



# **ReUSO 2024**

## **Documentazione, restauro e rigenerazione sostenibile del patrimonio costruito**

a cura di  
Alessio Cardaci, Francesca Picchio, Antonella Versaci





PUBLICA

## **ReUSO 2024**

### **Documentazione, restauro e rigenerazione sostenibile del patrimonio costruito**

a cura di  
Alessio Cardaci, Francesca Picchio, Antonella Versaci

**ISBN: 978-88-99586-454**

Alessio Cardaci, Francesca Picchio, Antonella Versaci (a cura di)  
*Reuso 2024: Documentazione, restauro e rigenerazione sostenibile del patrimonio costruito*  
© PUBLICA, Alghero, 2024  
ISBN 978 88 99586 454  
Pubblicazione Ottobre 2024

I saggi contenuti in questo volume sono stati sottoposti  
a referaggio cieco (*double blind peer review*) da parte di *referee*  
facenti parte di un apposito comitato scientifico.

Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate  
Università degli Studi di Bergamo

Dipartimento Ingegneria Civile Architettura DICAr  
Università degli Studi di Pavia

Dipartimento di Ingegneria e Architettura  
Università degli Studi di Enna "Kore"



PUBLICA  
WWW.PUBLICAPRESS.IT



## COMITATI

### DIREZIONE SCIENTIFICA

Alessio Cardaci – Università degli Studi di Bergamo  
Francesca Picchio – Università degli Studi di Pavia  
Antonella Versaci – Università degli Studi di Enna 'Kore'

### COMITATO D'ONORE

Sergio Cavalieri – Magnifico Rettore Università degli Studi di Bergamo  
Elena Carnevali – Sindaco del Comune di Bergamo  
Sergio Gandi – Vicesindaco del Comune di Bergamo, delegato alla Cultura e Rapporti con l'Università  
Elisabetta Bani – Pro-Rettore Università degli Studi di Bergamo  
Giuseppe Franchini – Direttore DISA – Università degli Studi di Bergamo  
Andrea Penna – Direttore DICAr – Università degli Studi di Pavia  
Francesco Castelli – Direttore DIA – Università degli Studi di Enna "Kore"  
Francesca Fatta – Presidente UID – Unione Italiana Disegno  
Rossella Salerno – Vicepresidente UID – Unione Italiana Disegno  
Fabio Fatiguso – Presidente Ar.Tec. – Società Scientifica di Architettura Tecnica  
Renata Picone – Presidente SIRA – Società Italiana per il Restauro dell'Architettura  
Maurizio Caperna – Vicepresidente SIRA – Società Italiana per il Restauro dell'Architettura  
Elena Svalduz – Presidente AISU – Associazione Italiana di Storia Urbana  
Massimiliano Savorra – Vicepresidente AISU – Associazione Italiana di Storia Urbana  
Edoardo Currà – Presidente AIPAI – Associazione Italiana per il Patrimonio Archeologico Industriale  
Bernardo Naticchia - Presidente ISTeA - Italian Society Science Technology and Engineering of Architecture  
Roberta Frigeni – Direttore del Museo delle Storie di Bergamo  
Cristiana Iommi – Responsabile Biblioteca Civica Angelo Mai e Archivi storici  
Giovanni Carlo Federico Villa – Presidente Ateneo di Scienze Lettere ed Arti  
Laura Serra Perani – Vicepresidente Ateneo di Scienze Lettere ed Arti  
Maria Mencaroni Zoppetti – Vicepresidente Ateneo di Scienze Lettere ed Arti  
Sergio Tosato - Presidente della Fondazione Dalmine  
Carolina Lussana - Vice-Presidente della Fondazione Dalmine  
Mariangela Carlessi - Presidente della Fondazione 'Giusi Pesenti Calvi'

### COMITATO SCIENTIFICO

Andrea Arrighetti – Università degli Studi di Siena  
Marcello Balzani – Università degli Studi di Ferrara  
Calogero Bellanca – Università degli Studi di Roma 'La Sapienza'  
Andrea Belleri – Università degli Studi di Bergamo  
Stefano Bertocci – Università degli Studi di Firenze  
Daniela Besana – Università degli Studi di Pavia  
Matteo Bigongiari – Università degli Studi di Firenze  
Vanessa Borges Brasileiro – Universidade Federal de Minas Gerais  
Maria Sole Brioschi – Università degli Studi di Bergamo  
Susanna Caccia Gherardini – Università degli Studi di Firenze  
Alessio Cardaci – Università degli Studi di Bergamo  
Santi Cascone – Università degli Studi di Catania  
Chiara Circo – Università degli Studi di Catania



Antonio Conte – Università degli Studi della Basilicata  
 Valentina Cristini – Universitat Politècnica de València  
 Fauzia Farneti – Università degli Studi di Firenze  
 Marinella Fossetti – Università degli Studi di Enna ‘Kore’  
 Emanuele Garda – Università degli Studi di Bergamo  
 Daniela Giretti – Università degli Studi di Bergamo  
 Alessandra Ghisalberti – Università degli Studi di Bergamo  
 Alessandro Greco – Università degli Studi di Pavia  
 Antonella Guida – Università degli Studi della Basilicata  
 Mariangela Liuzzo – Università degli Studi di Enna ‘Kore’  
 Nora Lombardini – Politecnico di Milano  
 Alessandra Marini – Università degli Studi di Bergamo  
 Giovanni Minutoli – Università degli Studi di Firenze  
 Camilla Mileto – Universitat Politècnica de València  
 Giulio Mirabella Roberti – Università degli Studi di Bergamo  
 Susana Mora Alonso-Muñoyerro – Universidad Politécnica de Madrid  
 Marco Morandotti – Università degli Studi di Pavia  
 Maurizio Oddo – Università degli Studi di Enna ‘Kore’  
 Luis Palmero Iglesias – Universitat Politècnica de València  
 Caterina Palestini – Università degli Studi “G. d’Annunzio” Chieti-Pescara  
 Elisabetta Palumbo – Università degli Studi di Bergamo  
 Sandro Parrinello – Università degli Studi di Firenze  
 Francesca Picchio – Università degli Studi di Pavia  
 Davide Prati – Università degli Studi di Bergamo  
 Monica Resmini – Università degli Studi di Bergamo  
 Marco Ricciarini – Università degli Studi di Pavia  
 Paolo Riva – Università degli Studi di Bergamo  
 Emanuele Romeo – Politecnico di Torino  
 Riccardo Rudiero – Politecnico di Torino  
 Giuseppe Ruscica – Università degli Studi di Bergamo  
 Massimiliano Savorra – Università degli Studi di Pavia  
 Barbara Scala – Università degli Studi di Brescia  
 Marco Tanganelli – Università degli Studi di Firenze  
 Ilaria Trizio – Istituto per le Tecnologie della Costruzione CNR  
 Silvio Van Riel – Università degli Studi di Firenze  
 Fernando Vegas López-Manzanares – Universitat Politècnica de València  
 Antonella Versaci – Università degli Studi di Enna ‘Kore’  
 Maria Rosaria Vitale – Università degli Studi di Catania

#### SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

Pietro Azzola – Università degli Studi di Bergamo  
 Sara Brescia – Università degli Studi di Pavia  
 Gabriele Daleffe – Università degli Studi di Bergamo  
 Anna Dell’Amico – Università degli Studi di Pavia  
 Elisabetta Doria – Università degli Studi di Pavia  
 Luca Renato Fauzia – Università degli Studi di Enna ‘Kore’  
 Francesca Galasso – Università degli Studi di Pavia  
 Silvia La Placa – Università degli Studi di Pavia  
 Monica Lusoli – Università degli Studi di Firenze  
 Giulia Porcheddu – Università degli Studi di Pavia  
 Michele Russo – Università degli Studi di Enna ‘Kore’

#### COMITATO FONDATORE ASSOCIAZIONE ReUSO

Stefano Bertocci – Università degli Studi di Firenze  
 Fauzia Farneti – Università degli Studi di Firenze  
 Giovanni Minutoli – Università degli Studi di Firenze  
 Susana Mora Alonso-Muñoyerro – Universidad Politécnica de Madrid  
 Silvio Van Riel – Università degli Studi di Firenze

#### CON IL SUPPORTO DI



#### CON IL PATROCINIO DI



#### SPONSOR







## INDICE

- XXI *Introduzione*
- XXIV *Conservare il patrimonio in tempo di crisi*
- XXVI *Presentazioni istituzionali*
- XXVIII *Lista degli autori*

### SEZIONE 1 - Tecnologie e strumenti al servizio del percorso di conoscenza: letture storico-critiche, documentazione, rappresentazione, valorizzazione del patrimonio costruito e paesaggistico anche mediante il mondo digitale

- 3 Renato Morganti, Laura Ciammitti  
*Strumenti per il recupero del patrimonio costruito: relazioni tra normativa e manualistica*
- 15 Daniele Romagnoli  
*BIM e GIS 3D per la mappatura del degrado: casi studio a confronto*
- 27 Francesca Lembo Fazio  
*Riuso dell'antico a Roma e nei suoi territori circostanti. Alcuni casi nei possedimenti sotto l'influenza degli Orsini*
- 39 Riccardo Rudiero  
*Across religious wars and resistance: the transnational valorization of Waldensian Valleys*
- 49 Sonia Mollica  
*Il Villaggio del Fanciullo di Marcello D'Olivo: per una valorizzazione del pensiero progettuale*
- 61 Valentina Astini, Mariana Bettoli, Pasquale Cucco, Carla Ferreyra  
*Among the rocks: Rocca gloriosa's castle as a place of knowledge and interpretation*
- 73 Federica Pompejano, Sara Mauri, Marta Casanova, Sara Rocco  
*DBMS and GIS for the knowledge of the Ferrania (post) industrial site (Savona, Italy) within the Land-in-pro research project*
- 83 Antonella Salucci, Serena Sanseviero  
*Integrità dell'immagine dell'abitare collettivo. da 'Prato-Della-Fiera' a primo quartiere social-housing d'Abruzzo*
- 95 Marco Bussoli, Giacomo Cardella  
*Conoscenza della fabbrica e consolidamento: il caso di San Francesco a Ferrara*
- 105 Daniele Romagnoli, Marta Lalli  
*Modelli 3D e progetto di restauro: strumenti e metodi per l'analisi e la risoluzione del testo architettonico*
- 117 Cassia De Lian Cui, Edoardo Currà, Antonio Fioravanti, Wei Yan  
*AI-powered built heritage: enhancing interpretation and recovery processes with generative ai models*
- 129 Anna Gallo  
*Acqua e architettura. Percorsi di conoscenza del patrimonio storico urbano per future strategie di gestione, tutela e valorizzazione nell'ottica della sostenibilità*



