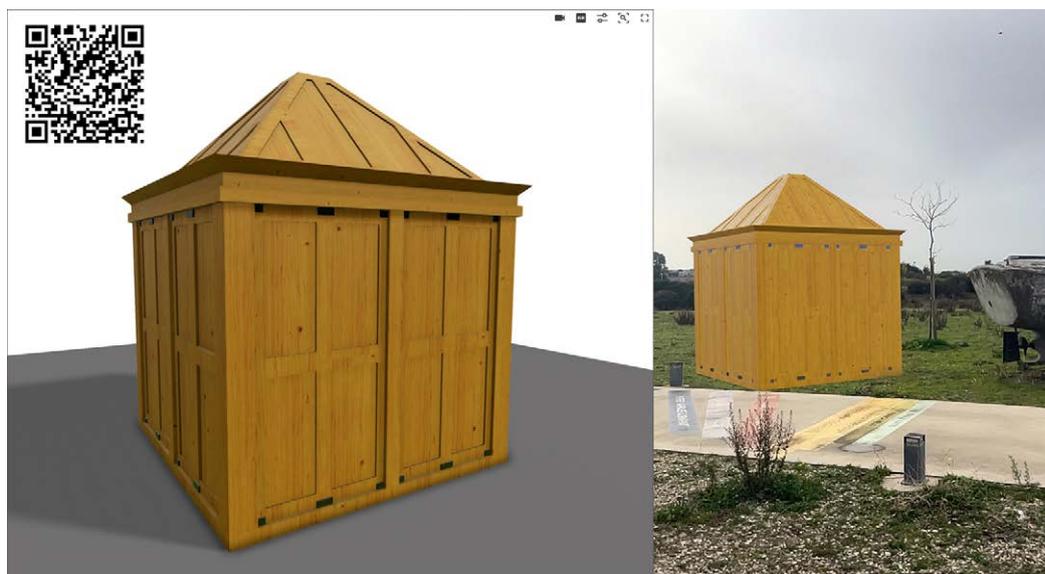


Fig. 8. Modello per la visualizzazione immersiva sulla piattaforma ShapeDiver.

Riferimenti bibliografici

Antonelli R. (2019). Tra annotazione e studio: la pratica della matita rossa nei manoscritti di Leonardo di età sforzesca. In *Libri e documenti*, n. XLIV-XLV, pp. 13-32.

Calvi G. (1925). *I manoscritti di Leonardo da Vinci dal punto di vista cronologico, storico e biografico*. Bologna: Zanichelli.

Cod. Atl.: Da Vinci L. (ca 1478-1518). *Codice Atlantico*. Manoscritto. Biblioteca Ambrosiana, Milano. <<https://codex-atlanticus.ambrosiana.it>> (consultato il 7 agosto 2024).

Ms. A: Da Vinci L. (ca 1485-1515). *Manuscript A*. Manoscritto. Ms 2172, Manuscripts de Léonard de Vinci, Bibliothèque de l'Institut de France, Paris. <<https://bibnum.institutdefrance.fr/ark:/61562/bi24175>> (consultato il 7 agosto 2024).

Ms. B: Da Vinci L. (ca 1487-1489). *Manuscript B*. Manoscritto. Ms 2173, Manuscripts de Léonard de Vinci, Bibliothèque de l'Institut de France, Paris. <<https://bibnum.institutdefrance.fr/ark:/61562/bi24197>> (consultato il 7 agosto 2024).

Ms. H: Da Vinci L. (ca 1493-1494). *Manuscript H*. Manoscritto. Ms 2179, Manuscripts de Léonard de Vinci, Bibliothèque de l'Institut de France, Paris. <<https://bibnum.institutdefrance.fr/ark:/61562/bi24171>> (consultato il 7 agosto 2024).

Marinoni A. (2006). *Il Codice Atlantico della Biblioteca Ambrosiana di Milano*. Trascrizione critica Augusto Marinoni. Milano: Giunti.

Marinoni A. (1990). *Leonardo da Vinci. I Manoscritti dell'Institut de France. Edizione in facsimile sotto gli auspici della Commissione Nazionale Vinciana e dell'Institut de France*. Trascrizione diplomatica e critica di Augusto Marinoni. Firenze: Giunti Barbèra.

Pedretti C. (1981). *Leonardo Architetto*. Milano: Electa.

Vecce C. (2016). Leonardo e il Codice di Vigevano (una lettura del codice H). In *Valori tattili*, n.8, pp.15-28.

Vecce C. (1998). Nota al testo. In C. Pedretti (a cura di). *Il Codice Arundel 263 nella British Library*, pp. 47-52. Firenze: Giunti.

