

AS ARCHEOLOGIE SPERIMENTALI

TEMI · METODI · RICERCHE

Numero 3 - Anno 2022



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

Archeologie Sperimentali.
Temi, Metodi, Ricerche.

III

2022

Direttore Scientifico
Vincent Serneels

Direttore Editoriale
Chiara Lebole

Comitato Editoriale

Chiara Lebole, Luca Bartoni, Valeria Cobianchi, Lara Comis, Giorgio Di Gangi, Yuri Godino, Marco Romeo Pitone.

Comitato Scientifico

Silvia Amicone, Lorenzo Appolonia, Andrea Augenti, Federico Barello, Riccardo Belcari, Rosa Boano, Enrico Borgogno Mondino, Mauro Paolo Buonincontri, Aurora Cagnana, Federico Cantini, Claudio Capelli, Maurizio Cattani, Fabio Cavulli, Lara Comis, Mauro Cortelazzo, Adele Coscarella, Annalisa Costa, Paola Croveri, Gianluca Cuniberti, Davide Delpiano, Giorgio Di Gangi, Fulvio Fantino, Alessandro Fichera, Vanessa Forte, Francesca Garanzini, Enrico Giannichedda, Yuri Godino, Silvia Guideri, Chiara Lebole, Cristina Lemorini, Laura Longo, Nicolò Masturzo, Valeria Meirano, Alessandra Pecci, Marco Romeo Pitone, Francesco Rubat Borel, Marco Sannazzaro, Vincent Serneels, Fabrizio Sudano, Florian Téreygeol, Nicoletta Volante.

Archeologie Sperimentali. Temi, Metodi, Ricerche
Dipartimento di Studi Storici
Via S.Ottavio 20 – 10124 Torino
www.ojs.unito.it/index.php/archeologiesperimentali
redazione@archeologiesperimentali.it

Volume III, anno 2022

Tutti i contributi sono sottoposti a *peer review*

© Diritti riservati agli Autori e agli Editori (informazioni sul sito)
Torino, settembre 2023
ISSN 2724-2501

In copertina: particolare di una replica di scure bassomedievale (Foto G. Sartori, E. Zanini).
Elaborazione grafica *Studio Okapi*

Archeologie Sperimentali è una rivista scientifica digitale edita dall'Università di Torino e pubblicata con cadenza annuale. Nasce con l'intento di colmare il vuoto editoriale che caratterizza l'Archeologia Sperimentale italiana che, pur essendo riconosciuta come un valido strumento di conoscenza, non ha un luogo dedicato al dialogo tra l'archeologia, le scienze e la sperimentazione.

La rivista si rivolge alla comunità scientifica internazionale per accogliere contributi innovativi ed originali che approfondiscono la conoscenza delle culture antiche attraverso l'utilizzo dei metodi sperimentali. In particolare, l'attenzione è rivolta alle esperienze che operano nel campo dell'Archeologia Sperimentale, dell'Archeologia della Produzione, della Storia delle Tecnologie, dell'Artigianato Antico e dell'Esperienzialità.

L'obiettivo è quello di diffondere l'adozione di approcci pratici, sperimentali e multidisciplinari allo studio del dato archeologico, promuovendo la ripresa del dibattito sui significati e sui metodi dell'Archeologia Sperimentale e creando un luogo di incontro tra ricercatori che operano all'interno di questo ambito. *Archeologie Sperimentali* aderisce alla "Dichiarazione di Berlino" promuovendo la diffusione *online* gratuita dei dati e favorendo la comunicazione ed il dibattito scientifico; il progetto riconosce al lettore il diritto di accedere liberamente e gratuitamente ai risultati della ricerca scientifica.

È possibile pubblicare sia in inglese sia in italiano con l'obbligo di inserire un riassunto nella lingua non utilizzata nel contributo. La rivista *Archeologie Sperimentali* è connessa ai principali *repository* e *open libraries* internazionali. I contributi inviati al comitato redazionale sono valutati secondo il metodo della doppia *blind peer review*, avvalendosi di una rete internazionale di referenti specializzati.

Il dialogo tra studiosi è garantito, inoltre, dalle possibilità offerte dalla piattaforma informatica, grazie alla quale è possibile inserire *contenuti multimediali* allegati ai contributi; questa opportunità permette di integrare le informazioni con video e fotografie delle ricerche, consentendo, ad esempio, di presentare attività di scavo e di un laboratorio, fasi di protocollo sperimentale ed esperienze di artigianato e di etnoarcheologia.

Nota per gli Autori

Gli Autori possono proporre i loro contributi inviando il materiale a redazione@archeologiesperimentali.it

Indice dei contenuti

<i>Studio e ricostruzione del processo produttivo delle cesoie in ferro di epoca romana.....</i>	<i>1</i>
F. Spagiari	
<i>Il sistema di sospensione della spatha in età longobarda: alcune riflessioni in merito alla sua ricostruzione.....</i>	<i>21</i>
Y. Godino	
<i>Maestranze e tecniche di lavorazione delle epigrafi longobarde in Italia tra VII e IX secolo: nuove proposte di studio per un metodo sperimentale.....</i>	<i>43</i>
V. Cobianchi	
<i>Ricostruzione di una scure del Basso Medioevo italiano.....</i>	<i>51</i>
G. Sartori, E. Zanini	
<i>Organistrum. A case of medieval archaeo-lutherie</i>	<i>63</i>
G.A. Severini	
<i>Conoscenza e Conservazione dei radiciamenti lignei nelle armature. Tecnologia e diffusione di un sapere tecnico nelle architetture fortificate della Provincia Autonoma di Trento.....</i>	<i>80</i>
I. Zamboni	

Conoscenza e Conservazione dei radiciamenti lignei nelle murature. Tecnologia e diffusione di un sapere tecnico nelle architetture fortificate della Provincia Autonoma di Trento.

Autrice: Isabella Zamboni

* Borsista post-doc, Dipartimento di Culture del Progetto, Università IUAV di Venezia. Docente a contratto, Dipartimento di Architettura, *Alma Mater Studiorum* di Bologna – Campus di Ravenna e Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Udine.

Email: izamboni@iuav.it isabella.zamboni@unibo.it isabella.zamboni@uniud.it

Abstract

L'impiego di sistemi ibridi in muratura e legno strutturalmente efficaci rientra in una sperimentazione tecnologica molto antica che ha dato esiti differenti e della quale si può ritrovare traccia nella trattatistica storica. La diffusione di queste tecniche spesso riconosciuta in modo sistematico in area sismica, ma l'incremento della qualità costruttiva, data dall'unione dei due materiali, permette di migliorare il comportamento delle architetture non solo nel caso di azioni orizzontali ma anche per i carichi verticali. Per tali ragioni, la diffusione di questi saperi tecnici si riscontra anche in regioni a basso rischio sismico come il Trentino-Alto Adige. Nel presente contributo saranno discussi alcuni casi riscontrati in fortificazioni medievali della Provincia Autonoma di Trento.

The use of structurally effective hybrid systems in masonry and wood is part of a very ancient technological experimentation which has given different results and of which traces can be found in historical documents. The diffusion of these techniques is often recognized in a systematic way in the seismic area, but the increase in the construction quality, given by the union of the two materials, allows to improve the architectures behavior not only in the case of horizontal actions but also for the vertical loads. For these reasons, the diffusion of this technical knowledge is also found in regions with low seismic risk such as Trentino-Alto Adige. In this paper some cases found in medieval fortifications of the Autonomous Province of Trento will be discussed.

Parole chiave: historical buildings, wooden reinforcements, technical expertise, Trentino castles, conservation.

1. Premessa

Lo sviluppo di regole dell'arte locali ha da sempre accompagnato l'evoluzione della tecnologia del

costruire sin dalle sue prime manifestazioni e, in particolare, è noto come lo studio della produzione

architettonica consenta la messa in luce di aspetti comuni e specificità territoriali che sono fondamentali per la Conoscenza, Conservazione e Prevenzione dell'architettura esistente. Il comportamento strutturale e i processi di degrado dei massi murari sono strettamente correlati all'elaborazione di modelli interpretativi della realtà edilizia sufficientemente affidabili e propedeutici ad eventuali progetti di intervento. A monte di difficoltà oggettive nel rilevare una sezione muraria in buono stato di conservazione o nodi strutturali celati, è necessario procedere secondo ragionevoli ipotesi, rafforzate da studi sulle tecniche costruttive e murarie di area regionale e/o affidarsi alla diagnostica. Per quanto riguarda il primo caso, si è discusso in precedenti pubblicazioni dell'importanza di strutturare la scheda di rilievo con parametri geometrici inerenti all'apparecchiatura che possano consentire una valutazione sul suo comportamento meccanico (ZAMBONI 2021a, ZAMBONI 2021b). In aggiunta, la

norma vigente in materia di valutazione e riduzione del rischio sismico dei beni culturali (D.P.C.M. 2011, 4.1.6) e documenti allo stato di bozza sugli aggregati edilizi auspicano la realizzazione di abachi dei tipi murari che tengano conto di questi aspetti¹. Per quanto concerne la diagnostica, si fa breve riferimento a tecniche di indagine che consentono odiernamente di sondare il nucleo della sezione e, a vario livello di approfondimento, di poter ricavare le necessarie informazioni sulla qualità muraria e l'ingranamento interno. Nell'ambito del definito "Percorso della Conoscenza", approccio previsto dalla D.P.C.M. 2011 per i beni culturali e suggerito per le costruzioni che «comunque abbiano una valenza storica, artistica o urbanistico-ambientale, anche se non esplicitamente vincolate» (Circolare 2019, C8.1), si prospettano prove limitate o estese in riferimento al Livello di conoscenza². In accordo con le istanze della Conservazione³ e considerando quanto previsto dalle Norme⁴, dove è

¹ «Gli abachi delle apparecchiature murarie dovrebbero quindi predisporre una gerarchia delle stesse secondo criteri legati alla qualità meccanica e non in base alla semplice tipologia di paramento» (DPC, ReLUIS 2010).

² «*Prove limitate*: Si tratta di indagini non dettagliate e non estese, basate principalmente su esami visivi delle superfici, che prevedono limitati controlli degli elementi costituenti la muratura. Sono previste rimozioni locali dell'intonaco per identificare i materiali di cui è costituito l'edificio; in particolare, avvalendosi anche dell'analisi storico-critica, è possibile suddividere le pareti murarie in aree considerabili come omogenee. Scopo delle indagini è consentire l'identificazione delle tipologie di muratura alla quale fare riferimento ai fini della determinazione delle proprietà meccaniche; questo prevede il rilievo della tessitura muraria dei paramenti ed una stima della sezione muraria.

Prove estese: Si tratta di indagini visive, diffuse e sistematiche, accompagnate da approfondimenti locali. Si prevedono saggi estesi, sia in superficie sia nello spessore murario (anche con endoscopie), mirati alla conoscenza dei materiali e della morfologia interna della muratura, all'individuazione delle zone omogenee per materiali e tessitura muraria, dei dispositivi di collegamento trasversale, oltre che dei fenomeni di degrado. È inoltre prevista l'esecuzione di analisi delle malte e, se significative, degli elementi costituenti, accompagnate da tecniche diagnostiche non distruttive (penetrometriche, sclerometriche, soniche, termografiche, radar, ecc.) ed eventualmente integrate da tecniche moderatamente distruttive (ad esempio martinetti piatti), finalizzate a classificare in modo più accurato la tipologia muraria e la sua qualità» (Circolare 2019, C8.5.3.1).