- 141 Giuseppe Fortunato, Lorenzo Russo, Antonio Agostino Zappani  
*Verso un modello informativo della facciata della chiesa di San Domenico in Soriano Calabro*
- 153 Federica Fiorio, Nicola Parisi  
*Il ruolo del digitale nella conoscenza e valorizzazione del patrimonio culturale: prospettive multidisciplinari per la costruzione di approccio progettuale integrato*
- 163 Giovanni Caffio  
*Ri-generare i piccoli comuni abruzzesi: un'esplorazione attraverso il disegno a mano libera*
- 173 Vincenzo Cirillo, Rosina Iaderosa  
*Il rilievo integrato e la documentazione digitale per la conoscenza dei borghi storici*
- 185 Gennaro Pio Lento, Angelo De Cicco  
*I Jardines de Alfabia sull'isola di Palma de Mallorca in Spagna. Processi di conoscenza del patrimonio naturale e costruito*
- 195 Gianluca Gioioso  
*Il chiostro della cattedrale dell'Assunzione di Maria Vergine e di San Frutos a Segovia, in Spagna. Conoscenza, rappresentazione, documentazione*
- 205 Antonella Salucci, Emanuela Chiavoni  
*Osservatorio urbano tra disegno, colore e fotografia. Piazza Perin del Vaga al Flaminio, Roma*
- 217 Stefano Cecamore, Claudio Mazzanti  
*Dalle case di terra alle ville suburbane: architettura rurale da tutelare nella Regione Abruzzo*
- 229 Stefano Cecamore, Giancarla Eleuterio  
*Ciudad y patrimonio construido, análisis y valorización de la Arquitectura del Siglo XX en el contexto de conservación y desarrollo urbano. Villa Clemente en Pescara*
- 241 Alessio Altadonna, Alessia Chillemi, Giuseppina Salvo, Fabio Todesco  
*Digitalizzazione del patrimonio edilizio a Massa San Nicola (ME): un caso di studio per una gestione efficiente dei dati e la conservazione*
- 253 Domenico Iovane, Margherita Cicala  
*Documentazione e conoscenza per un re-uso consapevole: la Filanda del Complesso Monumentale del Belvedere di San Leucio*
- 265 Fabiana Guerriero, Luigi Corniello  
*The Temple of Debod in Madrid. Knowledge and representation of monumental architecture in Spain*
- 275 Luca Sbrogiò  
*Livelli di informazione e di sviluppo nella modellazione informativa degli edifici storici (HBIM) per il restauro*
- 287 Francesco Trovò, Ilaria Forti  
*Le Galeazze dell'Arsenale di Venezia tra didattica e opportunità di riuso*
- 299 Luigi Corniello  
*Tecnologie e strumenti per la conoscenza della rete infrastrutturale dei trasporti in Albania*
- 309 Alessia Garozzo, Rosario Scaduto  
*Architetture dismesse. Rappresentazione e valorizzazione*
- 321 Caterina Palestini, Stella Lolli, Elena Eramo  
*Lecture grafiche per la valorizzazione delle memorie tangibili e intangibili di Lama dei Peligni*
- 333 Riccardo Florio, Raffaele Catuogno, Teresa Della Corte, Anna Sanseverino, Alessandra Tortoriello, Mario Delli Prisco, Caterina Borrelli  
*Costruzione di un ecosistema informativo digitale: il caso studio del c.d. Tempio di Venere a Baia*
- 345 Alessio Altadonna, Antonino Nastasi  
*Palinsesti inevitabili: alcune letture e rilievi sulla città di Milazzo*
- 357 Carlo Biagini, Andrea Bongini, Daniele D'Errico, Gianmarco Dell'Orca  
*Exchange Information Requirements (EIR) in BIM Uses for the structural analysis of historic buildings: the case study of Aldobrandeschi Palace in Grosseto*
- 369 Raissa Garozzo, Angela Moschella, Cettina Santagati  
*Tecnologie digitali a supporto del percorso di conoscenza del patrimonio industriale: l'ex-conceria dei fratelli Rizzo ad Acireale*
- 381 Silvia La Placa, Elisabetta Doria, Jolanta Sroczynska  
*Fast survey methodologies for knowledge, analysis, and digital valorization of the built heritage in educational context*
- 393 Stefano Bertocci, Federico Cioli, Maria Chiara Forfori  
*Protocolli sperimentali per la documentazione del patrimonio teatrale. Esperienze di rilievo digitale dei teatri storici fiorentini*
- 403 Ilaria Trizio, Francesca Savini, Gianluca Ciuca, Antonio Sandoli, Giovanni Fabbrocino, Adriana Marra  
*Progettazione integrata in ambiente HBIM del recupero di un'area urbana in stato di abbandono*
- 415 Alessio Cardaci, Pietro Azzola, Antonella Versaci  
*A virtual museum in the Upper Town of Bergamo. Reuse and digitalisation to preserve and enhance the former convent of San Francesco*
- 427 Anna M. Gueli, Mariangela Liuzzo, Giuseppe Margani, Giuseppe Stella  
*Un approccio multidisciplinare per lo studio dell'uso e del riuso degli antichi edifici termali*
- 439 Regina Helena Vieira Santos  
*Architettura Moderna: Clube Paineiras do Morumby*
- 451 Giovanni Pancani, Rosa Romani, Maddalena Branchi  
*I centri minori del Casentino, come laboratorio di rigenerazione sociale, ambientale ed economica delle aree interne*
- 463 Matteo Bigongiari  
*La Cittadella Appiani a Piombino: uno sguardo sul passato per valorizzare gli interventi futuri*

475 Gianlorenzo Dellabartola, Anna Dell'Amico  
*Georeferenziazione e analisi multilivello per la conoscenza e la rappresentazione digitale dell'isola di Madonna del Monte a Venezia*

487 Anna Marotta, Giulio Marchettoni  
*La cittadella di Alessandria, faro di pace in Europa: un progetto del Consiglio d'Europa dalla storia al futuro*

**SEZIONE 2 - Restauro, riuso, fruizione, valorizzazione:  
teorie, orientamenti e indirizzi metodologici per la conservazione del patrimonio  
architettonico, archeologico, paesaggistico e delle componenti materiche e strutturali**

499 Fabio Ambrogio  
*Il teatro e l'anfiteatro di Magontiacum. Progetti e trasformazioni per la tutela del patrimonio archeologico. Un work in progress*

511 Elisabetta Grandis  
*Nascita e adattamenti del tempio valdese di Genova: da Carlo Gabetti a Giovanni Klaus Koenig*

521 Matilde Caravello  
*La Grotticina di Madama: il rilievo critico di un arredo cinquecentesco all'interno del Giardino di Boboli a Firenze*

531 Andrea Savorelli  
*Il chiostro dell'abbazia di San Mercuriale a Forlì, dal restauro di "innovazione" di Gustavo Giovannoni del 1939 ai restauri conservativi nel nuovo millennio*

541 Emanuele Romeo  
*Alcune considerazioni sul restauro archeologico tra conservazione della memoria e valorizzazione compatibile*

551 Maria Parente, Federica Ottoni  
*Una conoscenza guidata tra geometria, storia e struttura: la conservazione delle strutture in legno in ambiente H-BIM*

563 Ilaria Forti, Isabella Friso, Gabriella Liva, Irene Rocca  
*San Francesco della Vigna a Venezia. Tecniche di rilievo per la valorizzazione e il monitoraggio dei beni architettonici*

575 Chiara Atanasi Brilli  
*Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del mercato coperto di piazza Cavour\_ PNNR Missione 5 Rigenerazione Urbana*

585 Gabriella Guarisco, Daniela Oreni  
*La conoscenza per la valorizzazione della foresteria dell'abbazia cistercense di Chiaravalle Milanese*

597 Brunella Canonaco  
*Dalla conoscenza alla conservazione di un patrimonio di archeologia industriale nel Mediterraneo: le Imprese della Cannamele*

609 Angela Valentina Campolongo, Federica Castiglione  
*Analisi per la conoscenza di un opificio molitorio emblematico nella Calabria Citra: il Mulino di Mezzo nella Valle del Fullone.*

621 Adriana Trematerra  
*Strategie di valorizzazione per un turismo religioso sostenibile: il riuso dell'architettura ortodossa balcanica*

631 Marta Inama, Cinzia Martino, Alessia Vergari  
*Advanced technologies for built cultural heritage conservation: palazzo Polo – Freguglia facade*

641 Cecilia Antonini Lanari  
*Restauro e museografia in Italia*

649 Calogero Bellanca, Susana Mora Alonso-Muñoyerro  
*Un ejemplo histórico en España: los Paradores*

661 Laura Suvieri, Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andreas Lechner  
*Typological adaptive reuse of contemporary European commercial derelicts. Studies for the transformations of real estate into multifunctional third spaces*

673 Valentina Vacca  
*Narrating ancient landscapes: infrastructure and archaeological areas*

681 Enrica Petrucci, Claudia Vagnozzi  
*Itinerari di patrimonio alla riscoperta dei manufatti legati all'uso dell'acqua*

693 Maria Grazia Ercolino  
*L'insediamento industriale della Snia-Viscosa a Roma: cento anni di [r]esistenza tra storia, natura e architettura*

705 Alessandra Renzulli, Luisa Lombardo  
*Between the enhancement of heritage and geotourism: sustainable approaches for the re-generation of Geoparks UNESCO*

717 Manlio Montuori, Luca Rocchi  
*La conservazione preventiva nei luoghi custodi della memoria e il monitoraggio degli agenti biodeteriogeni*

727 Giovanna Badaloni  
*Oltre il Muro. Verso Nuovi Scenari di Valorizzazione e Riuso della Cittadella di Ancona*

739 Benida Kraja, Fiona Nepravishta, Vjola Ilia  
*The impact of systematic cataloging on the preservation of cultural heritage for traditional albanian tower house*

749 Francesca Albani, Matteo Gambaro  
*Il patrimonio diffuso come occasione per la città di riscoprire sé stessa. Il caso delle zone "extra moenia" di Monza*

761 Calogero Vinci, Gianvito Cacciatore  
*I balconi in travertino di Alcamo. Analisi e conoscenza per un recupero compatibile*