Autori

Elena Eramo, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, eramo@ing.uniroma2.it
 Ilaria Giannetti, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, ilaria.giannetti@uniroma2.it

Per citare questo capitolo: Elena Eramo, Ilaria Giannetti (2024). Il "Padiglione di legni" di Leonardo da Vinci: un modello ricostruttivo fisico e virtuale/ The "Padiglione di legni" by Leonardo da Vinci: a virtual and physical reconstruction. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. xxx-xxx

The “*Padiglion di legni*” by Leonardo da Vinci: a virtual and physical reconstruction

Elena Eramo
 Ilaria Giannetti

Abstract

Within broad research aimed at verifying Leonardo da Vinci’s attention to antiquity, it was possible to confirm the unity of minor drawings found in several *codici Vinciani*, referable, as a whole, to the design of the *Padiglion di legni*, a small wooden construction, that can be disassembled and transported. In this contribution, we present the results of a study aimed at verifying the actual design coherence of these fragmented drawings through an innovative methodology based on parametric philological modeling and the realization of a physical scale model.

The study brought a significant finding: the virtual and physical reconstruction of the small wooden construction in full adherence to the Vincian indications. The study also demonstrated the effectiveness of the adopted methodology and its scalability for architectural and constructive analyses based on documentary sources.

Keywords

Parametric modeling, Physical model, HBIM, Documentary sources, Vincian drawings.



From the drawings of Leonardo Da Vinci to the virtual model of the pavillion.

Introduction

In the codes of Leonardo da Vinci, there is a small number of sheets, mainly collected in the Manuscript H [Ms. H, ff. 50v, 78v, 79r, 89r] (fig. 1) and in the Codex Atlanticus [Cod. Atl., ff. 95r, 95v, 769r, 769v], with drawings related to a "Padiglion di legni" [Ms. H, f. 78v]: a small structure, with a side of about 2.7 m, disassemblable and transportable, "non più grande di un armadio di sacrestia" [Pedretti 1981, p. 64]. The pavilion is among Leonardo's architectur-