³ «È evidente che, dato il carattere distruttivo delle succitate prove, esse andranno impiegate solo se ben motivate e giustificate non solo dall'uso dei relativi risultati nella modellazione della struttura, ma anche dal fatto di essere discriminanti nei confronti della valutazione o della scelta dell'intervento. Nell'individuazione di possibili zone di sacrificio ove realizzare eventuali analisi distruttive si potrà tener conto degli esiti della ricerca storica, dello stato di conservazione dei materiali e del rilievo delle superfici di pregio. Il numero di prove che si potrà eseguire su materiale omogeneo sarà generalmente molto limitato, e non consentirà una trattazione statistica dei risultati significativa in relazione a procedure formali di verifica della sicurezza basate su metodi probabilistici o semi-probabilistici. La programmazione delle indagini e la interpretazione dei risultati va pertanto inquadrata in procedure di carattere più complessivo, nelle quali possa assumere significato anche l'impiego di un solo dato sperimentale» (D.P.C.M. 2011, 4.1.7).

⁴ «Per l'analisi sismica dei meccanismi locali si può far ricorso ai metodi dell'analisi limite, tenendo conto, anche se in forma approssimata, della resistenza a compressione della muratura, della tessitura muraria, della qualità della connessione tra pareti murarie e tra pareti e orizzontamenti, della presenza di catene e tiranti. Con tali metodi è possibile valutare la capacità sismica in termini sia di resistenza (applicando un opportuno fattore di comportamento), sia di spostamento (determinando l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo)» (NTC 2018, C8.7.1).

data molta importanza anche alla qualità delle connessioni murarie in caso di azione sismica⁵, si ritiene che tecniche quali la Termografia IR, indagini soniche, videoendoscopie siano da preferirsi in affiancamento ad eventuali test con martinetti piatti singoli/doppi che valutino la resistenza e in generale i parametri meccanici della muratura. Inoltre, è altresì necessario che l'esecuzione avvenga in coordinamento con le altre discipline, previa adeguata analisi materica, stratigrafica e del degrado. Queste consentono di individuare le zone di sacrificio e la posizione più opportuna da sondare in termini di rappresentatività del dato, al fine di pianificare coerentemente le indagini per ridurre al minimo la perdita di materia storica ed evitare di giungere ad interpretazioni errate.

2. Stato dell'arte sugli elementi lignei nelle opere in muratura

Sul tema dei rinforzi lignei all'interno dei brani murari degli edifici e dei complessi architettonici esistenti si sono concentrati alcuni studiosi a cui va il merito di aver primariamente messo in luce le numerose voci provenienti dalla trattatistica e di aver delineato una diffusione nel corso del tempo, in determinate aree di indagine, di alcuni sistemi misti in muratura e legno strutturalmente efficaci (DELLA TORRE 1990; BRAMANTI 2004; DELLA TORRE, CANTINI 2020, BILGIN 2021). Se ne rielaborano in questo paragrafo i tratti salienti.

Nell'ambito della produzione edilizia del Mediterraneo, l'uso di travi di legno è menzionato in diverse parti dell'Antico Testamento. Sono citate murature in pietre e filari di travi di cedro nella descrizione del cantiere del tempio di Salomone (Re I, 6:36); la stessa tecnologia è nuovamente riportata per il palazzo di Salomone e la sua cinta muraria (Re I, 7:12); ed infine è allo stesso modo ripetuta in merito alla ricostruzione di alcuni templi. Nello specifico, in riferimento sia a sistemi di fondazioni sia agli elevati è spesso dettagliata l'alternanza di tre file di grosse pietre (in alcune traduzioni si parla di conci quadrati) e una fila di travi (Esdra, 5:8; Esdra, 6:3-4). Le informazioni già reperite da Thomson, che individua ragioni economiche, estetiche, rituali e strutturali antisismiche alla base dell'impiego di questa

tecnica (THOMSON 1960), sono state recentemente rivedute da Bilgin (BILGIN 2021, pp. 38-39).

Altre notizie, supportate dal dato archeologico, si hanno in merito alle fabbriche preistoriche dell'Anatolia e a quelle di influenza minoica dove parimenti si individua l'uso del legno nelle murature in pietra sia nelle parti di fondazione che di alzato. Lo stesso è documentato per altre aree geografiche che si affacciano sul Mar Mediterraneo come la Giordania. Si distinguono strutture a graticcio secondo una griglia di travi lignee rispetto a quelle ottenute dal posizionamento degli elementi in legno parallelamente al paramento interno. La componente muraria, invece, è comunemente costituita da adobe o pietrisco in Anatolia e in area minoica, mentre le strutture monumentali di Petra sono in pietra squadrata (THOMSON 1960; BINI, BERTOCCI 2009; VINTZILEOU 2011, pp. 167-172; AL QABLAN *et alii* 2019; BILGIN 2021, pp. 39-40).

Un'ulteriore testimonianza proviene dalla lettura del testo di Filone di Bisanzio. Il noto documento descrive soluzioni tecniche che informano sullo stato delle conoscenze all'epoca in ambito militare e poliorcetrico. L'inserimento nella muratura di travi di quercia ogni 1,8 m permetteva di migliorare le prestazioni di difesa, diminuire i danni arrecati dai proiettili, facilitare le attività di manutenzione e riparazione, gestire la ritirata in caso di condizioni avverse (da ultimo in SANTAGATI 2021).

Per l'epoca romana, è celebre l'attestazione contenuta nel *De Architettura* di Marco Vitruvio Pollione di una tecnica costruttiva prevalentemente utilizzata nella messa in opera delle cinte murarie che prevede l'ammorsamento dei paramenti attraverso l'impiego di pali d'olivo bruciato: «(...) *Gli spezzoni di pali d'olivo bruciato dovrebbero essere posizionati il più vicino possibile gli uni agli altri lungo il muro, così che le due facce del muro risultino giuntate assieme proprio da questi pali come arpioni, per dargli una robustezza permanente; nessuno dei danni provocati né da putrefazione né dagli agenti atmosferici danneggeranno questi tipi di legni, che rimangono efficaci anche se inglobati o posti sott'acqua. Non solo le mura di una città ma anche le sottostrutture e qualsiasi muro interno che dovrebbe essere fatto così spesso come un muro di cinta, resterà indenne per secoli se i muri avranno tali legni...*» (*De Architectura*, libro I, cap. V). Una seconda testimonianza si legge nel *De Bello Gallico* di Caio Giulio Cesare: «...*Muri autem omnes*

⁵ Si ricorda come in base alla più aggiornata *Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*, l'Italia sia in tutta la sua estensione organizzata secondo zone (1-4) di pericolosità sismica (OPCM 2006).

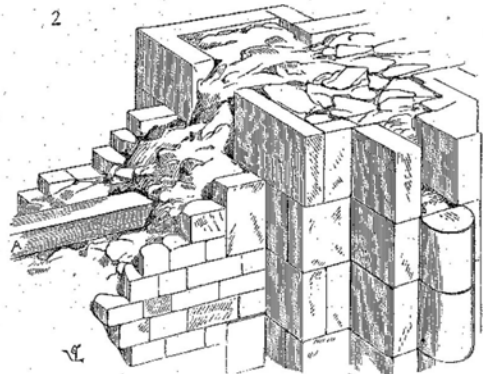
Gallici hac fere forma sunt. Trabes directae perpetuae in longitudinem paribus intervallis, distantes inter se binos pedes, in solo collocantur. Hae revinciuntur introrsus et multo aggere vestiuntur. Ea autem, quae diximus, intervalla grandibus in fronte sazis effaurciuntur. His collocatis et coagmentatis alius insuper ordo additur, ut idem illud intervallum servetur neque inter se contingant trabes, se paribus intermissae spatiis singulae singulis saxis inteiectis arte contineantur...» (De bello gallico, VII, 23).

La tecnologia, discussa in seguito dai trattatisti rinascimentali, è stata approfondita da Luigi

[CONSTRUCTION] — 12 — [PRINCIPES]

des engins dispendieux ou d'un établissement difficile. Ils prirent donc un moyen terme. Ils élevèrent les points d'appui principaux en employant pour les parements de la pierre de taille, comme un revêtement, et garnirent les intérieurs de blocages. Pour les murs en remplissage, ils adoptèrent un petit appareil de moellon smillé pour les parements ou de carreaux de pierre, enfermant de même un blocage de cailloux et de mortier.

Notre fig. 2 donne une idée de ce genre de construction. Afin de relier



les diverses parties des bâtisses, de chaîner les murs dans leur longueur, ils noyèrent dans les massifs, à différentes hauteurs, sous les appuis des fenêtres, au-dessous des corniches, des pièces de bois longitudinales, ainsi que nous l'avons figuré en A (voy. CHAINAGE). Dans ces constructions, la pierre est économisée autant que faire se peut; aucun morceau ne présente d'évidements: tous sont posés en besace; ce n'est qu'un revêtement exécuté d'ailleurs avec le plus grand soin; non-seulement les parements sont layés, mais aussi les lits et les joints, et ces pierres sont posées à cru sans mortier, comme l'appareil romain.

Ce genre de bâtisse est apparent dans les grandes constructions monastiques de Cluny, de Vézelay, de la Charité-sur-Loire (XI^e et XII^e siècles). Les matériaux employés par les moines sont ceux qu'ils pouvaient se procurer dans le voisinage, dans des carrières dont ils étaient propriétaires. Et il faut reconnaître qu'ils les employèrent en raison de leurs qualités et de leurs défauts. Si ces matériaux présentaient des vices, si la pierre était gélive, ne pouvant s'en procurer d'autres, qu'au moyen de frais considérables, ils avaient le soin de la placer dans les conditions les moins désavanta-

Figura 1: Viollet-Le-Duc 1854-1868, t. 2, voce Chainage. Fonte: https://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonné_de_l'architecture_française_du_XIe_au_XVIe_siècle (visitato il 08/12/2022).

Marino, che ne documenta anche una sua diffusione più tarda all'interno di contesti medievali del Mediterraneo dove si afferma il reimpiego di colonne in pietra (MARINO 2009; prassi citata anche in BILGIN 2021, p. 49). Oltre all'inserimento di travi trasversalmente alla sezione muraria, si rileva nella documentazione più tarda e dagli esiti di rilievi diretti sulle fabbriche anche l'impiego di travi disposte longitudinalmente alle pareti sia con funzione di incatenamento sia a rinforzo della sezione annegando elementi lignei di lunghezza minore e slegati fra loro.

Nel medioevo bizantino, per il periodo compreso tra VI e XIV secolo, l'uso di strutture miste in muratura e legno è ben documentato e trova riscontro terminologico nel greco *Ἰμάντωσις* "Imantosi", che ha corrispondenza nel significato di "legatura" (VINTZILEOU 2011, pp. 172-174). La pratica raggiunge anche sistemi complessi di incatenamento come testimoniano esempi di X e XI secolo, e non solo. Oltre al posizionamento di tiranti a vari livelli delle murature portanti a forte sviluppo longitudinale, si riscontrano anche in altri punti strutturalmente strategici come in prossimità dell'innesto di sistemi voltati, sugli estradossi di volte articolate, alla base e in sommità di tamburi di cupole, nelle fondazioni (KOUMANTOS 2016; BILGIN 2021, pp. 46-47).

La funzione di incatenamento delle pareti ortogonali per favorire un comportamento di tipo scatolare della muratura appare strettamente connesso, come documentato dagli studi citati, alla diffusione di queste regole dell'arte in area sismica e trova un parallelo nei corsi di ripianamento in laterizio o pietra eseguiti con particolare sistematicità a partire dall'epoca romana e per tutto il medioevo bizantino⁶. Inoltre, dal punto di vista dell'esecuzione materiale, l'utilizzo di membrature lignee consentiva di procedere velocemente con il cantiere senza attendere la completa maturazione della malta, facendo affidamento sull'immediato contributo strutturale delle parti in legno che garantivano sufficiente sicurezza (BILGIN 2021, p. 49).