- 773 Fiona Nepravishta  
*Industrial heritage preservation and adaptive reuse: Kombinat case study*
- 785 Anna Laura Petracci  
*L'auto-recupero nel cantiere di restauro del Palazzo del Podestà al Galluzzo a Firenze: una forma partecipata per il riuso e la valorizzazione del patrimonio culturale*
- 797 Elisabetta Caterina Giovannini, Davide Prati, Virna Maria Nannei, Giulio Mirabella Roberti  
**Interdisciplinarity in architecture: an HBIM data modelling approach for the church of San Tomè in Almenno (BG)**
- 809 Anna Trupia  
*Scenari di riuso e valorizzazione delle rovine archeologiche. Il caso delle Terme Imperiali di Caracalla a Roma*
- 821 Marco Ricciarini, Anastasia Cottini, Veronica Braccini  
*Metodologie di documentazione digitale per la valutazione e il recupero di insediamenti urbani: i casi studio di Camporgiano, Fornovolasco e Villa Basilica (LU)*
- 833 Antonella Versaci, Raimon Farré Moretó, Núria Salvadó Aragonès, Luca Renato Fauzia, Michele Russo, Irene Vaccalluzzo  
*Dalla percezione del genius loci al progetto. Proposte di riuso dell'ex chiesa di Sant'Anna a Piazza Armerina*
- 845 Massimiliano Savorra, Francesca Galasso  
*Digital storytelling and participatory tools. Enhancing and preserving the urban historical memory of the city of Bethlehem*
- 857 Sofia Velichanskaia, Nora Lombardini  
*"Bitter work": the problem of safeguarding policies the Modernist heritage of former Soviet Republics*
- 867 Miriam Terzoni, Nora Lombardini  
*Awareness of context identity for the conservation of cultural heritage*
- 877 Monica Resmini  
*La facciata delle Marmoreas... Doms di Benedetto Ghislandi (detta dell'Arciprete): cronaca di un restauro*
- 887 Beatrice Bolandrini, Roberta Grazioli  
*Affreschi strappati nel monastero di S. Spirito a Bergamo: restauro e rinascita*
- 897 Christian Campanella, Michela Tesson  
*Le ragioni del progetto (di architettura). Ritrovare Santa Marta*
- 909 Clara Verazzo  
*The modern ruin. some reflections about the monument Gabriele D'Annunzio*
- 921 Daniela Oreni, Gianfranco Pertot  
*La tormentata vicenda della chiesa e dell'ex monastero di San Bernardo in Milano, sede del collegio Calchi Taeggi. Studi e rilievi per la conoscenza, la conservazione e il riuso*
- 933 Alessandro Bazzoffia  
*Peschiera: fortezza veneziana di terraferma tra il Garda e il Mincio*

- 941 Fauzia Farneti  
*Palazzo Pucci a Firenze e il restauro innovativo di Piero Sanpaolesi*
- 951 Susanna Caccia Gherardini  
*Usus sine doctrina. Around a possible theory of micro-restoration*

**SEZIONE 3 - Mitigazione del rischio sismico, idrogeologico e antropico dei Beni Culturali, architettonici, urbani e ambientali: indirizzi e criticità degli interventi di conservazione finalizzati alla tutela del Patrimonio**

- 963 Andrea Donelli  
*Dissonanze: disegno – rilievo recupero e/o restauro del costruito edilizio*
- 975 Guido Romano, Gabriele Bernardini, Enrico Quagliarini, Marco D'Orazio  
*Flood risk in historic built environments: how do safe human behaviors matter?*
- 985 Maria Teresa Cristofaro, Giorgio Caselli, Costanza Stramaccioni, Marco Tanganelli  
*Studio sperimentale delle prestazioni meccaniche di una malta a base di calce per interventi su edifici monumentali*
- 997 Filippo Maria Del Vecchio, Anna Livia Ciuffreda, Agnese Gasparotti, Marco Tanganelli  
*Approcci integrati per la conoscenza ai fini della valutazione della sicurezza strutturale di edifici scolastici*
- 1009 Nebai Osorio Ugalde  
*Riabilitazione del patrimonio storico per la sostenibilità di Città del Messico*
- 1019 Gülru Koca  
*Evaluation of retrofit interventions in terms of seismic resistance*
- 1029 Cesare Tocci, Francesca De Cola  
*La standardizzazione del rilievo del danno. Meccanismi ricorrenti nei sistemi voltati in occasione del terremoto de L'Aquila del 2009*
- 1041 Francesco Monni, Enrico Quagliarini  
*Confinamento di colonne in muratura di mattoni facciavista con micro-trefoli in acciaio annegati nei giunti di malta: risultati sperimentali*
- 1053 Francesco Monni  
*L'intervento di recupero come risorsa per avviare un processo di conservazione preventiva: il caso del Palazzo Comunale di Corinaldo (Marche, Italia)*

**SEZIONE 4 - Strategie di intervento sul patrimonio costruito: abitabilità, accessibilità, trasformabilità, adattabilità e resilienza**

- 1065 Francesco Spada, Laura Greco  
*Un contributo alla conoscenza del patrimonio costruito prefabbricato del Sud-Italia. Due interventi degli anni Settanta a Cosenza*



- 1077 Pierfrancesco Fiore, Antonio Nesticò, Francesco Pisani, Emanuela D'Andria  
*Strategies for the sustainable regeneration of small towns: integrated reuse. Model and application to a case study in Campania (Italy)*
- 1087 Domenico Amati, Marica Marazia, Sabrina Mellacqua  
*Il patrimonio ecclesiastico abbandonato: il caso dell'ex convento di Sant'Elia a Trepuzzi. Conoscenza, conservazione, restauro e valorizzazione*
- 1099 Cristina Navajas Jaén  
*El museo Kolumba de Peter Zumthor en Colonia. Una construcción sobre las ruinas de la antigua iglesia gótica*
- 1111 Maria Grazia Cianci, Michela Schiaroli  
*Lo spazio dell'immateriale. La ex fabbrica Mira Lanza, tra permanenze archeologiche e connessioni dello spazio urbano*
- 1121 Domenico Chizzoniti, Tommaso Lolli, Amra Salihbegovic  
*The post-war reconstruction of spaces for worship.three project proposals in Mosul*
- 1133 Michele La Noce, Grazia Massimino, Gaetano Sciuto  
*Il recupero dell'architettura rurale. Il caso studio della masseria Maucini*
- 1143 Laura Magri  
*Efficientamento energetico e valorizzazione dell'architettura residenziale del secondo Novecento. Sfide, ricadute e potenzialità degli incentivi fiscali*
- 1151 Rolando Pizzoli, Paola Bassani, Giuliana Cardani  
*The preservation of cultural heritage through the national recovery and resilience plan: opportunities and criticalities*
- 1161 Fausta Fiorillo, Riccardo Mirri, Giuliana Cardani  
*Back to court: a reuse perspective to preserve identity and memory of Palazzo Visconti Nuovo (Brignano Gera d'Adda - BG)*
- 1173 Federica Ribera, Antonello Pagliuca, Pier Pasquale Trausi, Giulia Neri, Roberto Facendola  
*Conoscenza e recupero della Palazzina di Comando dell'Idroscalo di Taranto di Armando Brasini*
- 1183 Santi Maria Cascone, Lucrezia Longhitano, Salvatore Polverino, Giuliana Sciacca  
*Conoscenza, recupero e riutilizzo. Il caso genovese del Tabarca*
- 1195 Giorgia Ranieri  
*Patrimonio architettonico VS. speculazione edilizia: la masseria Solito a Taranto*
- 1205 Giorgia Strano, Francesca Castagneto  
*Ripensare i nuovi luoghi della cultura: strategie ibride di recupero e riuso culturale. Il progetto di rigenerazione urbana degli Ex Magazzini della Stazione Ferroviaria di Noto*
- 1217 Vincenzo Sapienza, Angelo Monteleone  
*Digital building technologies for the architectural sustainable modules, in fragile context. Application in the fragile context of Aeolian islands*
- 1229 Daniela Besana, Carmine Isi, Marco Morandotti  
*Strumenti di valutazione per la lettura del grado di reversibilità del patrimonio costruito*
- 1241 Rebecca Moroni, Cinzia Maria Luisa Talamo, Oscar Eugenio Bellini  
*Il riuso a scopi sociali dei beni confiscati alla criminalità organizzata: il caso di regione Lombardia*
- 1253 Valentina Spagnoli, Maria Vittoria Arnetoli, Sandra Carlini  
*La residenzialità studentesca come strumento di rigenerazione del patrimonio storico e moderno dismesso*
- 1263 Salvatore Di Maggio, Calogero Di Maggio, Rossella Corrao, Calogero Vinci  
*Volte realine. Interventi di recupero e manutenzione*
- 1273 Gianni Di Giovanni  
*Una metodologia operativa per il recupero tecnologico degli aggregati edilizi: verso un modello di interoperabilità*
- 1283 Attilio Ferraro, Emanuela D'Andria, Pierfrancesco Fiore  
*Riuso adattivo e flessibilità architettonica: un modello partecipato e sostenibile per la trasformazione del Complesso "Lanzani" in Barlassina (MB), Italia*
- 1295 Vjola Ilia, Florian Nepravishta, Benida Kraja  
*Restoration and revitalisation of Korça and Gjirokastra bazaars in Albania*
- 1307 Giuseppe Canestrino, Roberta Lucente  
*Dialoghi compositivi con le fortificazioni. Una mappatura (2009 -2024) per la codifica di possibili azioni progettuali sulle fortezze "alla moderna"*
- 1319 Alessandro Greco, Marco Morandotti, Daniela Besana  
*Strategie e approcci sostenibili per l'edilizia universitaria: la rigenerazione dell'area degli "Istituti Scientifici" in Pavia*
- 1331 Alberto Anello, Angelo Ganazzoli, Luigi Savio Margagliotta  
*Il borgo rurale nella contemporaneità: progetti per la valorizzazione*
- 1343 Antonino Margagliotta, Paolo De Marco, Emanuele Richiusa  
*Il patrimonio e la città. Un'occasione di riuso adattivo*
- 1355 Teresa Casale, Emilia Garda, Valentina Porta  
*L'educazione alla legalità. Il caso dei beni confiscati alle mafie*
- 1367 Luca Zecchin  
*Architettura interrotta. Paesaggio interspeciale*
- 1379 Simonetta Acacia  
*Uso e riuso delle ville genovesi tra trasformazioni urbane e tutela*
- 1391 Emanuele Garda, Marta Rodeschini  
*Strumenti di partenariato speciale e processi di rigenerazione del patrimonio pubblico: l'esperienza del Monastero del Carmine a Bergamo*
- 1403 Pedro Murilo Freitas, Cristina Tasso, Ana Marques, João Ling, Teresa Cunha Ferreira  
*Training Experiences on Contemporary Architectural Heritage through heuristic activities: values-based reuse designs for the Escuelas Profesionales San José, Valencia, Spain*