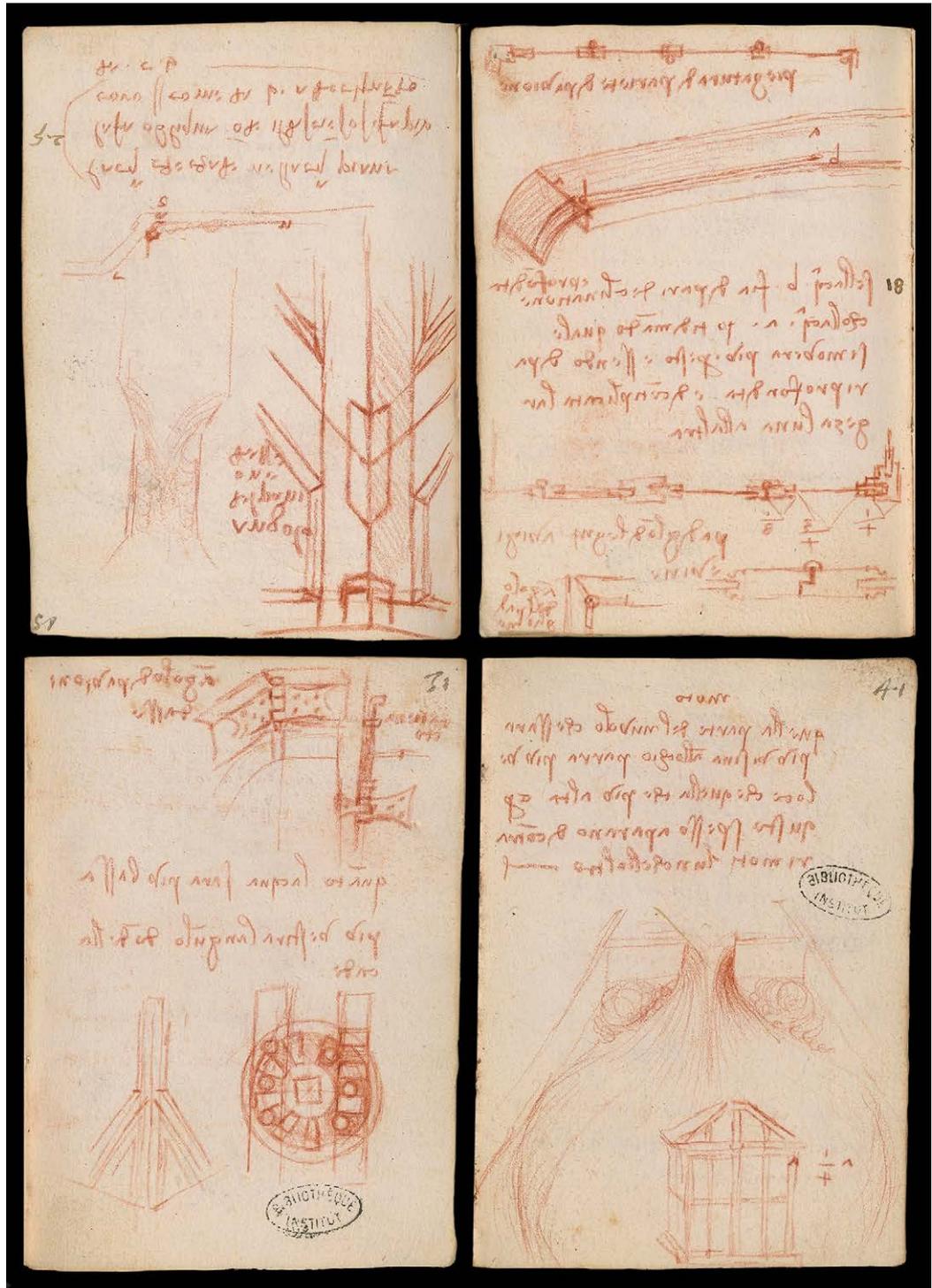


Fig. 1. Paris, Bibliothèque de l'Institut de France, Manuscrits de Léonard de Vinci, Ms 2179, ff. 50v, 78v, 79r, 89r. (©Bibliothèque de l'Institut de France).

al projects least studied by the literature. The only comprehensive analysis of the project is offered by Pedretti [Pedretti 1981, pp. 63-71], who first establishes its chronological boundaries, placing its conception during Leonardo's stay in Vigevano in 1494 [1]. In his analysis, Pedretti summarizes the main issues for interpreting the drawings: the unclear functional purpose; the few metric annotations, although sufficient to define the overall size of the work; the main lacks or inconsistencies, for which a philological reconstruction of the project is only partially possible. Regarding the possible functional purpose, Marinoni identifies the themes of ff. 95 and 769, respectively, as '*padiglione montabile o camera da campo*' and '*padiglione della Duchessa Isabella*' [Marinoni 2006], presumably due to the analogy of the wooden type with the more well-known drawings of the '*padiglione del giardino della duchessa di Milano*' [Ms. B, ff. 11v-12r]. Vecce more plausibly believes that the construction is a structure intended for Duchess Beatrice [2], to be placed in the countryside estates for rest or as a 'refined bath and toilette' [Vecce 2016, p. 18]. An alternative hypothesis is proposed by Pedretti, who interprets the pavilion as a '*mobile studiolo*', which Leonardo could carry with him during his travels among the various places of the duchy [Pedretti 1981, p.70]. In Leonardo's autograph notes, the construction is generally referred to as a wooden pavilion [3], with two exceptions: the first on the margin of the detail of a folded iron and wood element, defined as '*Asse pel fondo dello studio*' [Cod. Atl., f. 769v]; the second next to the drawing of an iron fixing for a package of wooden elements, indicated as '*Angulo d'una camera da campo*' [Cod. Atl., f. 769v]. To these must be added the note following a study of articulated metal joints for wooden beams, present in the Codex Madrid I [f. 172r], in which Leonardo emphasizes the usefulness of one of the designed joints '*nelle piegature delle pariete de' padiglioni fatti di legniami, per farli da sconnettere e ffarli portatili*'. The analyses conducted confirm Pedretti's hypothesis, for greater compatibility with Leonardo's autograph indications and, above all, for the ease and speed of assembly, supported by pioneering 'prefabrication' techniques, highlighted in the digital reconstruction of the project presented here.

Methodology

For the study of the pavilion, aimed at a thorough understanding of the construction details and the reconstruction of the assembly process, a specific investigation methodology was developed that relies on the combined use of parametric modeling and the creation of scale models through digital fabrication techniques. In particular, the parametric model was used, in an initial phase, as a tool for 'reconstructive redesign' and, in a second phase, as a representation tool. In the first phase, the model was used, following the philological method, to reconstruct the geometry and construction details of the pavilion through comparative and iterative analysis of the graphic sources. In the second phase, the model, enriched with informational content, serves as a tool for the virtual representation of the pavilion and, at the same time, as an interactive 'digital archive' of the corresponding Vincian sheets.

The adopted methodology was articulated into four actions: a) retrieval and analysis of sources; b) parametric and informational modeling of the pavilion based on the sources; c) creation of a physical scale model; d) production of interactive visualizations of the pavilion and the related documentation ('digital archive').

Operationally, actions b), c), and d) are supported by the use of commercial parametric and informational modeling software – leveraging the interoperability between Grasshopper software and Revit software through the Rhino Inside-Revit plug-in; by Fused Deposition Modeling (FDM) technology – using the Prusa i3 MK3S+ desktop 3D printer; by exporting data according to the open standard IFC 4 and in the form of textual databases; and finally, by the ShapeDiver platform, a cloud application for creating augmented reality simulations based on parametric modeling codes developed with Grasshopper software.