L'uso del legno nella muratura è una pratica ricorrente anche nel medioevo europeo⁷, viene secondo Viollet-Le-Duc (Viollet-Le-Duc 1854-1868,

⁶ Sperimentazioni numeriche su corsi di ripianamento e legature laterizie sono state ulteriormente eseguite in un recente studio (NAPOLITANO, GLISIC 2019).

⁷ Si veda in generale i contributi in GALETTI 2010 e, a titolo di esempio, lo studio di GIL CRESPO 2016.

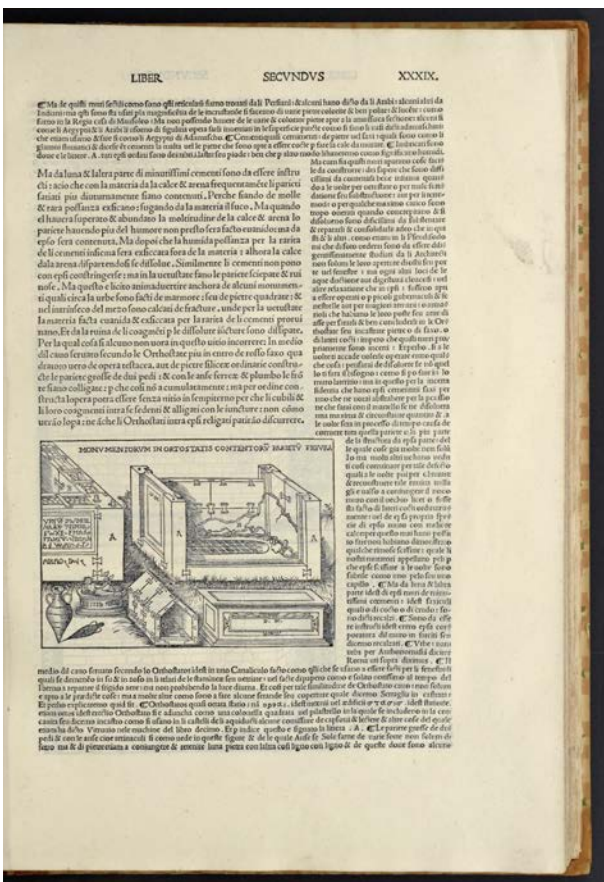


Figura 2: Cesare Cesariano, Di Lucio Vitruvio Pollione De architectura libri dece 1521, II, XXXIX. Fonte: <https://archive.org> (visitato il 08/12/2022).

t. 2, voce *Chainage*) progressivamente abbandonata a causa del progresso della siderurgia e della precaria durabilità del materiale (fig. 1)⁸. A fronte della scarsità delle fonti scritte medievali, il dato archeologico ha mostrato come la pratica di rinforzo con elementi lignei dei brani murari rientri nell'operatività dei cantieri di questo periodo e prosegua poi nell'impiego in architetture di epoca moderna.

Il primo Vitruvio tradotto ad opera di Cesare Cesariano nel 1521 (*Di Lucio Vitruvio Pollione De architectura libri dece* 1521, II, XXXIX) dettaglia nel testo l'utilizzo sapiente di collegamenti ad ingranamento della struttura muraria, connessioni che potevano essere eseguite sia in legno, sia in pietra che in ferro come raffigurato nelle immagini a corredo (fig. 2).

Daniele Barbaro, commentando il primo libro del medesimo trattato, discute una interpretazione data da M. Alessandro Piccheroni in merito alle cinte murarie fortificate della città ideale (*I dieci libri*

dell'architettura di Vitruvio 1584, I, pp. 51-52). Viene descritta una «muraglia esteriore» con «contrafforti a guisa di pettine» dal lato interno che delimitano ambienti chiusi «argine, o Terrapieno». L'ammorsamento dei contrafforti è garantito da «denti a guisa di sega» e la struttura consiste in un telaio ligneo nel quale le travi sono disposte verticalmente ed orizzontalmente all'interno delle sezioni (fig. 3). Il sistema costruttivo è parimenti citato in altri trattati fiorentini riportati in Bramanti (BRAMANTI 2004).

La rilettura di Vitruvio operata da Rusconi dedica anch'essa spazio e raffigurazioni alle opere strutturali in muratura e legno con riferimenti che richiamano quanto descritto da Filone di Bisanzio in merito alle tecniche di difesa: «Il muro di dentro delle torri vuole ancora che sia diviso con intercalli e spatij tanto grandi, quanto saranno le torri; et le strade da torre à torre siano continue, et congiunte con travi; ma però senza chiodi, ò legamenti di ferro: perche dovendole ceder al nemico, si possano facilmente smuovere esse travi, et così impedirgli il passo. Et di così fatte fabbriche restano gli essempli ancora in molti luoghi d'Italia, ma specialmente in Roma nelle mura vecchie fabbricate da Belisario: Vero è che le torri sono quadrate contra'l precetto, che ci dà qui Vitruvio, che vuole che siano, ò rotonde, ò di molti angoli, et danno intieramente le quadrate, come quelle, che erano facili ad esser rovinate da gli arieti. Nella seguente figura dalla lettera A fino à B. intenderemo l'intervallo della torre, et con la lettera C. vedremo il palco con le travi ricordateci da Vitruvio» (*Della architettura di Gio. Antonio Rusconi 1590, I, pp. 12-13*) (figg. 4-5).

Nel 1615 Vincenzo Scamozzi menziona più volte nel suo noto trattato l'esecuzione nelle opere murarie di legamenti di ferro o di legno e tratta dei presidi necessari alla costruzione di volte descrivendo il valore aggiunto dei «legamenti de' legnami». Nello specifico si legge: «in simili occasioni fanno anco effetti grandissimi i legamenti de legnami, e massime sin tanto che si assodi l'opera: disponendoli né luoghi più convenienti, e dove facciano buona operazione» (*L'idea dell'architettura universale 1615, II, VIII, XIV*). Si avrà occasione nel successivo paragrafo di discutere ulteriormente il suo pensiero su durabilità e tecnologia esecutiva (Cfr. *infra*).

Traccia di questi sistemi tecnologici permane, secondo Della Torre, nelle voci dialettali locali delle epoche successive a dimostrazione sia di un linguaggio tecnico strettamente connesso

⁸ Il processo di sostituzione delle parti lignee con il metallo è documentato anche per le unità tecnologiche di copertura come dimostra, ad esempio, il trattato di Rondelet (*Trattato teorico pratico 1831*).

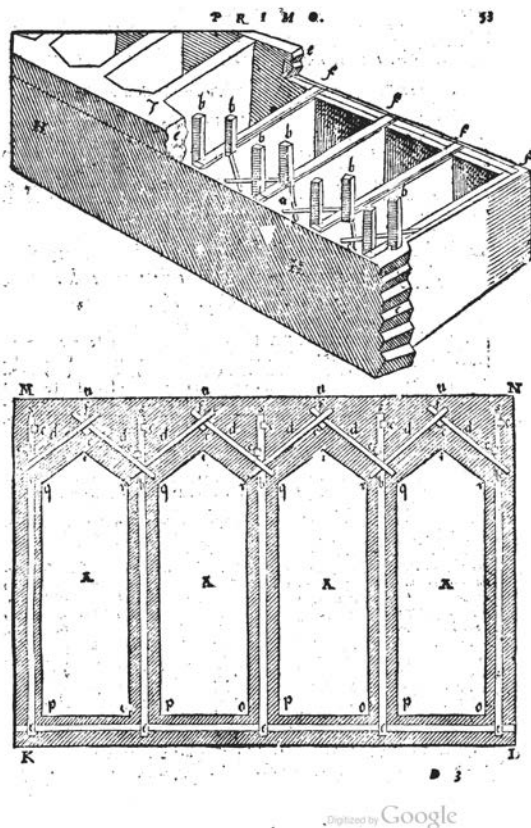
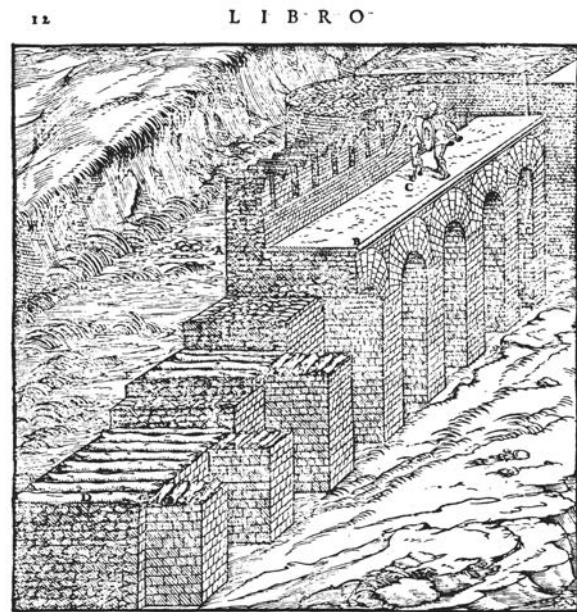


Figura 3: Daniele Barbaro, *I dieci libri dell'architettura di Vitruvio* 1584, I, pp. 51-52. Fonte: <https://books.google.it/> (visitato il 08/12/2022).

all'operatività di cantiere e alla trasmissione dei saperi tecnici sia di un impiego ancora diffuso, forse per ragioni attribuibili all'economicità del materiale legno rispetto al ferro (DELLA TORRE 1990).

A tal proposito, molte sono le testimonianze documentarie indirette e architettoniche dirette che sono state pubblicate pur nell'assenza tuttora di una sistematicità di questo filone di studi. Giovanni Biagio Amico nella sua opera del 1726 ricorda «legni d'Olmo, e d'Ulivo a forma di Croce posti a livello nel mezzo delle fabbriche, che da i Padroni si credevano essere stati posti per divozione alla Santa Croce» (*L'architetto pratico* 1726). Negli anni successivi, lo sviluppo di edifici antisismici con telaio ligneo connessi a significativi eventi che sconvolsero il Mediterraneo lascia numerose tracce nella documentazione storica (*Istoria e teoria de' tremuoti* 1783; GUIDOBONI 1987).

La trattatistica dell'epoca, nonostante la progressiva diffusione di elementi metallici a presidio delle strutture murarie, ancora ritorna



Il muro di dentro delle torri vuole ancora che sia diviso con intervalli, e spazii tanto grandi, quanto saranno le torri; & le strade da torre à torre siano continuate, & congiunte con travi, ma però senza chiodi, o legamenti di ferro: perché douendole ceder al nimico, si possano facilmente smouere esse travi, & così impedirgli il passo. Et di così fatte fabbriche restano gli effempi ancora in molti luoghi d'Italia, ma specialmente in Roma nelle mura vecchie fabbricate da Belisario: Vero è che le torri sono quadrate contra'l precetto, che ci dà qui Vitruuio, che vuole che siano, o rotonde, o di molti angoli, & danno intieramente le quadrate, come quelle, che erano

Figura 4: Della architettura di Gio. Antonio Rusconi 1590, I, p. 12. Fonte: <https://books.google.it/> (visitato il 08/12/2022).

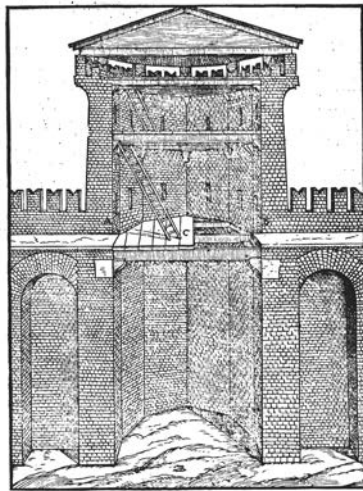
sulle tecniche antiche tramandate da Vitruvio. Jean Babbtiste Rondelet, infatti, scrive: «quando gli antichi dovevano far mura di città o costruzioni esigenti grossezze considerevoli, e che la fretta con cui dovevano essere eseguite non permetteva di usare tutte le precauzioni con che solevano adoperare, si servivano, per riunirle, di pezzi di legno (...).