- 1415 Maurizio Oddo, Alessandro Barracco  
*Architettura, Storia e Contemporaneità. Innovazione tecnologica versus Restauro del Moderno*
- 1427 Regina Helena Vieira Santos, Leticia Falasqui Tachinardi Rocha  
*Solar da Marquesa de Santos, del XVIII secolo, il suo reuso*
- 1437 Michelle Gualdi, Andrea Belleri, Elisabetta Palumbo  
*Riuso di pannelli in acciaio formato a freddo per la riqualificazione integrata di edifici esistenti e per nuove costruzioni*
- 1447 Pablo Alejandro Cruz Franco, Elena Gómez Bernal, María Pérez Sendín, Adela Rueda Márquez de la Plata  
*Nuevas fronteras en la conservación del patrimonio: integración de NERF en la restauración de monumentos arquitectónicos y control de obra.*
- 1457 Pablo Alejandro Cruz Franco, Diego Gaspar Rodríguez, Elena Gómez Bernal, María Pérez Sendín, Adela Rueda Márquez de la Plata  
*DIGIMAP: diseño y gestión eficiente de gemelos digitales mediante sistemas de información: bases de datos geospaciales para la preservación del patrimonio arquitectónico*
- 1469 Giorgio Ghelfi  
*Trattamenti conservativi per la pietra. Il caso della Porta de las Granadas dell'Alhambra*
- 1479 Eugenio Vassallo, Bogumil Filipczuk, Giuseppe Nucara, Riccardo Sonzogni, Virginio Brocajoli, Carlo Pavan, Alessio Leondini, Paolo Sette  
*Dal Restauro del Grand Hotel di San Pellegrino Terme spunti e riflessioni su questioni di metodo e scelte operative*

**SEZIONE 5 - Strategie di intervento per la gestione, la rivitalizzazione e la rigenerazione delle città, dei centri storici e delle aree periferiche: pianificazione, strategie e progetti di intervento sul costruito urbano, sul territorio e sul paesaggio**

- 1489 Pablo Altaba Tena, Juan A. García-Esparza, Anna Valentín  
*Assembling cultural and natural values in vernacular landscapes: an experimental analysis*
- 1499 Samia Chergui  
*Using building archaeology for a more careful and efficient restoration of architectural heritage in ottoman Algiers*
- 1511 Alessandra Palma  
*Ri-costruire con la vegetazione. Kamarina (Ragusa) e la percezione del tempo*
- 1523 Laura Lucarelli, Arturo Gallozzi, Marcello Zordan, Michela Cigola  
*Conservazione e recupero dei centri storici minori: il caso di Atina nel Lazio Meridionale*
- 1535 Laura Lucarelli, Arturo Gallozzi, Michela Cigola, Marcello Zordan  
*Castelli e architetture difensive nei centri minori italiani. Il caso studio della Valle di Comino*
- 1547 Ivana Passamani, Olivia Longo, Virginia Sgobba, Davide Sigurtà  
*Il paesaggio dentro l'architettura. Microarchitetture per una nuova mobilità sostenibile e resiliente*

- 1559 Barbara Scala  
*Oltre il mutuo aiuto: il valore del credere nelle risorse locali per la rivitalizzazione del territorio e del paesaggio dell'alta Valle Trompia*
- 1571 Alessandra Vazzoler, Olivia Longo, Davide Sigurtà  
*Progetto di valorizzazione architettonica e urbana delle "Ex Trafilerie" a Nave (BS)*
- 1583 Francesca Bilotta, Francesco Garofalo  
*Fabbriche rurali nella Piana di Sibari: l'esempio di masseria Torre della Chiesa*
- 1593 Maria Paola Gatti, Giorgio Cacciaguerra  
*To regenerate the small villages of the Terragnolo Valley through responsible and sustainable tourism*
- 1603 Claudia Battaino, Maria Paola Gatti, Andrea Zaniboni  
*The Arco landscape factory: conservation, valorisation and use of the rural heritage*
- 1613 Cristian Tolù, Stefania Mornati, Ilaria Giannetti  
*Valorizzare il patrimonio della prefabbricazione leggera in Italia: una piattaforma digitale a supporto della "decostruzione selettiva"*
- 1623 Mariangela Carlessi, Fabrizio Bonomi, Sergio Valetti  
*The 'Belvedere' Compendium in Alzano Lombardo. Themes and strategies for managing a multifaceted and complex heritage*
- 1635 Emanuele Giaccari, Paolo Giannandrea, Marianna Calia, Mariangela Piumini, Emanuel Quarto  
*Il patrimonio immobiliare abbandonato di Alianello in Basilicata. Analisi e proposte per il riuso*
- 1649 Lia Ferrari, Massimo Cotti  
*Architetture storiche rurali: una proposta di valorizzazione per il "Casello" della Commenda Gerosolimitana in Calerno*
- 1661 Giulia Luciani  
*Patrimonio in azione. Mobilizzare il passato nella rigenerazione ecologica delle città europee*
- 1673 Corrado Scudellaro  
*I fattori di rischio antropico sul patrimonio in terra lionese: cause, sintomi e prospettive*
- 1683 Mariangela Carlessi, Alessandra Kluzer  
*Oltre ogni ragionevole dubbio. Accogliere l'attitudine dei luoghi come trait-d'union tra conoscenza e progetto funzionale*
- 1693 Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo, Riccardo Miele  
*In-accessibilità. Santa Maria della Sanità in Napoli fra best-practices e spazi inesplorati*
- 1703 Amra Salihbegović  
*Military brownfields. From assessment to design strategy for the Sarajevo University Campus*
- 1713 Giulia Formato  
*I silos granari. Difficoltà e opportunità per il riuso a confronto*



- 1725 Elena Zanazzi, Luca Leoni  
*Chiese emiliane e storia sismica recente: un'indagine sull'(in)efficacia degli interventi pregressi*
- 1737 Altea Panebianco, Barbara Caselli  
*Piattaforme digitali per le aree interne. Il caso studio di Stigliano*
- 1749 Lorna Dragonetti, Cecilia Mazzoli, Anna Chiara Benedetti, Annarita Ferrante  
*Riqualificazione energetica del patrimonio edilizio scolastico recente: metodo S.C.O.R.E.S. per la valutazione degli impatti delle strategie sostenibili di intervento*
- 1761 Stefano Cecamore  
*Earthquakes and endless reconstructions. Irpinia 1980, from Lioni to Cairano towards adequate protection and conservation of the historic centres*
- 1773 Stefano Cecamore, Arianna Petraccia  
*La chiesa dei SS. Marciano e Nicandro, terremoti, trasformabilità e adattabilità del patrimonio culturale aquilano*
- 1785 Stefano Cecamore  
*Una comunità per la conservazione e valorizzazione della Piana del Cavaliere. La tutela del patrimonio e la chiesa di San Giorgio Martire a Pereto (AQ)*
- 1795 Ilva Hoxhaj  
*Valona tra suolo e acqua: riconnettere il tessuto urbano attraverso il progetto del waterfront*
- 1805 Francesco Paolo R. Marino  
*Ventilated rainscreen, new materials and modern construction techniques in the renovation and recovery of a historic heritage building*
- 1817 Gianluca D'Agostino  
*Il patrimonio architettonico di Shahjahanabad: un destino incerto per le haveli della città vecchia di Delhi tra abbandono, heritage hotels e centri culturali*
- 1825 Esther Almarcha Núñez-Herrador, Rafael Villena Espinosa, José Manuel López Torán  
*Patrimonio monumental y turismo en la España Franquista*
- David Ordóñez-Castañón, Teresa Cunha Ferreira, Poliana Marques da Silva  
1835 *Continuity and creation: adaptive reuse of a manor house in Esposende as Municipal Library by Bernardo Ferrão (1979-1992), Portugal*
- 1847 Carlo Atzeni, Stefano Cadoni, Massimo Faiferri, Stefano Mais, Silvia Mocci, Marco Moro, Fabrizio Pusceddu  
*Scientific infrastructure and landscape. First developments of the "Laboratory of architecture and territory" of the etic project*
- 1857 Marco Galimberti, Mauro Casartelli  
*Aree industriali dismesse: fragilità delle strategie di intervento per il comparto sud della Ticosa di Como (1982-2024)*
- 1867 Elena Cantatore, Vincenzo Ambrosio, Margherita Lasorella, Fabio Fatiguso  
*The systematization of technical information about architectural heritage in historic district by Citygml-Based Models. Preliminary activities towards digital recovery plans*
- 1879 Francesca Privitera, Emiliano Romagnoli  
*Contemporary Models of Co-living for 'the three human ages': strategie di intervento per una rigenerazione urbana e sociale del quartiere del Soccorso a Prato*
- 1891 Caio Felipe Gomes Violin, Renata Baesso Pereira  
*The reuse Project of Fazenda Mato Dentro in the city of Campinas-SP (Brazil): From a manor house to a Peace Museum*
- 1899 Albina Sciotti, Ippolita Mecca  
*Il riuso degli edifici storici dismessi: il caso delle carceri*
- 1911 Alberto Cervesato  
*Borghi urbani. Sguardi progettuali per il riuso*
- 1923 Francesca Picchio, Marianna Calia, Silvia La Placa, Rossella Laera  
*Strategie di documentazione integrata e di rilievo speditivo per la valorizzazione dei contesti fragili*
- 1935 Sara Brescia, Giulia Porcheddu, Francesca Picchio  
*Strategie di rappresentazione di uno scavo archeologico*
- 1947 Chiara Marchionni  
*Strategies for the regeneration and revitalisation of historic port areas: the case of the "caliscendi" of the port of Giulianova (TE)*
- 1959 Silvia Meschini, Lavinia Chiara Tagliabue, Stefano Rinaldi, Giovanni Miri, Andrea Bracciali, Roberto Nai, Rosa Meo, Giuseppe Di Giuda  
*Blockchain-Driven Transparency: Revolutionizing Construction Tenders with Smart Contracts and Sustainable Waste Management*
- 1971 Luca Guardigli, Annarita Ferrante, Sara Lanzoni, Carlo Costantino, Lei Sun  
*Exploring the potential of wood for urban densification: a case study of sustainable architectural design education*
- 1983 Chiara Marchionni, Eleonora Laurini, Marianna Rotilio, Gianni Di Giovanni  
*La rigenerazione urbana sostenibile per le città resilienti. Il caso di studio del complesso sportivo di "Centi Colella" dell'Aquila*
- 1995 Elena Paudice  
*La memoria dei territori della produzione e la forma del paesaggio. Tutelare l'abitare attraverso il recupero della storia dei luoghi*
- 2007 Martina Porcu  
*Il ruolo delle grandi fabbriche dismesse nei processi di riqualificazione e rigenerazione urbana*
- 2019 Ana Velosa, Hugo Rodrigues, Paulo Silva  
*Intervention in historic villages: conservation, rehabilitation and sustainability*