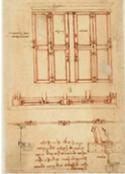
DOCUMENTI RELATIVI AL PADIGLIONE						
ID	CODICE	FOGLIO	IMMAGINE	TRASCRIZIONE	FONTI	LINK
D1	Codice Atlantico	95r		<p>(A sinistra) Tutti i ferramenti vanno di dentro.</p> <p>(Al centro) Finestra - Finest[r]a</p> <p>(In basso al centro) Ogni asse debbe essere ascosta dentro alla superfizie del legname insino al centro del suo polo. E questa regola farà che li usci o finestre non faranno nell'aprire alcuno spiraculo.</p> <p>(A sinistra) Si serra a vite la bandella.</p> <p>(A destra) Muro.</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D2	Codice Atlantico	95v		<p>(Invisibile prima del restauro. Contiene il disegno di un particolare del "padiglione smontabile" visto nel recto.)</p> <p>Ferro</p> <p>Angulo d'una camera da campo</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D3	Codice Atlantico	769r		<p>(Figura superiore) di fori - 3/4 larga - 1/8 - 1/8 - braccia 1 e 2/3 - 1/4 - di dentro - 1/4 - b a a b, da capo a piè fia l'uscio alto braccia 4 e 1/3</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D4	Codice Atlantico	769v		<p>(D'alto in basso, presso le rispettive figure) Uscio serrato.</p> <p>Uscio aperto.</p> <p>Finestra doppia.</p> <p>Angolo del pavione.</p> <p>Catenaccioli per disgiugnere e congiugnere.</p> <p>Asse pel fondo dello studio.</p> <p>Questa non è laldabile.</p>	[Cod. Atl.; Marinoni 2006]	
D5	Manoscritto H	50v		<p>(particolare del padiglione di Vigevano)</p> <p>angolo del pavione d'asse.</p> <p>(strozzatura di canale)</p> <p>(profilo di canale, con) c - nb - a - s</p> <p>L'acqua che cade nell'acqua piana, la fa obliqua, onde il disenso si fa più corre[n]te: come da b a declinando da c b.</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	
D6	Manoscritto H	78v		<p>Piegatura di parete di pavione .</p> <p>(Canale diviso nel senso della lunghezza in) a-b, a-b</p> <p>Se l'acqua b fia di pari declinazione e profondità coll'acqua a, io ti dimando quale si muoverà più presto essendo di pari profondità e centuplicata larghezza l'una all'altra.</p> <p>(Elemento di padiglione, con) 1/4 3/4 1/8</p> <p>Padigion di legni a Vigevine.</p> <p>Angolo del padiglione.</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	
D7	Manoscritto H	79r		<p>(Elemento del padiglione, con) catenaccio</p> <p>Angolo di pavione d'asse.</p> <p>Quanto l'acqua sarà più bassa, più vestirà l'angulo dond'ella cade.</p> <p>(Elementi del padiglione)</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	
D8	Manoscritto H	89r		<p>Moto.</p> <p>Quella parte del nuvolo che sarà più vicina all'occhio, parrà più veloce che quella ch'è più alta, e per qu[est]o spesso apparano di contrari moti l'un che l'altro.</p> <p>(Strozzatura di canale)</p> <p>(Padiglione, con) a 1/4</p>	[Ms. H; Marinoni 1990]	

Fig. 2. Catalog of Leonardo da Vinci's drawings related to the pavilion. Elaboration by the authors.

Collection and analysis of the sources

In the first phase of the investigation, an analysis of the pavilion's design details outlined in the sheets cited in the literature was conducted, followed by an in-depth review of Leonardo's works to identify any unidentified sheets related to the pavilion or studies on construction details similar to those in the known sheets. The drawings were cataloged into two groups: those certainly related to the object of study and those useful, by analogy with other Leonardo projects, to complete the construction elements not fully defined.

The eight drawings in the first group are divided between Manuscript H [Ms. H, ff. 50v, 78v, 79r, 89r] and the Codex Atlanticus [Cod. Atl., ff. 95r, 95v, 769r, 769v] (fig. 2).

The first is a notebook composed of three quires of pages in sextodecimo, currently bound in a different order from the original compilation, written between Milan and Vigevano at the beginning of 1494 [Vecce 2016, p. 15].

The sheets related to the pavilion belong to the same quire [Ivi, p. 17] and contain quick design sketches and construction details drawn in red pencil. The medium is used indifferently for writing and drawing: a habit that, by the late fifteenth century, Leonardo had consolidated for the quick annotation of ideas and observations in the field, using small-format supports [Antonelli 2019].