Le figure 6 e 7 della Tavola XI, indicano la maniera onde io credo che tali muri fossero edificati.

Ogni rango di travi, tanto longitudinale quanto trasversale, formava insieme una specie di grata di una sola grossezza, perché i pezzi erano incavati a metà legno. Per tale disposizione la parete interna trovava simile all'esterna: gl'intervalli quadrati formati internamente per l'incrociatura delle travi, essendo riempiti di terra battuta, dovevano risultare da questo collocamento muri di bastioni estremamente solidi, e capaci di resistere agli sforzi dell'ariete senza disunirsi» (fig. 6) (*Trattato teorico pratico* 1831, II, I, pp. 9-11).

In chiusura di questa rassegna, si ricorda che ricerche in contesti specifici e a larga scala sulle strutture danneggiate dai sismi degli ultimi

PRIMO. 13
erano facili ad esser rovinate da gli arieti. Nella seguente figura dalla lettera A. fino à B. intenderemo l'intervallo della torre, & con la lettera C. vedremo il palco con le travi ricardateci da Vitruuio.



Dopo la regola data delle torri, seguita Vitruuio nel medesimo Capitolo, discorrendo sopra il fabbricar delle mura, et per douerle render forti, & sicure, dice che se ben le difese delle muraglie, & delle torri congiunte à gli argini, & terrapieni sono grandemente sicure, tuttauia non in ogni luogo si richiede l'argine, ma solamente là, doue dal di fuori di luogo alto à piede piano si potesse uenir ad oppugnar la città: & che però in cotai luoghi bisogna prima cauar i fossi d'altrezza, & di larghezza grandissima.

ARCHITET. DEL RVSCONI. D

Digitized by Google

Figura 5: Della architettura di Gio. Antonio Rusconi 1590, I, p. 13. Fonte: <https://books.google.it/> (visitato il 08/12/2022).

decenni hanno messo in luce una pratica costruttiva che non può definirsi casuale ma piuttosto diffusa anche in epoche più tarde con dettagli di collegamento mediante sia tecnologie legno-legno che chiodature in ferro (BRAMANTI 2004; SANNA, CUBONI 2006, p. 340; PATETTA 2007; SERAFINI 2009; MONTANA 2014; CAROCCI, TOCCI 2016; CAMPISI, SAELI 2018; PICCOLI *et alii* 2018; TOSONE, BELLICOSO 2018; ROSSI 2018-2019; DELLA TORRE, CANTINI 2020; DONATELLI 2020; CAROCCI *et alii* 2021).

3. Comportamento e Conservazione delle strutture con radicamenti lignei

L'importanza dello studio degli aspetti inquadrabili nel campo dell'archeologia della produzione architettonica consente, come citato, di evidenziare aspetti tecnologici che influenzano la qualità dei modelli interpretativi del comportamento

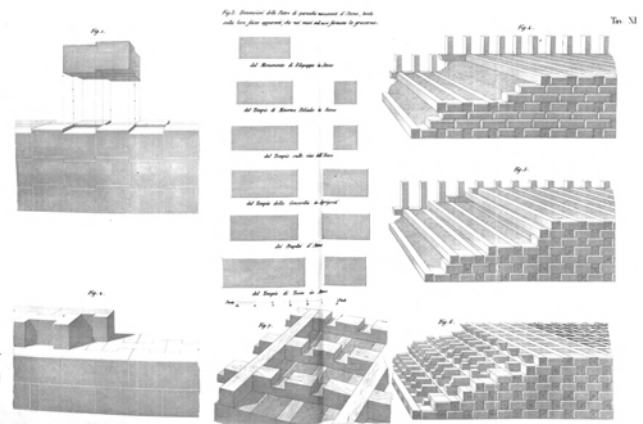


Figura 6: Trattato teorico pratico 1831, II, Tavola XI. Fonte: <http://www.antichefornaci.it/files/biblioteca/> (visitato il 08/12/2022).

strutturale e dello stato di conservazione del costruito esistente. La trattazione svolta sulle fonti ha già permesso di evidenziare alcuni aspetti fondamentali che sono in discussione nel presente paragrafo. Notoriamente, è possibile affermare come fosse chiaro anche in antico che l'architettura sia costituita da parti che devono essere ben connesse fra loro in un organismo unitario; la *firmitas* vitruviana è ben rappresentata, infatti, nel concetto espresso molti secoli più tardi da Leon Battista Alberti (*I dieci libri de l'Architettura* 1546, III, I; DI PASQUALE 1996, pp. 89-220). La ricerca di un comportamento scatolare, quindi, è un aspetto condiviso e ricercato dai costruttori del passato e non appare sempre strettamente vincolato a zone soggette ad elevato rischio sismico, per quanto sia ormai oggettivo riconoscere una marcata specializzazione degli accorgimenti costruttivi antisismici in determinate aree geografiche. Il concatenamento degli elementi in genere e la messa in opera di corsi di ripianamento, cordoli sommitali o adeguate legature si rintracciano nella trattatistica e trovano riscontro materico costruttivo sin dall'antichità attraverso il rilievo diretto di cerchiature in conci connessi fra loro da elementi metallici, in ferro o bronzo. Quando Palladio argomenta il restringimento in sezione che le murature devono avere in altezza, infatti, scrive: «il rilascio che farà di fuori si coprirà con un procinto, o fascia, e cornice, che circondi tutto l'edificio: il che farà adornamento, e sarà come legame di tutta la fabbrica. Gli angoli, perché partecipano di due lati, e sono per tenerli dritti, e congiunti insieme deono essere fermissimi, e con lunghe, e dure pietre come braccia tenuti» (I Quattro

libri dell'architettura 1570, I, cap. XI). All'oggi è parere condiviso e sperimentato che la planarità degli elementi costituenti l'unità tecnologica muratura e la regolarità dell'apparecchiatura stessa abbiano un'incidenza sul comportamento sia in termini di distribuzione dei carichi verticali (GIUFFRÈ 1991, pp. 1-3; GIUFFRÈ, CAROCCI 1999, p. 263) sia nel caso di azioni orizzontali (GIUFFRÈ 1991, *tavv.* 5-6; GIUFFRÈ, CAROCCI 1999, pp. 51-53). In secondo luogo, la qualità esecutiva delle connessioni trasversali intesa come ammorsamento interno alla sezione e tra muri ortogonali è ritenuta, come citato in premessa, requisito fondamentale per la comprensione della gerarchia strutturale, del grado di vincolo, e conseguentemente delle condizioni di equilibrio delle membrature architettoniche esistenti.

A fronte della scarsa resistenza a trazione della muratura, non è casuale l'integrazione della stessa con un materiale che presenta caratteristiche meccaniche intrinseche in questo senso più efficaci. Dall'esame delle fonti sono risultati evidenti anche altri vantaggi, tra cui la possibilità di procedere in sicurezza accelerando i tempi del cantiere in quanto le ossature lignee sono in grado di assumere immediatamente il carico della struttura in fase di costruzione. Tra i pregi tipici del legno, poi, vi è certamente il suo comportamento viscoelastico, evidenziato da deformazioni elastiche, anelastiche, viscosi e plastiche in relazione al regime di carico (TAMPONE 1996, pp. 4-5). Non deve essere conseguentemente trascurato che la capacità di deformarsi del materiale e delle sue connessioni in campo plastico sia definita "duttilità" e come rappresenta tuttora un requisito fondamentale al fine di garantire elevati livelli di dissipazione energetica, ad esempio nel caso di terremoto (NTC 2018, 7.7.2). Nella realtà operativa, oltre agli impliciti fattori positivi relativamente alle azioni orizzontali, le caratteristiche del legno consentivano di accompagnare eventuali movimenti della costruzione nelle fasi di completamento del cantiere edilizio e nel caso di fenomeni di cedimento differenziale durante il delicato processo di ricerca di una configurazione strutturale equilibrata, garantendo il grado di coesione e di resistenza elastica. Tale aspetto poteva verificarsi sia nel caso di singoli corpi di fabbrica ma anche nel collegamento tra parti distinte, come sottolineato nella trattatistica storica (cfr. *supra*), evitando meccanismi di ribaltamento fuori dal piano.

Sul versante della Conservazione, numerose sono parimenti le testimonianze riscontrate. Nella versione incompiuta di Cesariano del *De Architettura* di Vitruvio, si legge «*Orthostate non e dubio alchuno che li .2.C.8 sono ligni dicte chiave imposte per longo nel mezo de li muri de le Torre e sin aedificii como se vede manifestamente ne le Torre de la Civitate Comense in qualche parte rotte: ove appare cavo ove erano questi Orthostate già longo tempo putrefacti e consumpti: il qual cavo vuole Lauthore che sia amutato ordinariamente e perho nel .C19.del li .10 Havendo trovato in alchuni texti Orthostati hano corretto Orthostati: como ligni directamente strati: nientedimeno se po anchora lassare il primo vocabulo che significa cossa che sta recta*» (Di Lucio Vitruvio Pollione *De architectura libri dece* 1521, X, CLXXXIV). Il testo permette di introdurre quella che con ogni probabilità rappresenta la causa della progressiva sostituzione degli elementi lignei con parti in metallo: la sua predisposizione al dregado in regime di umidità elevata e, soprattutto, in assenza di manutenzione adeguata. Lo stesso Vitruvio nella parte originale del testo scritto dispone che i pali d'olivo siano bruciati, pratica riscontrata in innumerevoli impieghi del materiale legno e che consente di renderlo meno aggredibile da attacchi biologici, incrementandone la durabilità.

L'argomento è toccato anche da Vincenzo Scamozzi: «*sopra tutto vogliono esser riposti dall'humidità, né mai nel mezzo delle mura; perché si marciscono, ancora che si impegolassero, e si coprissero di lastre sottili di piombo: e perciò vogliono esser legnami forti, e robusti*». Egli documenta, inoltre, la tecnica di rivestimento delle travi nella più importante cupola fiorentina. «*La cupola di santa Maria del fiore in Fiorenza fatta da Filippo Brunelleschi, ha le sueincatenature tra una Volta, e l'altra, (perché sono doppie), e de' legnami forti buona grossezza, et in molti luoghi ricoperti di lastre sottili di ferro*» (*L'idea dell'architettura universale* 1615, libro II, VIII, XIV). Dalla lettura di queste righe risulta evidente come la durabilità del legno fosse certamente in passato una consapevolezza e, quindi, uno degli aspetti con cui fosse necessario misurarsi, ricercando soluzioni operative al problema. Giovanni Biagio Amico (1786), ad esempio, propone che «*Non deve la trave essere tocca da calcina, o altra cosa, che l'infracidisca, e perciò deve lasciarsi libera, alcuni bruggiano le teste delle travi che entrano nel muro per non imputridirli ed impeciano i legni che devono stare nell'umido*».

Infine, per onore di completezza, si ricorda come l'opinione di Sisto Mastrodicasa sull'uso di elementi lignei nelle opere murarie sia stata già

stata analizzata in precedenti studi (da ultimo DELLA TORRE, CANTINI 2020), specificando come certamente egli avesse il ragionevole intento di evidenziare la vulnerabilità del materiale in merito all'insorgenza dei fenomeni di degrado, congiunto alla difficoltà di intervento puntuale su parti annegate nella sezione, ma specificando anche che la sua sensazione di un impiego episodico di questa tecnica vada necessariamente rivisto alla luce dei più recenti studi e rinvenimenti.