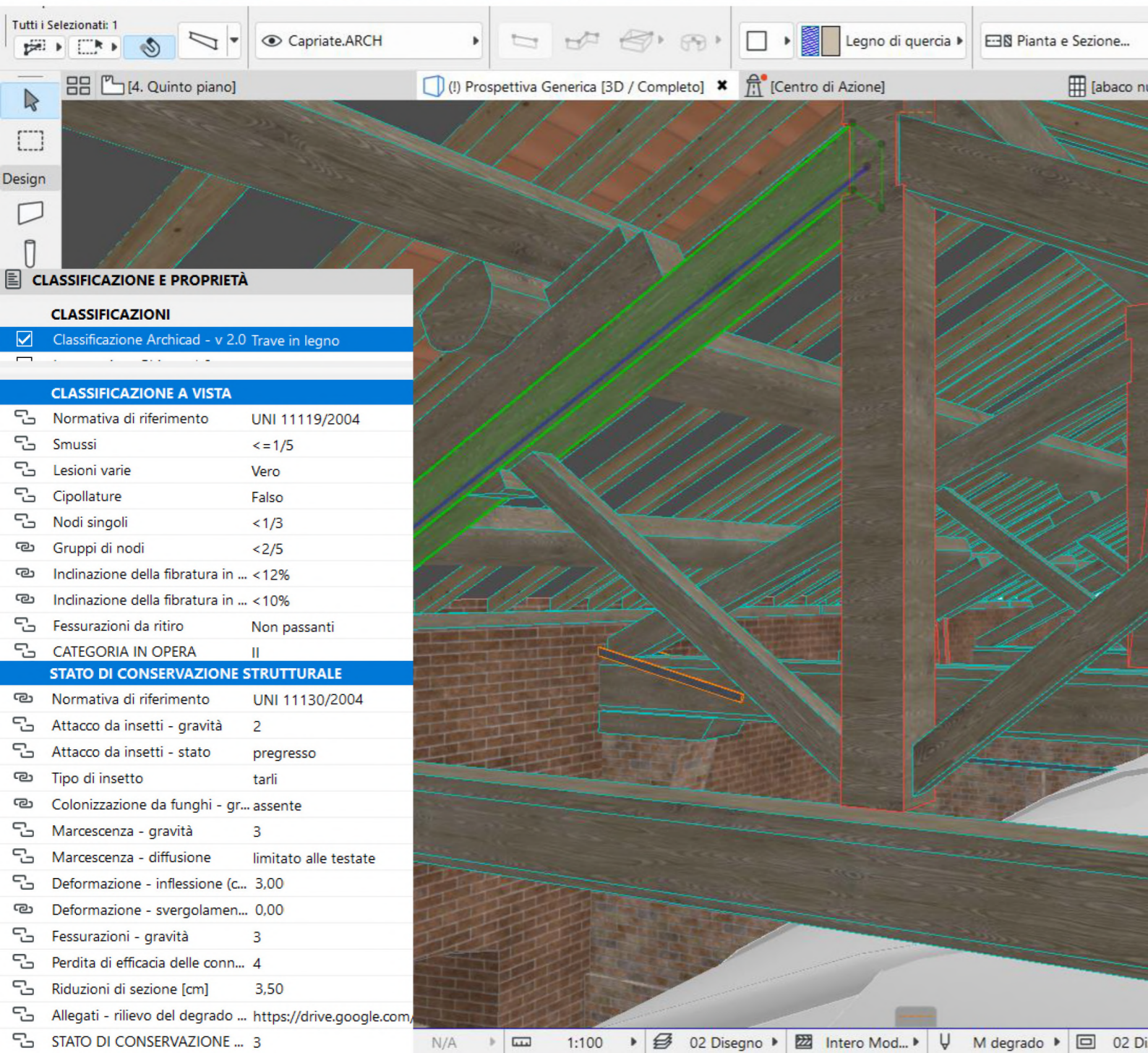




**UNA CONOSCENZA GUIDATA TRA GEOMETRIA,  
 STORIA E STRUTTURA: LA CONSERVAZIONE DELLE  
 STRUTTURE IN LEGNO IN AMBIENTE H-BIM**

**A GUIDED KNOWLEDGE BETWEEN GEOMETRY, HISTORY  
 AND STRUCTURE: THE CONSERVATION OF WOODEN  
 STRUCTURES IN H-BIM ENVIRONMENT**

**Maria Parente** - Sapienza Università di Roma, Università di Parma, Italia, e-mail: maria.parente1@unipr.it  
**Federica Ottoni** - Università di Parma, Italia, e-mail: federica.ottoni@unipr.it



**Abstract:** Starting from the application to a case study, the wooden trusses of a building located in the historic center of Parma, the contribution proposes an attempt to direct the use of H-BIM as a “guide” for the survey of relevant information and for the integration between conservative and structural aspects that derive from it. Following a brief presentation of the state of the art and of the “knowledge path” conducted on the building, the main focus is on the development of an information apparatus that is specific for the wooden components of historic buildings. The proposed customized properties help in the understanding and reception of significant information, and the preset relationships between the data facilitate the correlation among the different aspects that are necessary for a correct diagnosis – geometric and historical information, constructive details, defects and decay of wood – highlighting the “structural” implications that these entail, in order to achieve, at the end of the path, a structural assessment that takes into account the entire interdisciplinary process of knowledge.

**Keywords:** H-BIM, Wooden Structures, Guided Knowledge, Structural Assessment, Conservation Work.

**1. Introduzione**

Come ben noto, condizione necessaria per la definizione di un progetto di restauro metodologicamente “corretto” è l’acquisizione di un’approfondita conoscenza del bene. Non è una questione semplice, dato il carattere interdisciplinare della “conoscenza”, che coinvolge molteplici aspetti: rilievo geometrico, analisi storica, comprensione dei caratteri costruttivi e dello stato di conservazione, ispezioni visive, indagini strumentali. La questione si complica se poi il fine è una valutazione affidabile e realistica del comportamento strutturale dell’edificio e, prima ancora, dei singoli elementi costruttivi che lo compongono. Nel caso degli elementi lignei, in particolare, è evidente la correlazione tra le questioni storico-costruttive (dettagli costruttivi e connessioni oltre che trasformazioni successive), gli aspetti conservativi (degrado) e l’informazione “strutturale”, che da queste osservazioni discende più o meno direttamente (anche grazie alle indicazioni fornite dalla normativa [1]). Un approccio interdisciplinare alla conoscenza ha però una difficoltà intrinseca: gli apporti delle diverse figure professionali coinvolte non sempre sono ben integrati tra loro, anche perché veicolati da proprie modalità di rappresentazione, mediante software e formati diversi, che possono determinare una mancanza di correlazione tra le informazioni. Ne deriva il rischio di una valutazione strutturale spesso semplificata e irrealistica che rischia di non considerare – in un approccio “ingegneristico” che lavori a favore di sicurezza – l’impatto dei dettagli o dei difetti e del degrado sull’efficienza strutturale degli elementi. È noto come l’affidabilità del processo interpretativo risieda in gran parte nella definizione del modello

*Foto di alcuni degli elementi lignei rilevati e ricezione nel modello H-BIM delle informazioni relative ai difetti e al degrado delle strutture in legno (a sinistra).*



scelto, che è sempre una traduzione (guidata) del dato rilevato in semplificazione numerica: sul modello si basa poi la scelta dell'intervento, che sarà tanto più corretta quanto più il modello è congruente con la realtà e quindi capace di tenere insieme gli aspetti conservativi e storico-costruttivi, considerandone le implicazioni strutturali.

In questo complicato processo, è evidente come i modelli informativi (BIM) risultino di grande interesse come supporto e guida nei processi di raccolta e organizzazione delle informazioni che concorrono a una completa “conoscenza” dell'edificio, necessaria per la successiva interpretazione: permettono, infatti, di gestire e relazionare tra loro informazioni interdisciplinari e, soprattutto, di associarle direttamente ad oggetti tridimensionali (che meglio rappresentano la realtà rispetto ai classici elaborati bidimensionali). Tuttavia, l'applicazione agli edifici storici (H-BIM) sconta ancora le limitazioni informatiche e semantiche dovute al fatto che software e formati di interscambio sono, come noto, nati per le nuove costruzioni e non offrono quindi comandi, oggetti e proprietà appropriati per il patrimonio architettonico [2].

Il presente contributo vuole illustrare come il processo di conoscenza possa essere supportato e facilitato dallo sviluppo di un modello informativo che, se ben organizzato, può servire da “guida” nella definizione delle relazioni tra le questioni conservative e strutturali, spesso ancora considerate come separate. In particolare, saranno approfonditi i diversi aspetti alla base della progettazione di un modello informativo che possa già considerarsi una “interpretazione della realtà costruita” con riferimento a un caso studio: le capriate settecentesche a copertura di una porzione di un palazzo parmense.

L'obiettivo (ambizioso) è costruire, a partire dall'applicazione a un caso particolare, una metodologia generale per la gestione della conservazione delle strutture in legno tramite i modelli informativi: dalla definizione delle entità geometriche e semantiche, fino alla strutturazione dell'apparato informativo (finalizzato al rilievo guidato dei dati utili) per giungere ad una corretta interpretazione strutturale.

## 2. Stato dell'arte: i modelli informativi per le strutture in legno

Nell'ambito della modellazione informativa del patrimonio architettonico, il tema della gestione delle informazioni relative agli elementi costruttivi in legno merita una particolare attenzione, per le specificità del materiale e delle implicazioni strutturali che le caratteristiche geometriche e di degrado hanno sull'elemento. In [3] sono presentati i risultati più rilevanti inerenti allo sviluppo di modelli H-BIM di strutture in legno, con attenzione sia agli aspetti geometrici (e all'acquisizione del dato di rilievo) che alla gestione dei dati: informazioni generali storico-costruttive, ispezioni visive per il rilievo del danno, ma soprattutto risultati di indagini diagnostiche, utili alla definizione delle proprietà meccaniche in vista dell'esportazione per l'analisi strutturale.

Alcune ricerche si sono focalizzate sulla modellazione geometrica e in particolare sul processo denominato Scan-to-BIM, finalizzato alla ricezione nei modelli tridimensionali – talvolta con procedure automatizzate – delle irregolarità degli elementi lignei (spesso inflessi, svergolati, con riduzioni di sezione già presenti in fase costruttiva o sopraggiunte a causa del degrado), registrate grazie ad accurati rilievi strumentali [4,5,6]. La complessità di giunzioni e dettagli, resi spesso ancora più articolati da interventi che si sono susseguiti nel tempo, è restituita mediante processi di modellazione parametrica [7] o generativa [8], preceduti dalla classificazione gerarchica e semantica degli elementi strutturali [9]. Altri studi hanno proposto oggetti di libreria – geometricamente semplificati ma che facilitano la modellazione di elementi ripetuti – che provano a sopperire alla mancanza di oggetti parametrici rappresentativi dei componenti costruttivi degli edifici storici, tra cui anche capriate e solai in legno [10].