Of a different nature, the two sheets contained in the Codex Atlanticus have uncertain dating. The Codex is famously one of the miscellanies derived from the collection and binding, in a predominantly random order, of the large loose sheets present in Leonardo's studio at the time of his death [Vecce 1998, p. 47]. The pavilion drawings occupy two non-consecutive sheets [Cod. Atl., ff. 95, 769], but are consistent in their execution technique [4] and content. Based on the briefly illustrated assumptions and following a recurring design practice for Leonardo in those years [Calvi 1925, pp. 147 and sg.], it is believed that these are more refined and meditated 'clean' reworkings of the same design idea outlined in the sheets of Manuscript H, contemporary to it. Among the sheets of the second group, this study identified one not previously reported in the literature with reference to the pavilion [Vecce 2016; Pedretti 1981]. The sheet contains instructions for preparing a wooden board for painting, set in a frame so that it can expand and contract according to humidity, accompanied by a small axonometric drawing [Ms. A, f. 1r]. Although not directly related to the project, the precautions described there appear consistent with the hypotheses about the panel-wall assembly system of the pavilion.

Parametric and informative modeling

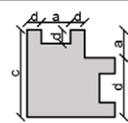
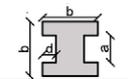
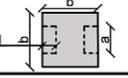
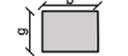
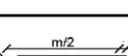
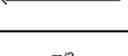
In the second action, the sheets were cataloged by assigning a unique identification code, allowing their association with the pavilion's construction elements and the processing of input data for modeling. For this purpose, a classification of the construction components was performed, initially distinguishing between wooden elements and metallic connection elements. The wooden elements were then hierarchically divided into two classes: load-bearing structure (basement beams, uprights and frame rails, roof beams) and non-structural elements (wall panels, floor panels, and roof panels). Two classes of 'special' pieces used for decoration and for the ridge cap of the pavilion roof were also added. For the metallic elements, six types of connections were identified, grouped into four classes, following the nomenclature derived from the sources: 'ferri'; 'catenaccioli'; 'cerniere'; 'assi pel fondo'.

The typology of the wooden elements was derived from the sheets and organized into load-bearing structural elements (one type of corner post and two types of central posts, three types of basement beams, four types of floor beams; two types of cornice beams, and one type of ridge beam) and panel types (solid wall panel; wall panel with window; wall panel with door; roof panel; floor panel), the latter characterized by the interlocking of frames and boards.

Subsequently, a dimensional analysis of the pavilion was conducted, expressing, in the absence of textual indications, the dimensions of the classified elements in the form of 'pro-

portional ratios' between the parts. This restitution formed the basis for developing the parametric model of the typical elements, adopting proportional ratios as parameters. (fig. 3) In this phase, the parametric model was used as a tool for the iterative verification of the data contained in the graphic documents, exploring, in real-time, different dimensional and geometric solutions compatible with the data present in the graphic sources, with the structural tasks, and with the assembly possibilities of each element.

The modeling of the elements best described in the sources was then integrated with the modeling of the elements not uniquely defined. These latter elements were designed based on insights from other Vinci projects or in accordance with the static and constructive functions of each element, such as in the case of the connection details between the cornice beam and the ridge beam.

ELEMENTI IN LEGNO							
STRUTTURA PRINCIPALE							
ELEMENTO	CODICE ELEMENTO	TIPO	CODICE TIPO	CODICE COMPLETO	GEOMETRIA	QUANTITA'	ID DOC.
MONTANTE	M	Angolare	A	MA1		4	1
		Centrale	C	MC1		2	1-13
				MC2		2	-
TRAVE	T	Base	B	TB1		4	4
				TB2		4	1-4
		Pavimento	P	TP1		4	1
				TP2		4	1
				TP3			

Upon completing the geometric modeling, each element was enriched with specific informational parameters: the original name of the element derived from the documentation; the direct link to the reference sources; the general dimensional data, also expressed in terms of proportional ratios; and the estimated weight.

Physical model

To verify the reconstructive hypotheses developed, a scale model of a corner of the pavilion was fabricated using the Prusa i3 MK3S+ printer: the limited size of the print bed, 20 x 20 centimeters, necessitated the design of a 1:10 scale model.

The compatibility between the virtual three-dimensional model and the rapid production technology of 3D printing allowed the physical model to be used as investigative tool, alongside the virtual model.

This approach enabled the verification of the dimensional and geometric hypotheses developed in the virtual model accordingly to physical test of the assembly process of the pavilion. (fig. 4)

It emerged that the components could be assembled using convenient on-site fabrication processes, significantly speeding up the assembly.

This was particularly evident with the floor panels and wall panels with hinges, which could be assembled on the ground simultaneously with the main frame of the pavilion (fig. 5).