Per determinare il comportamento, lo stato di conservazione e l'efficacia di queste strutture ibride il primo passo è certamente lo sviluppo del modello interpretativo attraverso l'attività di analisi multidisciplinare conoscitiva. Allo stato attuale delle ricerche, l'esame della trattativa e il riscontro archeologico-architettonico hanno evidenziato diverse modalità di posa in opera di elementi lignei. Tra le differenti tecnologie riscontrate, si citano nell'ambito del presente contributo: strutture a telaio con disposizione delle travi orizzontalmente, verticalmente e trasversalmente (sistema a graticcio, casa baraccata); la cosiddetta "muratura animata"⁹ con travi dormienti a più livelli della costruzione e connesse fra loro in un sistema che viene definito «una premoderna "muratura armata"» (Cangi 2009); muratura con tiranti longitudinali e cerchiature non disposte a tutti i livelli, talvolta costituenti un cordolo sommitale¹⁰; strutture con "travi morte" di dimensioni ridotte inserite come dormienti nella sezione orizzontale allo scopo di migliorare la distribuzione dei carichi soprattutto nel caso di murature con scarsa qualità costruttiva (VARAGNOLI 2004). Quest'ultimo caso, frequentemente documentato in centro-sud Italia, può trovare riscontro anche nel veneziano, si pensi all'utilizzo delle reme lignee in corrispondenza di aperture o solai (PIANA 1984; DOGLIONI 2011).

La conoscenza di questi sistemi, anche in linea teorica, consente di arrivare preparati alla fase di rilievo e conseguentemente di svolgere gli approfondimenti necessari allo sviluppo dell'attività progettuale di monitoraggio,

manutenzione ed eventualmente di intervento più adeguata.

Un recente studio sulla celebre catena in castagno della cupola di Santa Maria del Fiore, ad esempio, si è posto l'obiettivo di approfondire ed implementare la ricerca storica di uno dei sistemi strutturali certamente fra i più studiati in Italia, al fine di elaborare uno strumento operativo di monitoraggio e intervento (CELLI, OTTONI 2021).

4. Rinforzi lignei nei contesti medievali trentini

Il rilievo e lo studio di questi sistemi ibridi sono piuttosto rari nell'area della Provincia Autonoma di Trento. Si è di fronte, per il momento, a casi di rinvenimento sporadico in alcuni contesti castellani generalmente allo stato di rudere. Ciò sottolinea un aspetto importante: molti autori sono concordi nell'evidenziare come il riconoscimento di elementi lignei inseriti nelle murature sia molto condizionato dall'esperienza dell'osservatore e come spesso le cavità intercettate da scoperte fortuite siano erroneamente interpretate come tracce di ponteggi contestuali alle temporanee operazioni di cantiere. Un secondo fattore da tenere in considerazione è che il Trentino-Alto Adige sia collocato in zona rischio sismico 3 e 4¹¹, quindi in aree con bassa e scarsa possibilità che si verifichi un evento tellurico¹². L'analisi della sismologia storica (fig. 7) chiarisce le motivazioni della scelta, mettendo in luce una serie di eventi passati che quasi mai superano I_{max} 6, che identifica un forte evento, avvertito dalla popolazione e che causa tendenzialmente lievi danni all'edificato. Date queste informazioni oggettive, la diffusione di radicamenti lignei in questa zona non può essere ricondotta esclusivamente allo sviluppo di regole dell'arte locali a scopo antisismico ma dovrebbe essere ragionevolmente connessa alle altre motivazioni strutturali di distribuzione dei carichi ed incremento della coesione e resistenza elastica citate nel precedente paragrafo. Ciò appare indice di buone pratiche dell'edificare, soprattutto nel

⁹ Decreto Reale n. 1080 del 6 Settembre 1912, "Approvazione delle norme obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici nei comuni colpiti dal terremoto, in sostituzione di quelle approvate col r.d. 18 aprile 1909, n. 193", G.U. n. 247 del 19/10/1912, Art. 8.

¹⁰ In alcuni casi, particolarmente diffusi nell'aquilano, la tecnica si è ulteriormente specializzata dando origine a sistemi tetto impalettati a connettere la copertura con le murature d'ambito (MASIANI, TOCCI 2014, p. 812).

¹¹ <http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/Sismologia/-Classificazioni/pagina8.html>

¹² <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica>

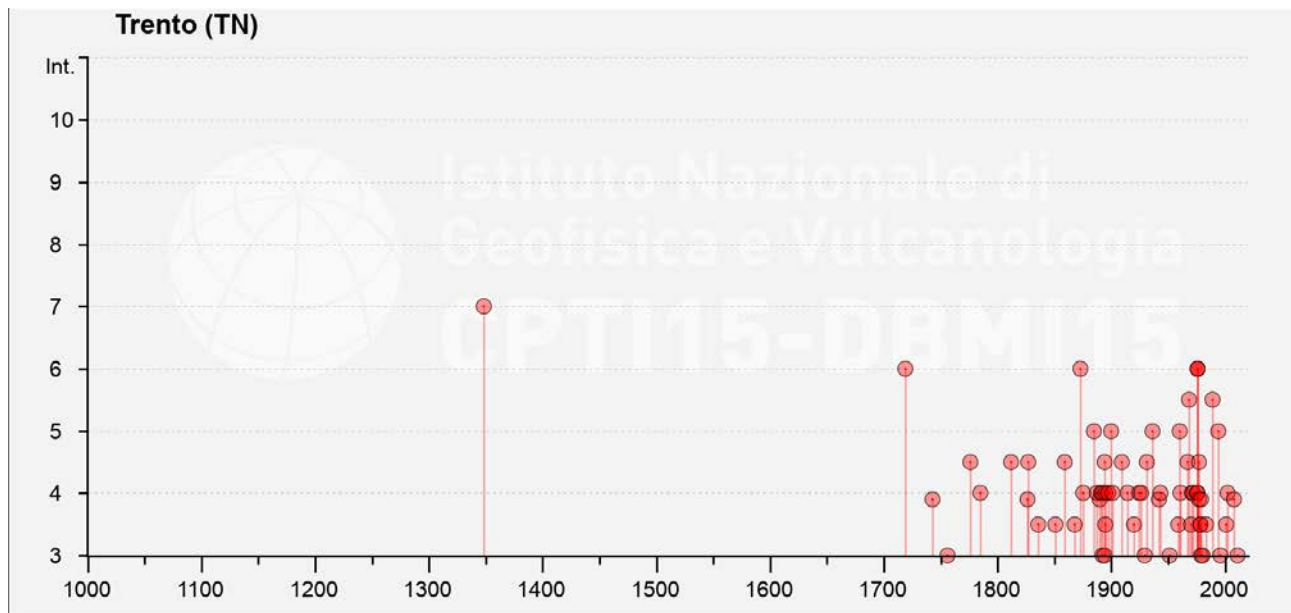


Figura 7: File di esportazione del DBMI15 v4.0, Database Macrosismico Italiano consultato per la città di Trento. Fonte: <https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/> (visitato il 08/12/2022).

caso di strutture complesse e a forte sviluppo in elevato quali sono le fortificazioni.

Le caratteristiche osservate, inoltre, non permettono di ricondurre questa tecnica a indicazioni operative precise ma la variabilità riscontrata è indice piuttosto di accorgimenti pratici dettati dal buon senso delle maestranze nella gestione di nodi costruttivi specifici e non dal suo impiego sistematico. Il rilievo permette di constatare che le travi utilizzate presentavano caratteristiche dimensionali di poco differenti, mentre ancora nulla si può affermare, almeno per il Medioevo castellare, in merito alla presenza di collegamenti tra le parti mediante tecnologie legno-legno o legno-metallo.

I casi rilevati in occasione del Progetto Apsat¹³ e in cantieri di restauro successivi hanno consentito, attraverso una rilettura dei dati specifici, un approfondimento su questi temi al fine di comprendere le ragioni e analizzare con più precisione il contesto di impiego.

Castel Barco, la cui citazione toponomastica risale al 1172 (AZZOLINI 2013b) si trova oggi allo stato di rudere su un crinale pertinente al Monte Corona nella frazione di Pomarolo (TN) in Vallagarina.

L'area riferita alla fortificazione è stimata 5.000 mq ed è in gran parte occupata da materiale di crollo che ha reso difficile la perimetrazione delle due cinte murarie che costituivano il complesso e che racchiudono tuttora il mastio. Quest'ultimo presenta una tecnica costruttiva in elementi lapidei, spaccati messi in opera con corsi suborizzontali, serrati da angolate in conci squadrati di pietra calcarea, lavorati superficialmente a bugnato. I giunti in malta di calce presentano deboli tracce di stilatura a connotare ulteriormente la cura e la qualità esecutiva del corpo di fabbrica¹⁴. Le cortine murarie, datate come il mastio al XII secolo, presentano analoga selezione e lavorazione per i pezzi dei paramenti e nell'angolata sud-ovest della cinta sommitale si è osservato l'impiego di travi lignee di forma circolare nella muratura (figg. 8-10). La sezione misura 80 cm circa mentre il diametro delle travi ha dimensioni 15-20 cm. Difficile invece stimare la quota di questo sistema di cerchiatura lignea in assenza di un rilievo geometrico accurato del complesso architettonico e di un'adeguata campagna di scavo archeologico al fine di individuare la quota di imposta della vela muraria. Ciò che appare evidente è che le due travi fossero

¹³ Progetto "APSAT" "Ambiente e Paesaggi dei Siti d'Alta Trentini" – Provincia Autonoma di Trento Bando "Grandi Progetti 2006" delibera G.P. 2790/2006. Partner: Università degli Studi di Trento; Dipartimento dei Beni Culturali dell'Università degli Studi di Padova; Università IUAV di Venezia; Fondazione Bruno Kessler; Castello del Buonconsiglio, monumenti e collezioni provinciali; Museo degli Usi e Costumi della Gente Trentina. Responsabile scientifico: prof. Gian Pietro Brogiolo; Coordinamento scientifico: dott.ssa Elisa Possenti.

¹⁴ In riferimento ai tipi murari nei castelli della Provincia Autonoma di Trento si veda GENTILINI, ZAMBONI 2014.



Figura 8: Castel Barco, Pomarolo (TN). Sezione della cinta sommitale con le tracce lasciate dal sistema di rinforzo ligneo con travi a sezione circolare.

posizionate al centro della sezione in senso longitudinale, forse ad intervalli regolari in altezza, e come queste convergessero nel cantonale mantenendo la stessa quota. Non è determinabile la



Figura 9: Castel Barco, Pomarolo (TN). Sezione della cinta sommitale con le tracce lasciate dal sistema di rinforzo ligneo con travi a sezione circolare. Particolare.

connessione tra i due elementi lignei in quanto ciò che è possibile osservare oggi è di fatto la traccia in negativo della presenza di questo sistema strutturale.

A Castel Beseno, le sezioni esposte della casa torre meridionale attribuita al XII secolo mostrano il vuoto lasciato da travi lignee a sezione rettangolare. Il castello, citato per la prima volta nel 1171 presenta uno sviluppo molto articolato (16.400 mq circa) e un iter trasformativo ancora non del tutto chiaro (LANDI *et alii* 2013). Domina un'altura nell'attuale Besenello (TN), all'incrocio di uno snodo viario verso l'altopiano di Folgaria, territorio che rientrava dal punto di vista amministrativo nel feudo gestito dal castello. Il suo stato di conservazione è quasi completamente a rudere ma sono leggibili molti dei corpi di fabbrica in elevato. La cavità rettangolare, documentabile solo sulla vela muraria occidentale della casa torre, è collocata a quota del solaio al primo piano ed è indice di una trave annegata in senso longitudinale nel mezzo della sezione (fig. 11). Data la quota non raggiungibile senza un ponteggio, le dimensioni stimate sono circa 20x20 cm. La muratura consta di elementi in calcare spaccati, apparecchiati a corsi suborizzontali con giunti liscciati a scivolo, e conci squadri spinati a punta con nastrino a scalpello in prossimità dei cantonali. Secondo una prima ricostruzione, la casa torre era connessa ad un muro di cinta che dall'angolo sud-ovest procedeva verso ovest. Il rinforzo ligneo della sezione potrebbe, quindi, essere contestuale a questo snodo strutturale di collegamento casa-torre e cinta.