Meno diffuse, ma più vicine alla proposta presentata in questo contributo, sono le sperimentazioni sulla strutturazione dell'apparato informativo. In [11], a fronte di una modellazione geometrica semplificata, che attribuisce una sezione regolare alla trave in legno ottenuta in base alle dimensioni medie calcolate dalla nuvola di punti, le proprietà appositamente sviluppate contengono link che consentono di accedere a diverse tipologie di dati: nuvole di punti (relative a due campagne di rilievo effettuate in anni successivi in modo da poter valutare, grazie al confronto tra le nuvole, la progressione del degrado), rilievo fotografico, report di prove diagnostiche e grafici per la precisa localizzazione dei test.

In [12], considerando che il degrado nel legno (sia questo marcescenza o attacco di insetti) determina prevalentemente una distruzione dello strato più esterno dell'elemento, due diversi modelli sono proposti: il primo con sezione “apparente”, ossia quella ottenuta dalla nuvola di punti; il secondo con sezione “resistente”, ridotta rispetto alla prima in misura proporzionale ai risultati forniti dalle prove resistografiche e successivamente esportata per l'analisi strutturale.

Quest'ultima è l'obiettivo principale della ricerca presentata in [13] e relativa a una struttura di copertura a capriate in legno. La valutazione di modifiche e deformazioni avvenute nel tempo è data dal confronto del modello che rappresenta lo stato attuale (ottenuto a partire dal rilievo laser scanner) con il modello ideale che ricostruisce l'ipotetica configurazione iniziale. Il modello analitico, costituito ricavando automaticamente con un algoritmo gli assi delle travi, è arricchito già in ambiente BIM da informazioni come le caratteristiche meccaniche, i vincoli, i carichi, poi trasferite al software per il calcolo strutturale. Il passaggio all'analisi strutturale è affrontato anche in [14]: gli elementi lignei sono modellati con grande accuratezza metrica e particolare attenzione è rivolta alla traduzione in vincoli strutturali delle connessioni lignee.

Il modello presentato in [15] recepisce dati di monitoraggio strutturale relativi agli elementi lignei grazie allo sviluppo di una specifica piattaforma. Sono proposte soglie di allarme corrispondenti a diversi livelli di allerta, che sono visualizzati nel modello mediante l'attribuzione automatica di colori agli oggetti che rappresentano i sensori.

In [16] è proposto un articolato apparato informativo specifico per gli elementi lignei, con l'obiettivo di supportare il processo di conservazione programmata. Oltre ai dati più generali, tra cui l'essenza e la datazione, e a quelli geometrici, sono inserite – sempre come attributi dell'intero oggetto e con riferimento alle normative di settore – le proprietà meccaniche, la “Classificazione a vista” (che in accordo con la norma UNI 11119:2004 [1] relativa ai Beni Culturali propone un bilanciamento della resistenza del materiale in funzione della presenza o meno di difetti), lo stato di conservazione (adoperando la nomenclatura proposta nella UNI 11130:2004 [17]), i risultati di indagini diagnostiche. L'ultima sezione dell'apparato proposto riguarda la valutazione di un “Indice di Priorità” che, in funzione del valore storico-costruttivo dell'oggetto e delle condizioni di degrado e rischio, fornisce un parametro sintetico utile alla programmazione degli interventi conservativi.

In [18] una valutazione sintetica dello stato di conservazione delle capriate è visualizzata nel modello con l'attribuzione di colori agli elementi. Infine, in [19], il modello H-BIM è concepito come supporto alla scelta tra diverse alternative progettuali per il consolidamento di strutture lignee storiche che, come asserito dagli autori, incorrono troppo spesso in una completa sostituzione. Ciò, oltre che per mancanza di manutenzione, avviene anche a causa dello scollamento tra questioni conservative e strutturali, che ne pregiudica la corretta valutazione e che si propone di limitare anche grazie all'ausilio della modellazione informativa.

## 3. La gestione delle informazioni per la conoscenza: l'astrazione dalla realtà al modello

### 3.1. Introduzione al caso studio

Palazzo Pallavicino – un edificio di impianto rinascimentale situato nel centro storico di Parma – è risultato un caso studio di grande interesse, su cui sperimentare lo sviluppo di un modello informativo seguendo l'approccio proposto. La configurazione attuale dell'edificio, articolato in due blocchi con corti interne comunicanti, è frutto di una serie di successive trasformazioni. Infatti, a partire da un primo nucleo databile al XV secolo, il complesso ha assunto la forma di palatium alla fine del XVI secolo, per poi subire radicali modifiche nel Settecento, quando fu “raddrizzato” il fronte principale che affaccia sul Piazzale Santafiora, con l'avanzamento dell'angolo meridionale dell'edificio, e aperto il portico che connette le due corti [20].

La porzione di edificio su cui si concentra questo studio è quindi esito delle trasformazioni del XVIII secolo, al quale risalgono la facciata, le volte ai diversi livelli nonché, con molta probabilità, gli elementi lignei più antichi della copertura, tra cui le capriate (fig. 1). La copertura è poi stata interessata da alcuni interventi di restauro successivi, con sostituzione di arcarecci, travetti e parziale modifica della stratigrafia superiore. Questa è articolata probabilmente dall'inizio in listelli, con l'utilizzo di pannelle soltanto in corrispondenza delle capriate, per garantirne una migliore impermeabilizzazione. Al di sotto della porzione esaminata, spicca la grande volta a padiglione estradossata che ricopre il salone principale dell'edificio, con nervature, frenelli e catene metalliche inserite in fase costruttiva.

La copertura in legno, già oggetto di un accurato rilievo con laser scanner, è stata protagonista di una campagna di indagini propedeutiche alla stesura del progetto di restauro e miglioramento sismico.





Fig. 1 - A sinistra, vista aerea dell'edificio con individuazione della porzione per la quale è stato sviluppato il modello H-BIM; a destra, foto delle capriate.

In questa fase sono state rilevate nel dettaglio le dimensioni di ogni elemento strutturale ligneo e sono state svolte indagini visive volte alla “Classificazione secondo resistenza” [1], che determina le proprietà meccaniche (in realtà fornendo le tensioni ammissibili, da dover poi “tradurre” in valori caratteristici) in funzione dell'essenza e della presenza o meno di difetti (smussi, cipollature, nodi, lesioni da ritiro, ecc.), tutti puntualmente mappati nel corso delle indagini. Per ogni trave, inoltre, è stata rilevata la presenza di degrado, marcescenza o attacco da insetti [17], insieme ad eventuali inflessioni o svergolamenti, necessari a definire la capacità strutturale di ogni elemento. Infine, sono stati effettuati alcuni prelievi per l'individuazione dell'essenza, che è risultata essere quercia, e limitate prove igrometriche e con Resistograph.

Tutte le informazioni – dimensionali, relative a difetti e stato di conservazione – sono state riportate su piante e sezioni di dettaglio effettuate in corrispondenza delle capriate, corredate da indicazioni testuali e numerose foto, nonché dai report delle indagini eseguite (fig. 2).

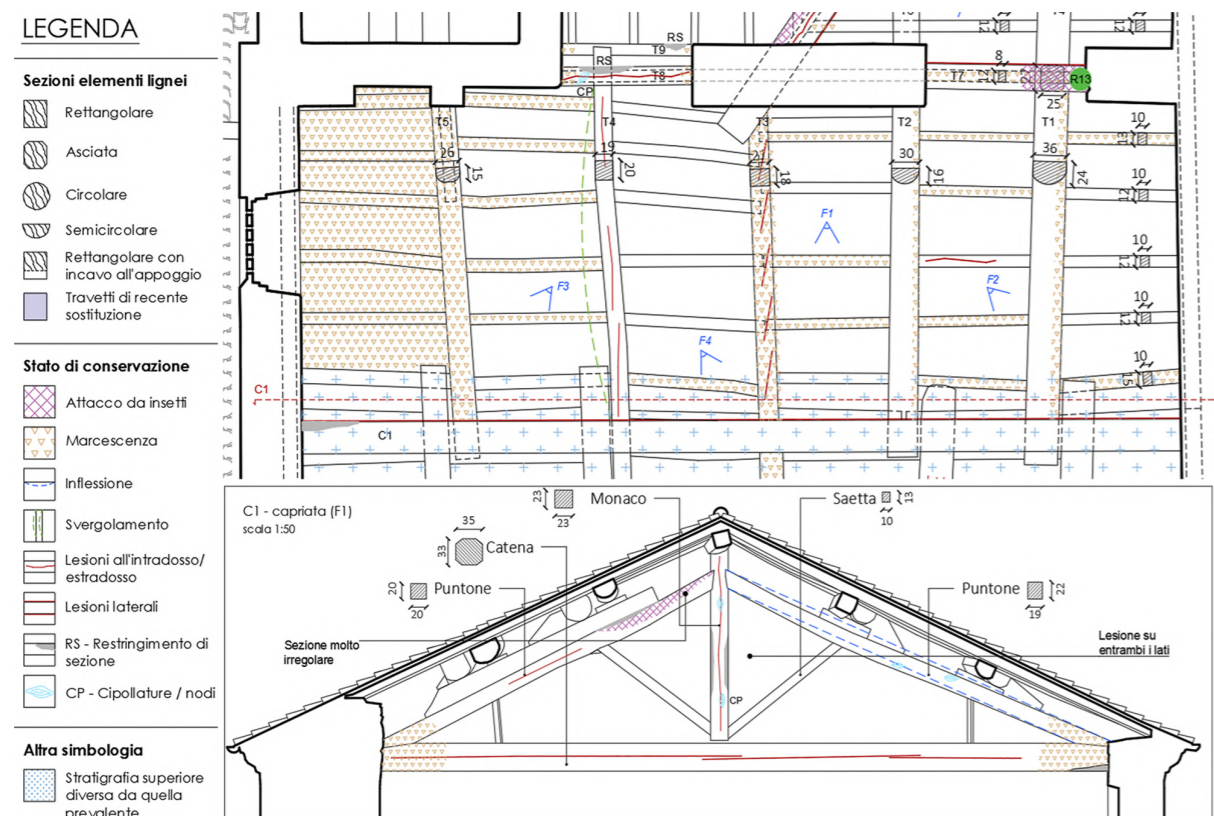


Fig. 2 - Elaborati bidimensionali per il rilievo costruttivo e del degrado delle coperture (elaborazione M. Parente, L. Ferrari).