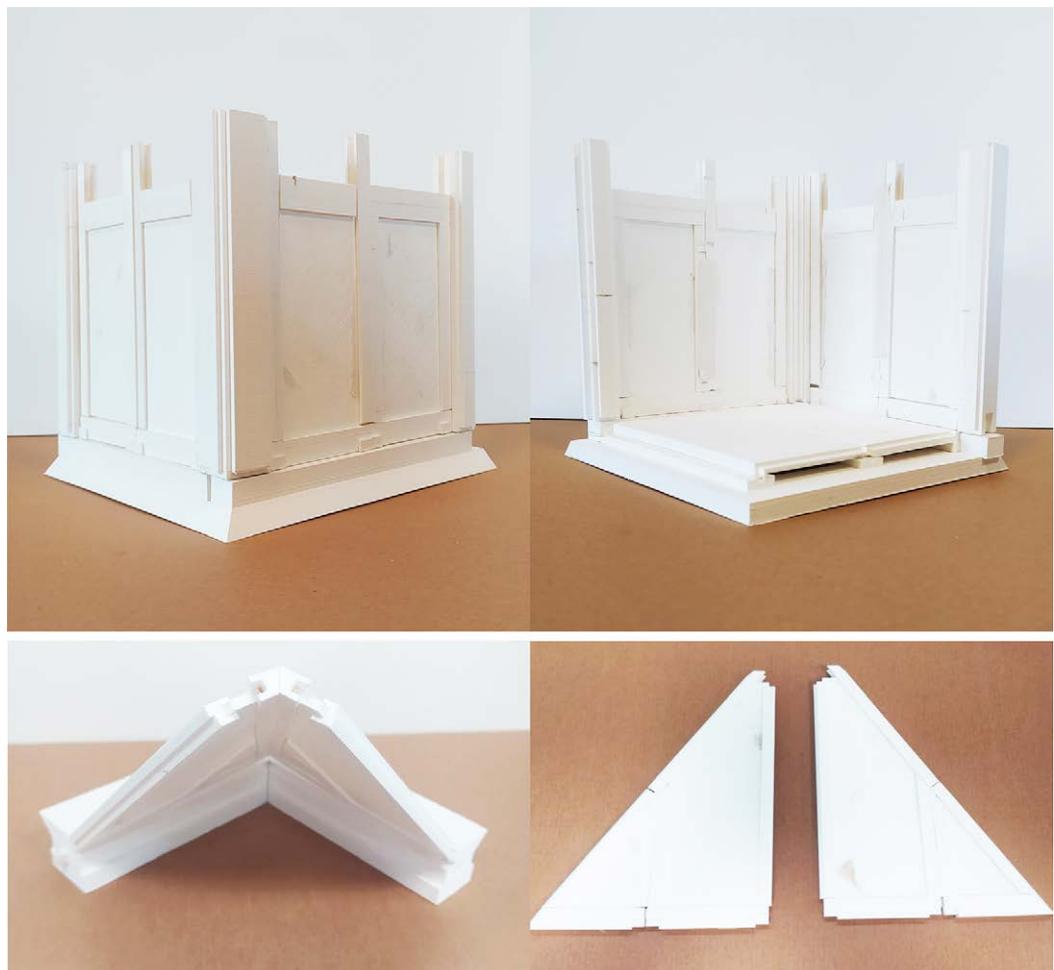


Fig. 4. Tests on the assembly procedure of the physical model. Elaboration by the authors.

Interactive visualizations and digital archive

In support of the knowledge and valorization process of the pavilion and its related sources, the investigative model was enriched through two parallel actions.

Firstly, the parametric and informative model was produced in interoperable format, based on the codifications of open standards. The IFC 4 format was adopted to enable online access via open viewers and in the form of textual databases, utilizing and customizing the native 'schedule' function of the Revit software. In both cases, the graphic sources are meticulously associated with the geometry of the model, allowing for the verification of the philological modeling process and simplified access to the documentary sources in an interactive digital environment.