Un altro caso del tutto simile è riscontrabile a Castel Corno, la cui prima menzione è risalente al



Figura 10: Castel Barco, Pomarolo (TN). Sezione della cinta sommitale con le tracce lasciate dal sistema di rinforzo ligneo con travi a sezione circolare. Particolare.



Figura 11: Castel Beseno, Besenello (TN). Complesso della casa-torre meridionale con muro est-ovest. Nella sezione del muro ovest della casa-torre, a livello del primo solaio è visibile traccia di una trave a sezione rettangolare.

1210 (AZZOLINI 2013a). La fortificazione si estende su una superficie di 2.300 mq su un'altura a 800 m slm, vicino alla frazione Lenzima, sopra l'abitato di Isera (TN). Come a castel Beseno, si documenta l'impiego di travi a sezione rettangolare nelle strutture pertinenti alla cinta più esterna (fig. 12). Ad una quota elevata e in corrispondenza di un solaio o l'impalcato di un camminamento di ronda, la funzione dell'elemento ligneo era forse quella di connettere due parti distinte, come dimostrerebbe l'angolata sottostante e un secondo muro che procede ortogonalmente al primo. L'elemento ligneo si conserva parzialmente e le sue dimensioni sono stimate 15x20 cm. La muratura presenta elementi spaccati apparecchiati in corsi suborizzontali e cantonali squadrati. In mancanza di un'analisi stratigrafica non è possibile datare la vela muraria in questione, che si inserisce in un complesso architettonico con elevati attribuiti al XII secolo.

Castel Gresta, la cui esistenza è nominata a partire dal 1225, presenta rinforzi lignei interni alla muratura dell'edificio IV, ritenuto appartenente al XIV-XV secolo (BROGIOLO 2013) e legato con

rapporto di posteriorità al mastio (edificio III). La fortificazione domina l'ultima propaggine della val di Gresta su un'altura naturalmente difesa. Le travi, a sezione rettangolare, e di dimensioni 20x20 cm, si trovavano posizionate in corrispondenza del solaio del piano secondo e a quota del primo (fig. 13). La muratura, con sezione di circa 1 m, si presenta in pietre spaccate e a corsi suborizzontali ed è, anche in questo caso, serrata in angolate in conci squadrati e spianati.

Altri due rinvenimenti si collocano in val di Non. Il primo concerne i ruderi di castel Flavon, citato nel 1269 (RAUZI, PEDERZOLLI 2013). Le strutture fortificate si trovano su uno stretto promontorio a 460 m slm e a strapiombo su due ripide vallate, nell'area pertinente l'omonimo centro abitato. Nel tratto murario più esteso di sezione 80 cm circa, si documenta l'inserto di un rinforzo ligneo a sezione quadrangolare 20x20 cm collocato sotto le travi del solaio (figg. 14-16). La muratura si presenta in ciottoli e pietre spaccate, a corsi suborizzontali. Il precario stato di conservazione non consente di chiarire, allo stato attuale delle ricerche, come il complesso fosse articolato al suo interno. Le fonti documentarie citano un fossato, una *domus* o



Figura 12: Castel Corno, Isera (TN). Vela muraria della cinta esterna con trave a sezione rettangolare ancora in situ.



Figura 13: Castel Gresta, Pannone (TN). Sezione dell'edificio IV con traccia di trave a sezione rettangolare.

pallacium (1389), una *stuba depicta* (1559) e i differenti materiali da costruzione: *muro, lignamine* (RAUZI, PEDERZOLLI 2013).

Un secondo esempio noneso, differisce strutturalmente dai precedenti, in quanto denota l'articolazione di un telaio con l'inserimento di travi poste longitudinalmente ad intervalli forse ricorrenti. Si tratta della vela muraria della prima cinta di castel San Pietro a Vigo di Ton (figg. 17-18). La fortificazione, la cui prima menzione è del 1321, presenta un mastio circolare e due cinte murarie. La seconda, più esterna, è stata datata al XIV secolo mentre il resto del complesso, che presenta la medesima tecnica costruttiva, al XIII secolo (GENTILINI *et alii* 2013). L'elevato in questione, di spessore 60-50 cm, è costituito da pietre spaccate, a corsi sub-orizzontali e giunti rifluenti lisciati. Non si conservano le angolate. Le travi impiegate sono a sezione circolare di diametro variabile 15-20 cm. Esse si sono conservate all'interno della sezione muraria, nella quale sono annegate in direzione

longitudinale su entrambi i lati ortogonali dell'elevato superstite. Presentano, inoltre, un interasse di circa 1,5 m e convergono nell'angolata nord-ovest alla stessa quota. Il rinvenimento di questo sistema con doppia cerchiatura, è al momento un caso isolato. Non si è purtroppo in possesso degli elementi necessari per definire il rudere osservato come un sistema ibrido a telaio ligneo, mentre più sicura appare l'ipotesi di uno sviluppo voltato del piano terreno dell'edificio addossato a questo perimetro murario.

La rassegna qui proposta non è certamente, e come anticipato, esaustiva trattandosi dell'esito di una rilettura di dati provenienti da sopralluoghi eseguiti dalla scrivente nell'ambito di un precedente progetto di ricerca. Ciò che è possibile affermare attualmente è che i casi si collocano in Vallagrana sono inquadrabili, con più o meno certezza, nell'ambito di contesti costruttivi di XII secolo. Al XIII sembrano afferire i sistemi ibridi

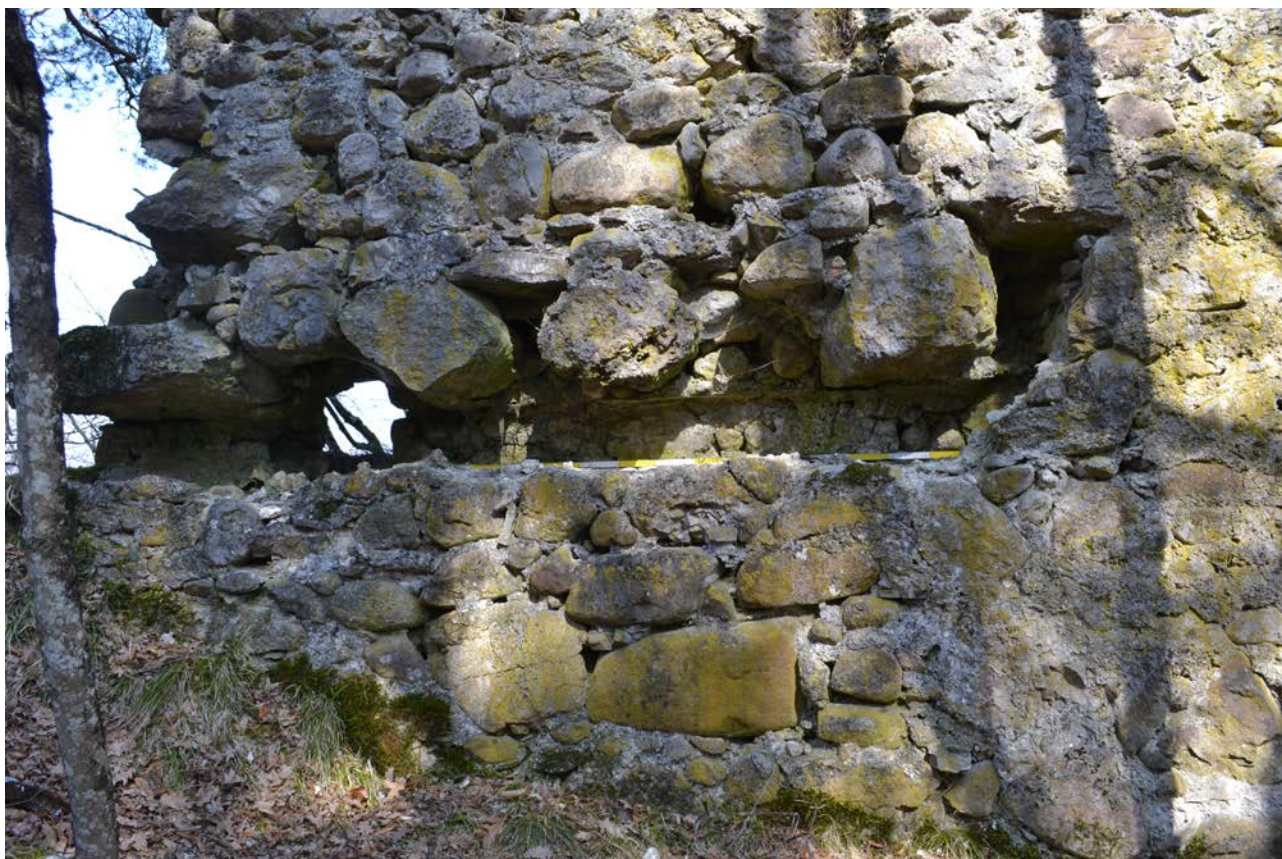


Figura 14: Castel Flavon, Flavon (TN). Prospetto del muro di cinta dove permane traccia di una trave a sezione rettangolare disposta longitudinalmente alla sezione.

della Val di Non, anche se non si è in possesso di particolari elementi datanti che possano permettere di escludere cronologie più antiche. Le attestazioni documentarie, infatti, riferiscono di castelli già esistenti e non si tratta in questi casi di carte di fondazione. Le tecnologie rinvenute sono nella stragrande maggioranza riferibili ad elementi di rinforzo annegati longitudinalmente in vele a forte sviluppo in elevato. Sulla loro funzione specifica si può dedurre che essi rappresentino degli espedienti strutturali atti a gestire particolari snodi tra corpi di fabbrica o parti diverse, come ad esempio, il contatto tra casa-torre e cinta a Castel Beseno, la connessione tra due ali ortogonali della cortina muraria a Castel Barco e a Castel Corno; il rapporto tra edificio addossato e cinta muraria a Castel San Pietro. Spesso si riscontrano in corrispondenza del primo solaio, mentre solamente a Castel San Pietro, si evidenzia con più certezza una soluzione più articolata. Anche il taglio delle travi è talvolta differente, sono impiegate aste a sezione rettangolare e circolare con una ricorrenza dimensionale di 15-20x15-20 cm circa.

5. Conclusioni e prospettive future

Il contributo intende segnalare la diffusione di tecnologie ibride che permettono di aggiornare e differenziare ulteriormente lo studio delle tecniche costruttive dei manufatti castellari siti in Provincia di Trento. I risultati sino ad ora ottenuti sono certamente vincolati all'ispezionabilità delle sezioni murarie ma costituiscono di fatto un primo passo nella documentazione a scala regionale di regole dell'arte locali che si specializzano nella sapiente unione di due materiali, altamente disponibili in loco, dalle caratteristiche meccaniche differenti e talvolta complementari. La necessità di implementare la capacità portante delle murature lapidee ha rappresentato una delle sfide primarie dei costruttori in passato. Era infatti essenziale sviluppare accorgimenti per particolari situazioni strutturali di difficile gestione senza eccedere nello spessore delle sezioni, fattore che avrebbe comportato altri problemi quali, ad esempio, l'impossibilità di connettere a regola d'arte e con elementi di punta i paramenti al nucleo interno,



Figura 15: Castel Flavon, Flavon (TN). Sezione del muro di cinta dove permane traccia di una trave a sezione rettangolare disposta longitudinalmente alla sezione.

soprattutto nel caso di opere con blocchi in pietra ottenuti con la tecnica a spacco.