### 3.2 Sviluppo del modello e strutturazione dell'apparato informativo

Nella definizione di un percorso informativo la sfida è stata non perdere informazioni nel processo di traduzione dalla realtà (piuttosto precisamente rappresentata nei grafici bidimensionali) al modello, ma al tempo stesso bilanciarne accuratezza e gestibilità (anche in termini di tempi di realizzazione). L'obiettivo è stato, inoltre, strutturare l'apparato informativo in modo da “guidare” il rilievo del dato – geometrico, storico-costruttivo, di stato di conservazione – e la comprensione delle implicazioni strutturali. Seguendo tale approccio, per tutti gli oggetti classificati come “Trave in legno”, sono state predisposte nel software specifiche proprietà correlate tra loro, in modo da ridurre il più possibile lo scollamento tra i diversi aspetti. Laddove la gestione di calcoli e nessi tramite funzioni logiche tra le proprietà diventava troppo complessa per il software di BIM authoring, si è sopperito collegando un foglio di calcolo. Va precisato che, nel caso del legno, e molto più rispetto ad altri materiali, le normative di settore italiane (con specifico riferimento ai Beni Culturali) forniscono nomenclature standardizzate, procedure di classificazione e correlazioni tra aspetti costruttivi e strutturali, tali da rendere il legno un caso pilota perfetto per la strutturazione di un apparato informativo specifico per la caratterizzazione e la diagnosi degli elementi costruttivi presenti negli edifici storici.

Tuttavia, prima di descrivere più approfonditamente la gestione delle informazioni, è necessario un cenno alle scelte fatte in merito all'accuratezza o semplificazione geometrica. Gli elementi strutturali sono stati modellati con oggetti parametrici (con possibilità di gestire anche gli smussi variando parametri appositamente aggiunti) a sezione costante, pari alla media rilevata. Riduzioni di sezione e loro collocazione non sono state perse come informazione ma inserite tra le proprietà dell'oggetto, seguendo il generale criterio per cui alcuni dettagli, anche relativi a connessioni e appoggi, sono stati semplificati nella modellazione ma inseriti come informazioni, a favore della gestibilità del modello.

Per una più facile gestione delle informazioni, le proprietà sono state organizzate in gruppi, a partire dai “Dati identità” contenenti l'essenza, la datazione ipotizzata per l'elemento, interventi pregressi riconoscibili. Seguono i dati circa i dettagli costruttivi, relativi all'appoggio al muro e alle connessioni con gli altri elementi strutturali in legno che, anche quando semplificate nella modellazione, sono recepite come informazioni, in base alle quali è suggerito il tipo di vincolo strutturale.

Un esempio è dato dalla modellazione, geometrica e informativa, delle diverse tipologie di nodi riscontrati tra puntone e catena e relativo appoggio al muro – con mensola in legno o muratura, staffe in ferro tra puntone e catena o tra questa e mensola sottostante, giunti con diverse geometrie (a dente semplice, doppio, ecc.), presenza di piastre in legno o metallo – per le quali sono state predisposte proprietà che, consentendo di scegliere tra diverse opzioni, guidano nel rilievo (fig. 3). Analogamente sono state “classificate” le possibili configurazioni del monaco – appoggiato sulla catena, rialzato o collegato con staffa – che influenzano la scelta dello schema strutturale, nonché le caratteristiche degli altri nodi (appoggio degli arcarecci sulle capriate, connessione tra monaco e puntone, dettagli delle saette, ecc.).

Altri gruppi riguardano aspetti non strutturali, come la presenza di decori o rivestimenti e il loro stato di conservazione, inserito come “Degrado superficiale”.

Fulcro della correlazione tra questioni costruttive e strutturali è il gruppo riguardante la “Classificazione a vista”. Infatti, dalla compilazione guidata delle proprietà proposte per la diagnosi dei difetti del legno e grazie alle correlazioni preimpostate derivano i valori di resistenza del legno “suggeriti” dal software. Le proprietà di questo gruppo – smussi, nodi, cipollature, presenza di lesioni da ritiro, inclinazione della fibratura – consentono di scegliere come argomento tra diverse opzioni corrispondenti alle soglie della normativa UNI 11119:2004 e riportano le indicazioni per la corretta compilazione. In base alla scelta tra le opzioni, e in accordo ancora con quanto stabilito dalla norma, è automaticamente calcolata la classe di appartenenza dell'elemento ligneo (classe I, II, III). La classificazione, o “Categoria in opera”, è direttamente recepita tra le “Proprietà strutturali” dove, in funzione della categoria assegnata, è scelta la “Classe di resistenza” del legno (nel caso del legno di quercia tra D30 e D40). Da questa discendono le proprietà meccaniche, tratte a loro volta dalla UNI EN 338:2016 [21] ed eventualmente “corrette” in base ai risultati qualitativi forniti dalle indagini. Nello stesso gruppo sono inseriti i dati inerenti ai carichi permanenti (strutturali e non) e variabili, necessari per la verifica strutturale dell'elemento.

In questo modo il modello informativo, che punta ad essere un contenitore di informazioni interdisciplinari utili alle diverse figure professionali coinvolte nel progetto di restauro, può risultare d'aiuto nel superare lo scollamento tra i diversi aspetti e contenere i dati utili al calcolo strutturale.



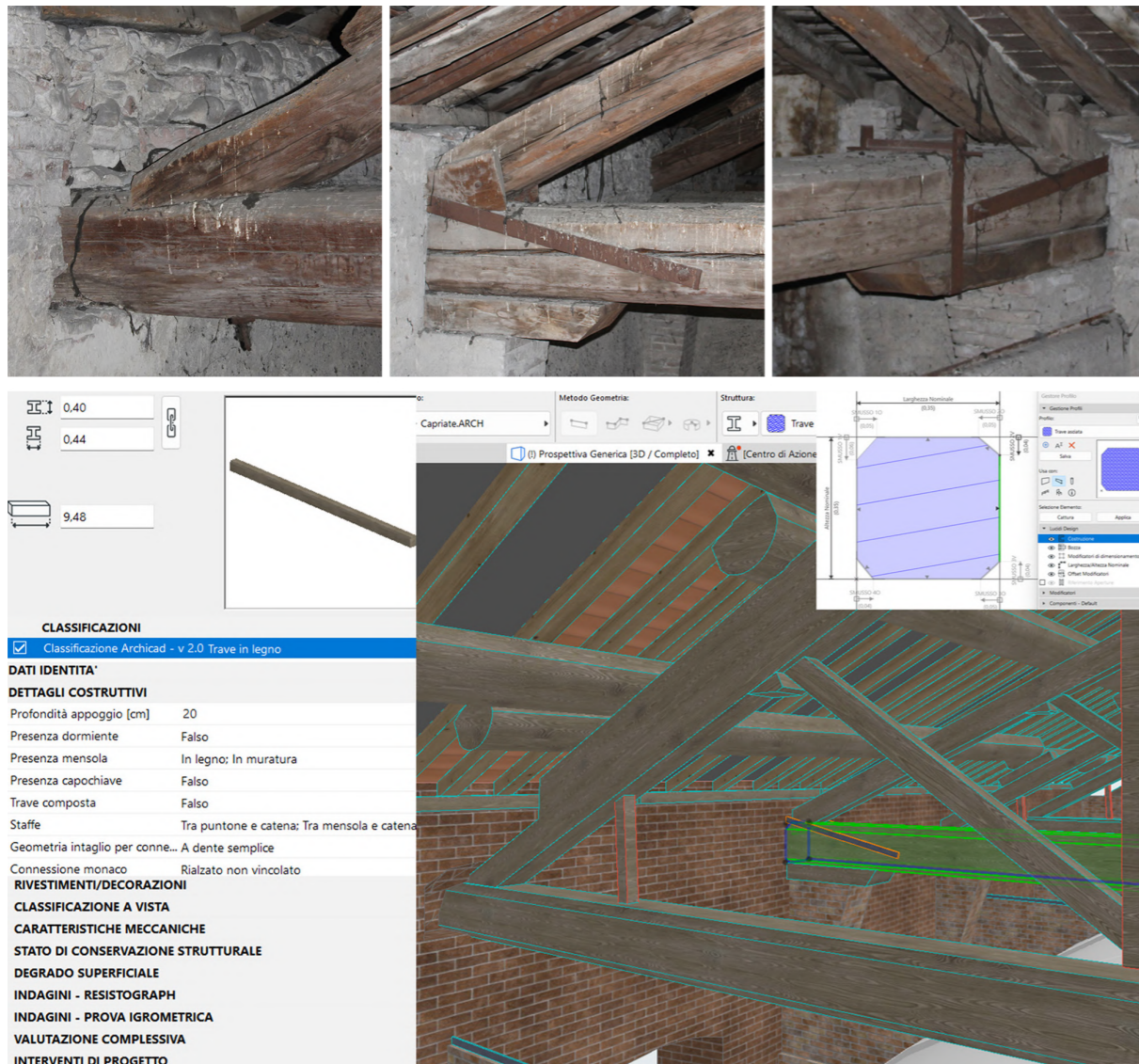


Fig. 3 - In alto, fotografie delle diverse tipologie di nodi puntone-catena (foto L. Ferrari). In basso, H-BIM delle capriate, profilo parametrico per la modellazione delle travi smussate, dettaglio delle connessioni e proprietà per il rilievo guidato delle informazioni relative ai dettagli costruttivi.

Sebbene la verifica sia svincolata dal modello informativo (per quanto sarebbe possibile anche lavorare con file excel automaticamente collegati alle proprietà degli oggetti), risultati sintetici – ad esempio i tassi di verifica a flessione, taglio, di stabilità, ecc. – sono riportati nel modello in modo da tener traccia di tutte le valutazioni effettuate sulle strutture.

Un ulteriore gruppo contiene tutte le informazioni sullo Stato di conservazione “strutturale”, ovvero su quei degradi (prevalenti negli elementi lignei) che determinano un peggioramento delle prestazioni dell’elemento strutturale: marcescenza, attacco da insetti (attivo o pregresso), secondo la definizione data dalla norma UNI 11130:2004, inflessione, svergolamento (con dato da inserire in cm di scostamento dall’asse), riduzioni di sezione, fessurazioni, perdita di efficacia delle connessioni. Ove possibile, è valutata la gravità del degrado, su una scala da 1 a 5, in modo da ricavare più facilmente un parametro sintetico indice dello stato di danno dell’elemento, proposto (e poi validato dall’operatore) come media tra le gravità assegnate alle diverse tipologie di degrado.

La ricezione del degrado come proprietà dell’oggetto modellato, benché faciliti una rapida diagnosi e una efficace correlazione tra le diverse informazioni, ha il limite di non consentire la precisa localizzazione del degrado, che viene di fatto esteso a tutto l’elemento, come osservato ad esempio in [22]. Per sopperire a questo limite si è proposto di inserire una proprietà relativa alla “diffusione” del danno – localizzato, diffuso o limitato alle testate – come spesso accade nelle travi in legno. Inoltre, rilievi del

degrado di dettaglio sono collegati tramite link, accettando che all’attuale stato di sviluppo dei software di BIM authoring, i modelli non possono completamente sostituire le rappresentazioni classiche, che forse risulteranno sempre complementari (perché con obiettivi in parte anche diversi) ai sistemi informativi (fig. 4).