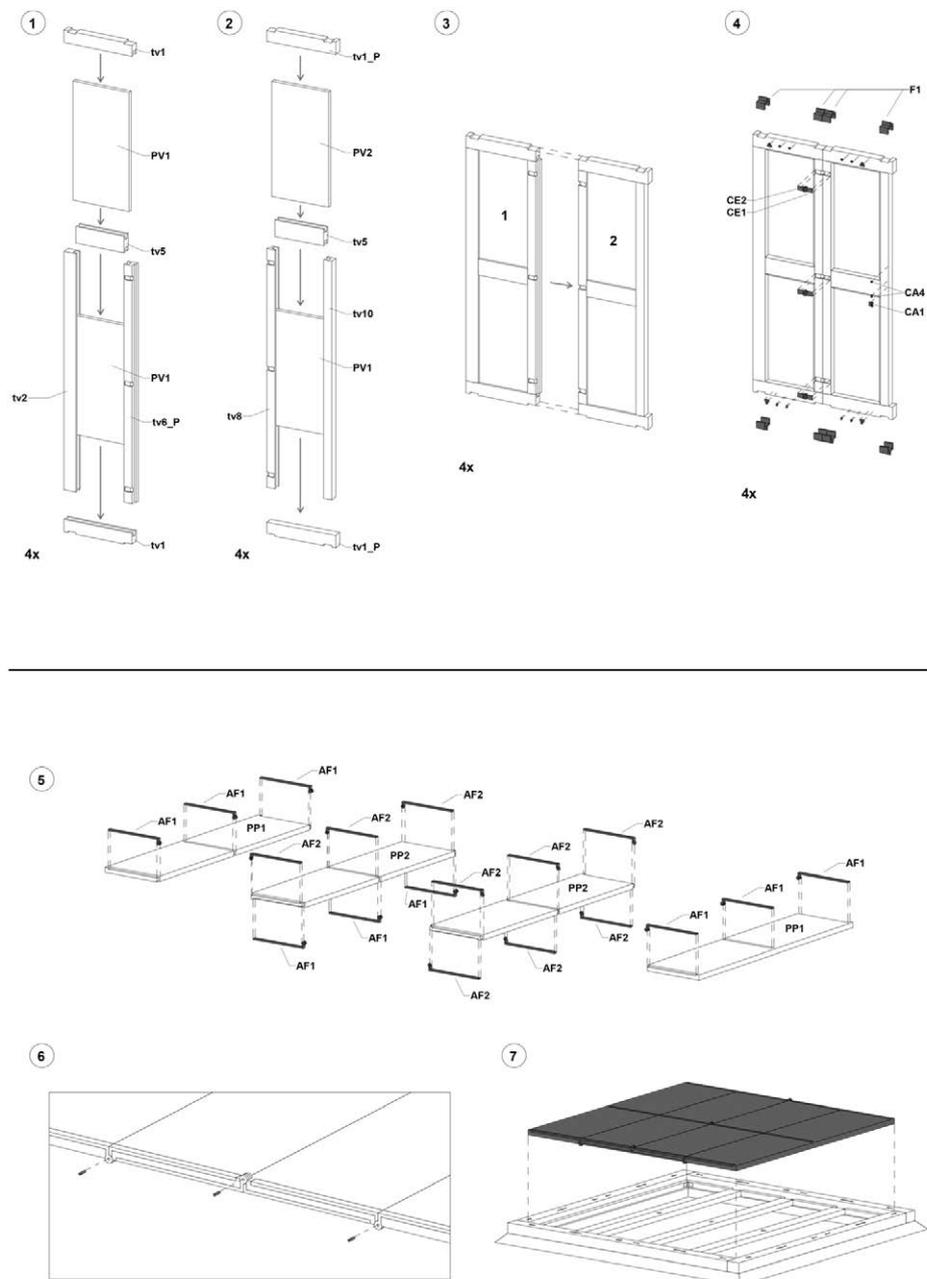


Fig. 5. Excerpt from the graphic illustrations of the hypothesized assembly procedure for the wall panel with door (top) and the floor panel (bottom). Elaboration by the authors.



Fig. 6.Views of the virtual model of the pavilion. Elaboration by the authors.

Secondly, interactive and immersive visualizations of the virtual model were produced, including a simulation of the artifact in augmented reality based on the parametric model. The interface for the immersive visualization of the artifact was developed through the customization of the parametric modeling code, created with Grasshopper software, and the use of the ShapeDiver platform (fig. 8).

Conclusions

The present work focused on the study of Leonardo da Vinci's *Padiglione di legni* through the application of an investigative methodology based on the combined use of source analysis, parametric-informative modeling, physical models, and interactive visualizations.

The obtained results primarily concern the unprecedented physical and virtual reconstruction of the small artifact, followed by the demonstration of the designer's genius in conceiving a minor, portable architecture, according to principles of easy and rapid assembly and disassembly, enriched by on-site fabrication procedures of the construction elements.

Furthermore, the results highlight the validity of the adopted investigative methodology and its potential scalability for architectural and construction analyses based on documentary source.

Notes

[1] [Pedretti 1981, p. 63]. Specifically, Pedretti refers to a note dated 2 February 1494, marked in the margin of a drawing drawn up at the Sforzesca, Duke Sforza's summer residence near Vigevano [Ms. H, f. 65v]. The dating proposed by Pedretti is reiterated by Vecce, as it agrees with the probable order of drafting Ms. H's sheets [Vecce 2016].

[2] It is, in fact, for his wife Beatrice d'Este, that Lodovico Sforza had his estate near Vigevano transformed into the Sforzesca villa, visited by Leonardo at the time of drawing up the pavilion project [Pedretti 1981, p. 64].

[3] In some of the documents we read: "corner of the pavione" [Cod. Atl., f. 769v], "corner of the axis floor" [MS. H, f. 50v], "Pavilion of woods in Vigevine" and "Corner of the pavilion" [MS. H, f. 78v], "Corner floor angle" [MS. H, f. 79r].

[4] 'Preparatory drawings in pencil then definitive in sanguine, traced over in pen' [Marinoni 2006, vol. 13, p. 269].



Fig. 7. Interior view of the virtual model of the pavilion. Elaboration by the authors.