Data la propensione al degrado del materiale legno in determinate condizioni termoigrometriche dettate anche da fattori quali la scarsa manutenzione o l'abbandono, la conoscenza a priori di questi sistemi appare fondamentale anche per una corretta indagine e sviluppo del modello interpretativo di complessi architettonici articolati. Si fa riferimento ad un'analisi che parte anzitutto dal riconoscimento di queste permanenze e dei vuoti da esse lasciati, che costituiscono all'oggi una vulnerabilità che fortemente incide sull'equilibrio strutturale e, in generale, sul comportamento.

Tra i casi elencati vi sono almeno due situazioni nelle quali le travi sono parzialmente conservate, ciò permetterebbe di effettuare indagini diagnostiche specifiche atte a determinarne la specie legnosa e a confermare/confutare le



Figura 16: Castel Flavon, Flavon (TN). Sezione del muro di cinta dove permane traccia di una trave a sezione rettangolare disposta longitudinalmente alla sezione. Particolare.

datazioni proposte sulla base delle analisi storiche e stratigrafiche eseguite.

Recenti indagini contestuali al cantiere di restauro del castello di Castellalto a Telve (TN) in Valsugana, hanno messo in luce degli elementi lignei nell'edificio adibito a palazzo¹⁵. Oltre all'incremento della conoscenza, il rilievo di questi permetterà di comprenderne lo stato di degrado e di scegliere con accuratezza la tecnica di intervento più adeguata.

L'altro aspetto su cui è necessario riflettere è la manutenzione di questi elementi ancora in opera in quei manufatti architettonici che oggi si mantengono in buono stato di conservazione e continuità d'uso. La diagnostica in questo caso è l'unica arma che si possiede per sviluppare le necessarie strategie. Un esempio in questo senso è offerto da uno studio svolto sul castello di Pergine, volto all'applicazione di indagini di approfondimento non distruttive sul costruito storico. La sperimentazione di rilievi eseguiti con termocamera IR ha permesso di apprendere alcune informazioni relativamente alle parti costituenti la sezione muraria, fra le quali la presenza di elementi lignei (cfr. BROLL, CAMPOLONGO 2015, p. 450).

In seguito agli spunti emersi è evidente come lo sviluppo di strategie diagnostiche, supportate da studi storici, stratigrafici, del degrado e del dissesto, consentano di identificare la composizione e la qualità esecutiva di sistemi ibridi in muratura e legno che rientrano nel patrimonio costruttivo tangibile e in quello intangibile delle tecniche storiche a livello regionale. L'incremento della

¹⁵ Si ringrazia l'arch. Giorgia Gentilini per la segnalazione.



Figura 17: Castel San Pietro, Vigo di Ton (TN). Sezione della prima cinta che presenta conservate in situ travi a sezione circolare ad intervallo di 1,5 m.



Figura 18: Castel San Pietro, Vigo di Ton (TN). Sezione dell'edificio addossato alla prima cinta che presenta conservate in situ travi a sezione circolare ad intervallo di 1,5 m.

conoscenza in questo senso consente di coordinare, una volta definito lo stato di conservazione, le fasi di monitoraggio, manutenzione ed intervento secondo i principi condivisi del Restauro e tenendo conto delle istanze della Sicurezza. Ancora una volta, l'archeologia della produzione architettonica si configura quale ramo disciplinare particolarmente adatto a implementare strumenti di indagine, indirizzare approfondimenti diagnostici e sviluppare un linguaggio multidisciplinare specifico che faciliti la comunicazione e la comprensione reciproca tra le differenti figure coinvolte nelle attività di Conservazione e Prevenzione dell'architettura storica.

Bibliografia

- AL QABLAN H., RABABEH S., KATKHUDA H., AL-QABLAN T. 2019, *On the use of wooden beams as an anti-seismic device in stone masonry in Qasr el-Bint, Petra, Jordan*, in "Journal of Building Engineering", 21, pp. 82-96.
- AZZOLINI A. 2013a, *Scheda n. 153. Castel Corno*, in POSSENTI E., GENTILINI G., LANDI W., CUNACCIA M. (a cura di), *Apsat 5. Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 2*, Mantova, pp. 79-83.
- AZZOLINI A. 2013b, *Scheda n. 170. Castel Barco*, in POSSENTI E., GENTILINI G., LANDI W., CUNACCIA M. (a cura di), *Apsat 5. Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 2*, Mantova, pp. 130-132.
- BILGIN A.R. 2021, *Geç Orta Çağ Bizans Savunma Yapılarında Ahşap Hatıl Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme*, in "Aralık", 1, 1, pp. 37-52.
- BINI M., BERTOCCI S. (a cura di) 2009, *Castelli medievali a Petra e nel Vicino Oriente tra rilievo e archeologia*, Atti del convegno internazionale di studi, Firenze 21-25 ottobre 2004, Firenze.
- BORRI A., SISTI R., CASTORI G., CORRADI M., DE MARIA A. 2017, *Analisi del comportamento di alcuni edifici di culto in Valnerina a seguito dei sismi 2016*, in BRAGA F., SALVATORE W., VIGNOLI A. (a cura di), *L'ingegneria sismica in Italia*, 4 Atti del XVII Convegno Nazionale ANIDIS, Pistoia, 17-21 settembre 2017, Pisa, SS03-87.
- BRAMANTI A. 2004, *L'utilizzo di rinforzi lignei all'interno della muratura: ricerche nei siti fortificati medioevali della Toscana*, in "Bollettino Ingegneri", 12, pp. 1-12.
- BROGIOLO G.P. 2013, *Scheda n. 156. Castel Gresta*, in POSSENTI E., GENTILINI G., LANDI W., CUNACCIA M. (a cura di), *Apsat 5. Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 2*, Mantova, pp. 92-95.
- BROLL C., CAMPOLONGO F. 2015, *Il restauro del castello di Pergine*, in *Monumenti. Conoscenza, Restauro, Valorizzazione. 2009-2013*, Trento, pp. 447-471.
- CAMPISI T., SAEI M. 2018, *Timber anti-seismic devices in historical architecture in the Mediterranean area*, in DE PROFT K., BREBBIA C.A., CONNOR J. (eds), *Timber Structures and Engineering*, Witpress, pp. 149-161.
- CANGI G. 2009, *Murature tradizionali e terremoto - Analisi critica del danno come presupposto per il recupero e la ricostruzione dell'edilizia storica danneggiata dal sisma in Abruzzo*, in *Restaurare dopo terremoto*, Atti del convegno Pescara 19 novembre 2009, Pescara, Pdf.
- CAROCCI C.F., LAGORMARSINO S. 2009, *Gli edifici in muratura nei centri storici dell'Aquilano*, in "Progettazione sismica", 3, pp. 117-131.
- CAROCCI et alii 2021 = Carocci C.F., Macca V., Tocci C. 2021, *The roots of the 18th century turning point in earthquake-resistant building*, in MATEUS M., PIRES P. (eds), *History of Construction Cultures*, Proceedings of the 7th International Congress on Construction History (7ICCH 2021), July 12-16, 2021, Lisbon, Portugal, II, Lisbona, pp. 623-630.
- CAROCCI C.F., TOCCI C. 2016, *Le tecniche costruttive post 1703 a L'Aquila*, in NOBILE M.R., SCIBILIA F. (a cura di), *Tecniche costruttive nel Mediterraneo. Dalla stereotomia ai criteri antisismici*, Palermo, pp. 163-178.
- CELLI S., OTTONI F. 2021, *An informative tool for the preservation of the wooden encircling tie rod of the dome of Santa Maria del Fiore, in Florence*, in *ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES*, Proceedings of the joint international event, 9th Valencia (Spain) 26-28 April 2021, pp. 185-192, Pdf.
- DELLA TORRE S. 1990, *Alcune osservazioni sull'uso di incatenamenti lignei in edifici dei secoli XVI-XVII*, in CASCIATO M., MORNATI S., SCAVIZZI C.P., *Il Modo di Costruire*, Atti del convegno, Roma 6-8 giugno 1988, Roma.
- DELLA TORRE S., CANTINI L. 2020, *Timber reinforcements: local construction techniques in Italian Historical Buildings*, in ROCA P., PELA L., MOLINS C. (eds), *Proceedings of 12th International Conference on Structural Analysis of Historical Construction SAHC*, pp. 1-12.
- DI PASQUALE S. 1996, *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, Venezia.

DOGLIONI 2011, *Riflessioni e domande sulla concezione strutturale delle costruzioni veneziane*, in DOGLIONI F., MIRABELLA ROBERTI G., *Venezia. Forme Della Costruzione Forme Del Dissesto*, Venezia, pp. 173-194.

DONATELLI A. 2020, *Approfondimenti sotorico-architettonici per la caratterizzazione dell'edificato urbano e il restauro in zona sismica*, in CAPANO F., VISIONE M. (a cura di), *La Città Palinsesto. Tracce, sguardi e narrazioni sulla complessità dei contesti urbani storici*, Tomo primo, Napoli, pp. 489-498.

FERRIGNI F. 2015, *Vernacular architecture: a paradigm of the local seismic culture*, in CORREIRA M., LOURENCO P.B., VARUM H. (Eds), *Seismic Retrofitting Learning from Vernacular Architecture*, Balkema, pp. 1-13

GALETTI P. 2010, *Edilizia residenziale tra IX-X secolo. Storia e archeologia*, Firenze.

GENTILINI G., LANDI W., LENZI K., ZAMBONI I. 2013, *Scheda n. 76. Castel San Pietro*, in POSSENTI E., GENTILINI G., LANDI W., CUNACCIA M. (a cura di), *Apsat 4. Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 1*, Mantova, pp. 251-256.

GENTILINI G., ZAMBONI I. 2014, *Considerazioni preliminari per lo studio delle apparecchiature lapidee in contesti castellani trentini di epoca romanica*, in BROGIOLO G.P., GENTILINI G. (a cura di), *Tecniche murarie e cantieri del Romanico nell'Italia settentrionale*, Atti del Convegno (Trento, 25-26 ottobre 2012), «Archeologia dell'Architettura», XVII (2012), pp. 32-54.

GIAVARINA G.V. 2016, *L'Aquila. Tecniche costruttive antisismiche prima e dopo il terremoto del 2 febbraio 1703*, in NOBILE M.R., SCIBILIA F. (a cura di), *Tecniche costruttive nel Mediterraneo. Dalla stereotomia ai criteri antisismici*, Palermo, pp. 153-162.

GIL CRESPO I. 2016, *Wooden reinforcing chains in Spanish Medieval fortifications*, in CAMPBELL J.W.P., BAKER N., BILL N., DRIVER M., HEATON M., PAN Y., TUTTON M., WALL C., YEOMANS D. (eds), *Further Studies in the History of Construction*, Proceedings of the Third Annual Conference of the Construction History Society, Cambridge April 8-12 2016, Cambridge, pp. 129-140.

GIUFFRÈ A. 1991, *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Roma.

GIUFFRÈ A., CAROCCI C.F. 1999, *Codice di pratica per la sicurezza e conservazione del centro storico di Palermo*, Roma-Bari.

GUIDOBONI E. 1987, "Delli rimedi contra terremoti per la sicurezza degli edifici": la casa antisismica di Pirro Ligorio (Sec. XVI), in AA. VV., *Tecnica e società nell'Italia dei secoli XII-XVI*, Atti dell'XI convegno internazionale, Pistoia 28-31 ottobre 1984, Pistoia, pp. 215-228.

KOUMANTOS A. 2016, *Wooden Reinforcements In Byzantine Masonry: A Rough Guide To Their Position And Arrangement*, in OUSTERHOUT R., BORBONUS D., DUMSER E. (Ed.), *Byzantine Construction, Against Gravity: Building Practices in the Pre-Industrial World*, Philadelphia, pp. 1-32.