References

- Antonelli R. (2019). Tra annotazione e studio: la pratica della matita rossa nei manoscritti di Leonardo di età sforzesca. In *Libri e documenti*, n. XLIV-XLV, pp. 13-32.
- Calvi G. (1925). *I manoscritti di Leonardo da Vinci dal punto di vista cronologico, storico e biografico*. Bologna: Zanichelli.
- Cod. Atl.: Da Vinci L. (ca. 1478-1518). *Codice Atlantico*. Manuscript. Biblioteca Ambrosiana, Milano. <<https://codex-atlanticus.ambrosiana.it>> (accessed August 7, 2024).
- Ms. A: Da Vinci L. (ca. 1485-1515). *Manuscript A*. Manuscript. Ms 2172, Manuscrits de Léonard de Vinci, Bibliothèque de l'Institut de France, Paris. <<https://bibnum.institutdefrance.fr/ark:/61562/bi24175>> (accessed August 7, 2024).
- Ms. B: Da Vinci L. (ca. 1487-1489). *Manuscript B*. Manuscript. Ms 2173, Manuscrits de Léonard de Vinci, Bibliothèque de l'Institut de France, Paris. <<https://bibnum.institutdefrance.fr/ark:/61562/bi24197>> (accessed August 7, 2024).
- Ms. H: Da Vinci L. (ca. 1493-1494). *Manuscript H*. Manuscript. Ms 2179, Manuscrits de Léonard de Vinci, Bibliothèque de l'Institut de France, Paris. <<https://bibnum.institutdefrance.fr/ark:/61562/bi24171>> (accessed August 7, 2024).
- Marinoni A. (2006). *Il Codice Atlantico della Biblioteca Ambrosiana di Milano*. Trascrizione critica Augusto Marinoni. Milano: Giunti.
- Marinoni A. (1990). *Leonardo da Vinci. I Manoscritti dell'Institut de France. Edizione in facsimile sotto gli auspici della Commissione Nazionale Vinciana e dell'Institut de France*. Trascrizione diplomatica e critica di Augusto Marinoni. Firenze: Giunti Barbèra.
- Pedretti C. (1981). *Leonardo Architetto*. Milano: Electa.
- Vecce C. (2016). Leonardo e il Codice di Vigevano (una lettura del codice H). In *Valori tattili*, n.8, pp.15-28.
- Vecce C. (1998). Nota al testo. In C. Pedretti (Ed.). *Il Codice Arundel 263 nella British Library*, pp. 47-52. Firenze: Giunti.

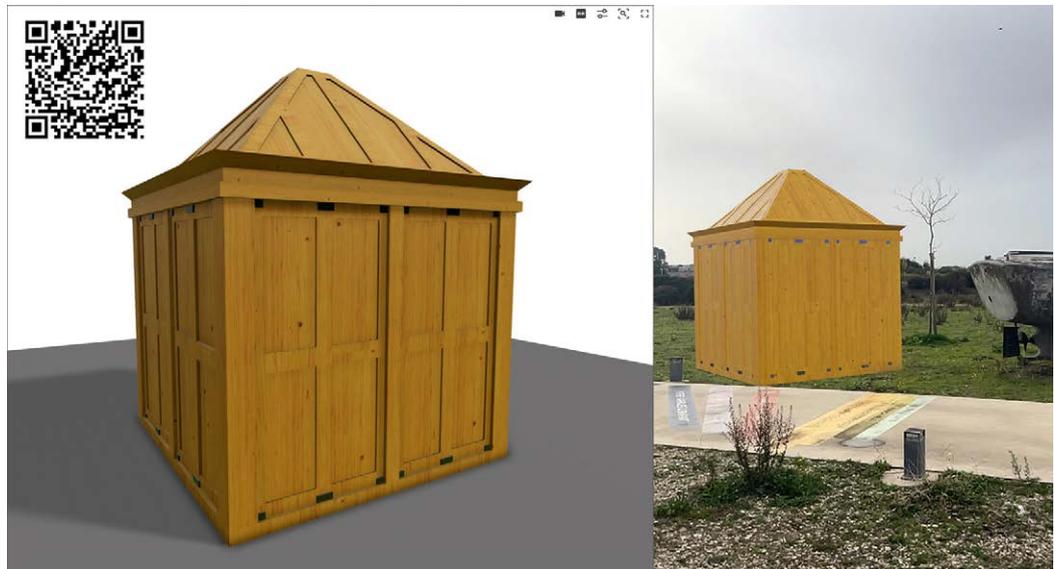


Fig. 8. Model for immersive visualization on the ShapeDiver platform.

Authors

Elena Eramo, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, eramo@ing.uniroma2.it
Ilaria Giannetti, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, ilaria.giannetti@uniroma2.it

To cite this chapter: Elena Eramo, Ilaria Giannetti (2024). Il "Padiglione di legni" di Leonardo da Vinci: un modello ricostruttivo fisico e virtuale/The "Padiglione di legni" by Leonardo da Vinci: a virtual and physical reconstruction. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.), *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1321-1342.