LANDI W., POSTINGER C.A., ZAMBONI I. 2013, *Scheda n. 139. Castel Beseno*, in POSSENTI E., GENTILINI G., LANDI W., CUNACCIA M. (a cura di), *Apsat 5. Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 2*, Mantova, pp. 53-63.

MARINO A. (a cura di) 2000, *Presidi antisismici nell'architettura storica e monumentale*, Roma.

MARINO L. 1983, *Tracce di strutture lignee nella torre di Magliano (Molise)*, in TAMPONE G. (a cura di), *Legno nel Restauro e Restauro del Legno*, Atti del Congresso, Firenze 30 Novembre - 3 Dicembre 1983, Firenze, pp. 107-118.

MARINO L. 2009, *L'opus gallicum. Un apparecchio murario di epoca romana reimpiegato nei castelli di epoca crociata*, in BINI M., BERTOCCI S. (a cura di), *Castelli medievali a Petra e nel Vicino Oriente tra rilievo e archeologia*, Atti del convegno internazionale di studi, Firenze 21-25 ottobre 2004, Firenze, pp. 151-160.

MASIANI R., TOCCI C. 2014, *Seismic History of the Church of San Pietro Di Coppito in L'Aquila*, in "International Journal of Architectural Heritage", 9, pp. 811-833.

MONTANA S. 2014, *L'uso dei dispositivi di rinforzo ligneo nell'architettura siciliana d'età moderna*,

“Lexicon. Storie e architettura in Sicilia e nel Mediterraneo”, 18, pp. 32-39.

NAPOLITANO R., GLISIC B. 2019, *Understanding The Function Of Roman Bonding Courses: A Numerical Approach*, “Journal of Cultural Heritage”, 39, pp. 120-129.

PATETTA L. 2007, *Le “catene” come scelta progettuale negli edifici tra XIII e XV secolo*, in PATETTA L. (a cura di), *Scritti sull’architettura del Rinascimento*, Rimini, pp. 205-217.

PIANA M. 1984, *Accorgimenti costruttivi e sistemi statici dell’architettura veneziana*, in GIANIGHIAN G., PAVANINI P., *Dietro i palazzi. Tre secoli di architettura minore a Venezia 1492-1803*, Venezia, pp. 33-37.

PICCOLI E., TOCCI C., CATERINO R., ZANET E. 2018, *Lo Stato entra in cantiere: sviluppo e utilità di una fonte seriale settecentesca*, in MAROTTA A., SPALLONE R. (eds), *7 Defensive Architecture of the Mediterranean*, Proceedings of the International Conference on Modern Age Fortification of the Mediterranean Coast FORTMED 2018, Torino 18-20 ottobre 2018, Torino, pp. 217-224.

RAUZI M., PEDERZOLLI M. 2013, *Scheda n. 60. Castel Flavon*, in POSSENTI E., GENTILINI G., LANDI W., CUNACCIA M. (a cura di), *Apsat 4. Castra, castelli e domus murate. Corpus dei siti fortificati trentini tra tardo antico e basso medioevo. Schede 1*, Mantova, pp. 201-204.

ROSSI A. 2018-2019, *La lettura costruttiva dell’architettura storica dalle fonti d’archivio al rilievo diretto. Il quartiere San Tommaso nella Cittadella di Alessandria*, Tesi di Laurea magistrale in Architettura per il restauro e la valorizzazione del patrimonio, relatore C. Tocci, co-relatori E. Piccoli, R. Caterino, a.a. 2018-2019, Politecnico di Torino.

SANNA A., CUBONI F. (a cura di) 2006, *I manuali del recupero dei centri storici della Sardegna. Architettura in pietra delle Barbagie, dell’Ogliastra, del Nuorese e delle Baronie*, Roma.

SERAFINI L. 2009, *Terremoti e architetture in Abruzzo. Gli espedienti antisismici del cantiere tradizionale*, in VARAGNOLI C. (a cura di), *Muri parlanti. Prospettive per l’analisi e la conservazione dell’edilizia storica*, Atti del convegno, Pescara 26-27 settembre 2008, Firenze, pp. 221-236.

SANTAGATI E. 2021, *Filone di Bisanzio. Μηχανική Σύνταξις. La costruzione delle mura*, Roma.

TAMPONE G. 1996, *Il restauro delle strutture di legno. Il legname da costruzione, le strutture lignee e il loro studio, restauro, Tecniche di esecuzione del restauro*, Milano.

THOMSON H.C. 1960, *A Row of Cedar Beams*, “Palestine Exploration Quarterly”, 92, 1, pp. 57-63.

TOULIATOS P. 2015, *Cooperating Timber and Stone Antiseismic Frames in Historic Structures of Greece*, in CRUZ H., MACHADO J.S., COSTA A.C., CANDEIAS P.X., RUGGIERI N., CATARINO J.M. (eds), *Historical Earthquake-Resistant Timber Framing in the Mediterranean Area*, Cham, Switzerland, pp. 3-15.

TOSONE A., BELLICOSO A. 2018, *Anti-seismic presidia in the historical building of L’Aquila: the role of the wooden elements*, “Journal of Heritage Architecture”, 2, 1, pp. 48-59.

VINTZILEOU E. 2011, *Timber-Reinforced Structures In Greece: 2500 BC- 1900 AD*, in *Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers*, “Structures And Buildings”, 164, SB3, pp. 167-180.

VARAGNOLI C. 2004, *L’edilizia tradizionale nei suoi rapporti con l’ambiente: materiali e sistemi costruttivi in Abruzzo*, in FUSERO P. (a cura di), *Ecoscape. Valorizzazione del patrimonio ambientale e paesaggistico*, Pescara.

VARAGNOLI C. 2008, *Abruzzo. Un ritratto edilizio*, in VARAGNOLI C. (a cura di), *La costruzione tradizionale in Abruzzo. Fonti materiali e tecniche costruttive dalla fine del Medioevo all’Ottocento*, Roma, pp. 11-34.

VARAGNOLI C. 2008, *Tecniche e materiali nella costruzione delle volte in Abruzzo*, in VARAGNOLI C. (a cura di), *La costruzione tradizionale in Abruzzo. Fonti materiali e tecniche costruttive dalla fine del Medioevo all’Ottocento*, Roma, pp. 49-64.

ZAMBONI I. 2021a, *Le regole dell’arte, il sisma e la prova sperimentale del tempo. Archeologia della produzione architettonica a Civita di Bagnoregio (VT)* “Archeologie Sperimentali. Temi, Metodi, Ricerche”, 2, pp. 109-133.

ZAMBONI I. 2021b, *Archeologia e modelli interpretativi del danno: strumenti per la mitigazione di vulnerabilità in architetture storiche veneziane*, in CUCCO P., RIBERA FERRARI F. (a cura di), *Ri-comporre i frammenti. Sfide per l'architettura a rischio*, in "Esempi D'Architettura. International Journal of Architecture and Engineering", Special Issue, pp. 137-148.

Trattati

I dieci libri de l'Architettura 1546 = Alberti, Leon Battista, *I dieci libri de l'architettura ... da la cui prefazione breuemente si comprende la commodità, l'utilità, la necessità, e la dignità di tale opera ... Nouamente da la latina ne la volgar lingua con molta diligenza tradotti*. In Vinegia: appresso Vincenzo Vaugris, 1546.

L'architetto pratico 1726 = Amico G.B., *L'architetto pratico. In cui con facilità si danno le regole per apprendere l'Architettura Civile e Militare*, Palermo, 1726.

De bello gallico = Cesare C.G., *De bello gallico*, Edizione Ortona 2012.

Della architettura di Gio. Antonio Rusconi 1590 = *Della architettura di Gio. Antonio Rusconi, con centosessanta figure dissegnate dal medesimo, secondo i precetti di Vitruuio, e con chiarezza, e breuità dichiarate libri dieci*. In Venetia: appresso i Gioliti, 1590.

Di Lucio Vitruuio Pollione De architectura libri dece 1521 = *Di Lucio Vitruuio Pollione De architectura libri dece traducti de latino in vulgare affigurati: commentati: & con mirando ordine insigniti: per il quale facilmente potrai trouare la multitudine de li abstrusi & reconditi vocabuli a li soi loci & in epsa tabula con summo studio expositi & enucleati ad immensa utilitate de ciascuno studioso & beniuolo di epsa opera. (Impressa nel amoena ... citate de Como: per magistro Gotardo da Ponte cittadino milanese, 1521. 15. mensis Iulii).*

I dieci libri dell'architettura di Vitruuio 1584 = *I dieci libri dell'architettura di M. Vitruuio tradutti et commentati da monsignor Barbaro eletto patriarca d'Aquilegia. Con due tauole, l'una di tutto quello si contiene per i capi dell'opera, l'altra per dechiaratione di tutte le cose d'importanza*, in Vinegia per Francesco Marcolini, 1584 (in Venetia, per Francesco Franceschi Senese, 1584).

I Quattro libri dell'architettura 1570 = Palladio A. 1508-1580, *I quattro libri dell'Architettura*, Venetia, appresso Dominico de' Franceschi, 1570, Ristampa Anastatica, U. Hoepli, Trento 1990.

Trattato teorico pratico 1831 = Rondelet J.B. 1831, *Trattato teorico pratico dell'arte di edificare*, Mantova, prima traduzione italiana sulla sesta edizione originale con note e giunte importantissime per cura di Basilio Soresina.

L'idea dell'architettura universale 1615 = Scamozzi V. 1615, *L'idea dell'architettura universale*, Sala Bolognese, Ristampa Anastatica, Arnaldo Forni editore, 1982.

Viollet-Le-Duc E. 1854-1868, *Dictionnaire raisonné de l'architecture du XIe au XVIe siecle*, Paris.

De Architectura = Vitruvio Pollione M., *De Architectura*, Edizione Roma, 2007.

Istoria e teoria de' tremuoti 1783 = Vivenzio G. 1783, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina*, Stamperia Reale, Napoli.

Norme e documenti

Circolare 2019 = Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17, gennaio 2018, (19A00855)*, G.U. n.35 del 11/02/2019 – Suppl. Ord. n. 5.

Direttiva MIBACT 2015 = Direttiva del Ministro dei beni e delle attività culturali e del turismo 2015, *Aggiornamento della direttiva del 12 dicembre 2013 "Procedure per la gestione delle attività di messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio culturale in caso di emergenze derivanti da calamità naturali"*, (15A05594), G.U. Serie Generale n. 169 del 23/07/2015.

D.P.C.M. 2007 = D.P.C.M. 12 ottobre 2007, *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni*. G.U. n. 25 del 29/01/2008 – Suppl. Ord. n. 24.

D.P.C.M 2011 = Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 9 febbraio 2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008, G.U. n. 47 del 26/02/2011 – Suppl. Ord. n. 54.*

DPC, ReLUIS 2010 = Dipartimento Protezione Civile, Consorzio Universitario della Rete dei Laboratori di Ingegneria Sismica 2010, *Linee Guida per il rilievo, l'analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato. Bozza.*

NTC 2018 = Ministero infrastrutture e trasporti, D.M. 17 gennaio 2018, *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. Serie Generale n. 42 del 20/02/2018 – Suppl. Ord. n. 8.*

OPCM 2006 = Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. G.U. n. 108 del 11/05/06.*

Sitografia

<http://www.antichefornaci.it/files/biblioteca/>
(visitato il 08/12/2022)

<https://archive.org> (visitato il 08/12/2022)

<http://www.bibbia.net/> (visitato il 08/12/2022)

<https://books.google.it/> (visitato il 08/12/2022)

<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>
(visitato il 08/12/2022)

https://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonné_de_l'architecture_française_du_XIe_au_XVIe_siècle (visitato il 08/12/2022)

<http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/Sismologia/-Classificazioni/pagina8.html> (visitato il 08/12/2022)

<https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/sismico/attivita/classificazione-sismica> (visitato il 08/12/2022)