Anche i risultati delle indagini sono stati inseriti tra le proprietà degli elementi su cui queste sono state effettuate, di nuovo con il limite di non poter visualizzare immediatamente la posizione precisa in cui si è svolta la prova, riportata comunque come informazione testuale. L’alternativa sarebbe inserire oggetti simbolici, come in [23], nei punti dove sono state effettuate le indagini, con una più difficile correlazione con l’elemento strutturale e la difficoltà semantica nel classificare un oggetto non corrispondente a un elemento costruttivo. Relazioni e grafici sono collegati come link; inoltre, sono stati recepiti dati sintetici, quantitativi nel caso delle prove igrometriche, che forniscono la misura dell’umidità relativa, qualitativi nel caso delle indagini con Resistograph, con note a commento dei profili di densità del legno (fig. 5).

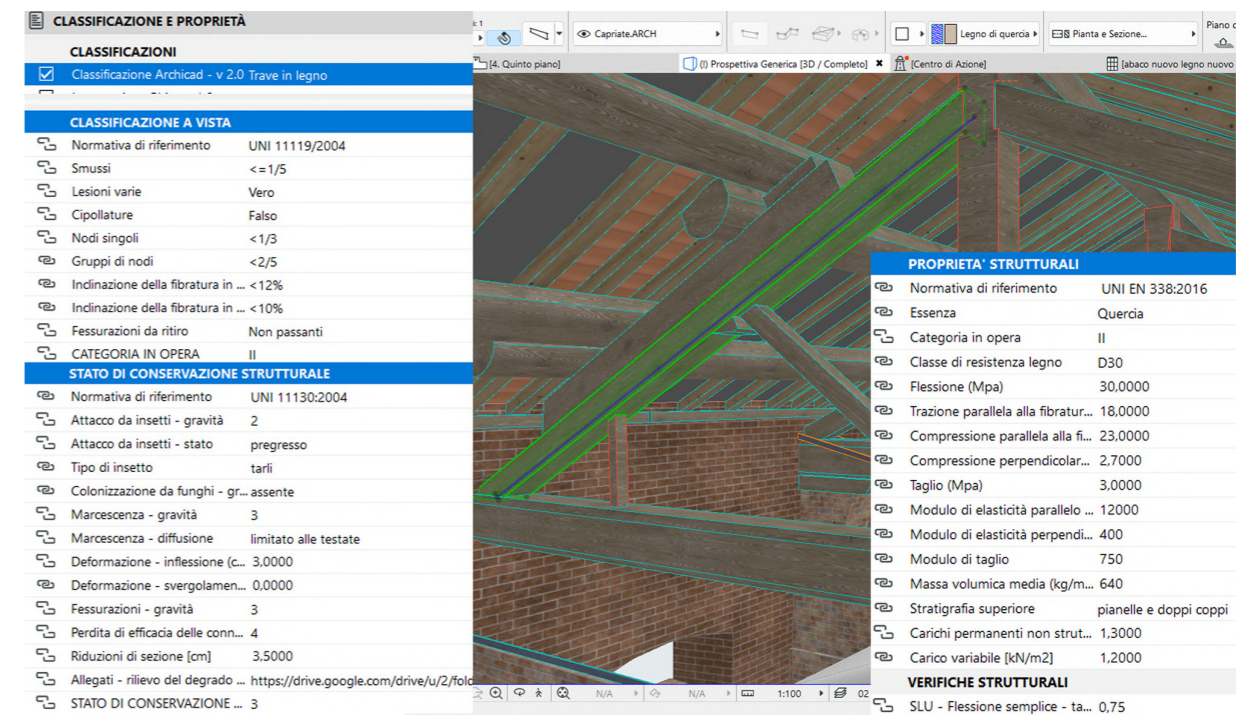


Fig. 4 - Modello H-BIM delle capriate. Informazioni relative alla “Classificazione a vista”, allo “Stato di conservazione strutturale” e alle “Proprietà strutturali”.

INDAGINI - PROVA IGROMETRICA		SIGLA INDAGINE	R9_U9	TIPO ELEMENTO	TRAVE	Data	13/9/63
Autore	Laboratorio Geotecnologico Emiliano	Sezione (cm) b = 21 h = 20 (valori stimati vista l'irregolarità della sezione)	11,9	Trattoria prova : orizzontale	Foro passante	Profondità raggiunta (cm)	In prossimità appoggio
Data	13/09/2023						
Strumentazione utilizzata	Igrometro portatile LOGICA mod LG43						
Umidità relativa legno (%)	11,9000						
Report	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1rcRg...">https://drive.google.com/drive/folders/1rcRg...</a>						
Posizione indagine	vicino alla testata						
Note	<Non definito>	<p>Nota: Profilo di densità variabile caratterizzato da uno strato di circa 4-5 cm sulla faccia laterale nel quale si evidenzia una importante diminuzione di densità.</p>					
INDAGINI - RESISTOGRAPH							
Autore	Laboratorio Geotecnologico Emiliano						
Data	13/09/2023						
Strumentazione utilizzata	Resistograph IML mod RESI PD400						
Report	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1rcRg...">https://drive.google.com/drive/folders/1rcRg...</a>						
Immagini	<a href="https://drive.google.com/drive/folders/1rcRg...">https://drive.google.com/drive/folders/1rcRg...</a>						
Posizione indagine	vicino alla testata						
Direzione	laterale						
Note	Profilo di densità variabile caratterizzato da u...						

Fig. 5 - A sinistra, proprietà proposte per la ricezione nel modello dei risultati delle indagini; a destra, esempio di profilo di densità del legno e foto di una delle travi maggiormente degradate.



Infine, l'ultimo gruppo, che fa da ponte tra la fase di conoscenza e il progetto, è quello che fornisce una "Valutazione complessiva" e sintetica dell'elemento strutturale, composta da due distinti parametri. Il primo è relativo al "Degrado" ed è correlato al dato di sintesi del gruppo "Stato di conservazione strutturale". Il secondo parametro, avente come argomento analogamente al primo un giudizio qualitativo (sufficiente, leggermente insufficiente, fortemente insufficiente), riassume l'adeguatezza o meno della sezione dell'elemento strutturale ed è collegato all'indice di sintesi delle verifiche strutturali effettuate riportato nel gruppo "Proprietà strutturali". Tale impostazione risulta una "traduzione" nella logica del modello informativo di una metodologia abitualmente adottata per la redazione di progetti di consolidamento e tradizionalmente rappresentata con planimetrie in cui gli elementi strutturali sono colorati o associati a retini o simboli che rimandano alla diagnosi, conservativa e strutturale (fig. 6).

I giudizi della "Valutazione complessiva" sono visualizzati nel modello tramite colori: verde per sufficiente, giallo per leggermente insufficiente, rosso per fortemente insufficiente. Da questi discende la tipologia di intervento da effettuare: nessun intervento, consolidamento o sostituzione.

Sebbene il passaggio dall'analisi all'intervento non possa (metodologicamente, non dal punto di vista informatico) essere del tutto automatizzabile, nel caso in cui la carenza della trave sia dimensionale, non eccessiva e non associata a forte degrado, il software suggerisce il consolidamento. Se invece lo stato di conservazione dell'elemento è pessimo, è proposta la sostituzione della trave, come spesso effettivamente necessario anche nel caso di travi di sezione adeguata ma fortemente degradate.

Ad esempio, le travi di colmo che, a fronte di una sezione media sufficiente, sono gravemente degradate (con marcescenza diffusa e riduzioni di sezione causate da attacchi di insetti) risultano da sostituire; diversamente, i puntoni delle capriate, il cui stato di conservazione è accettabile, risultano da consolidare perché di sezione troppo esigua (fig. 7). È da precisare, infine, che la modalità di sintesi e proposta degli interventi illustrata è funzionale allo sviluppo di un modello che sia di supporto alla definizione di un progetto di restauro strutturale, inteso come intervento una tantum; se, invece, il fine fosse quello di supportare un processo di conservazione programmata, come evidenziato in [16], risulterebbe più efficace predisporre una modalità di valutazione sintetica finalizzata alla definizione di un "Indice di priorità" degli interventi che consenta una pianificazione degli stessi nel tempo.

#### 4. Conclusioni

L'esperimento illustrato di gestione del processo di conoscenza degli elementi strutturali in legno in ambiente BIM ha l'obiettivo di mettere in evidenza l'importanza di recepire e correlare tra loro informazioni che hanno sempre una duplice valenza conservativa e strutturale, i cui linguaggi devono necessariamente essere integrati, anche nella rappresentazione.

Come si è provato a dimostrare, i modelli informativi – se ben orientati – possono essere d'aiuto per il raggiungimento di tale integrazione, che consiste nella congruenza tra rilievo geometrico e dei dettagli costruttivi, diagnosi dello stato di conservazione e del comportamento strutturale. Quest'ultimo è inteso non solo come valutazione della resistenza del materiale (seppur ponderata in funzione di difetti

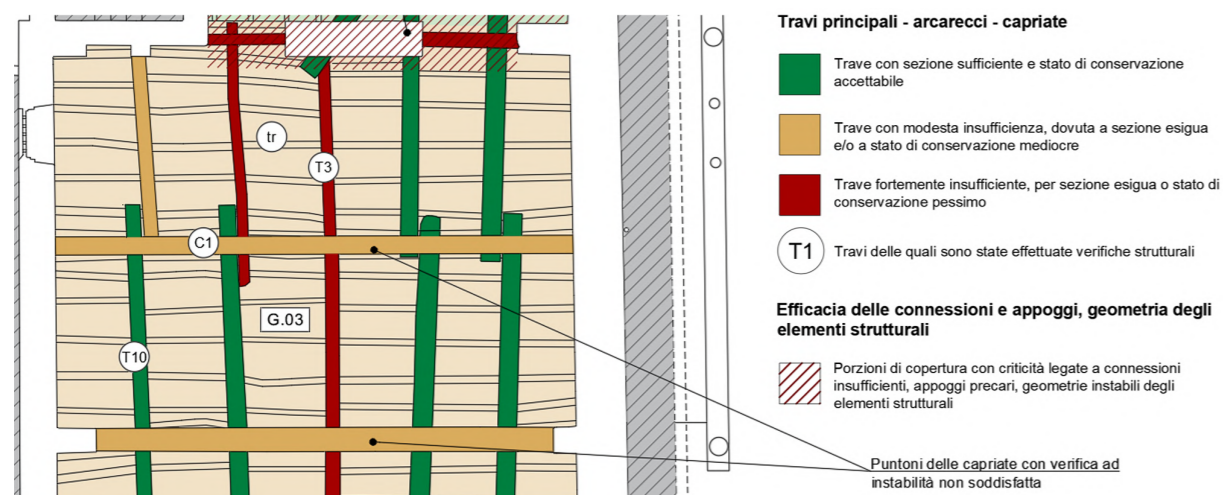


Fig. 6 - Pianta con valutazione sintetica delle strutture in legno.

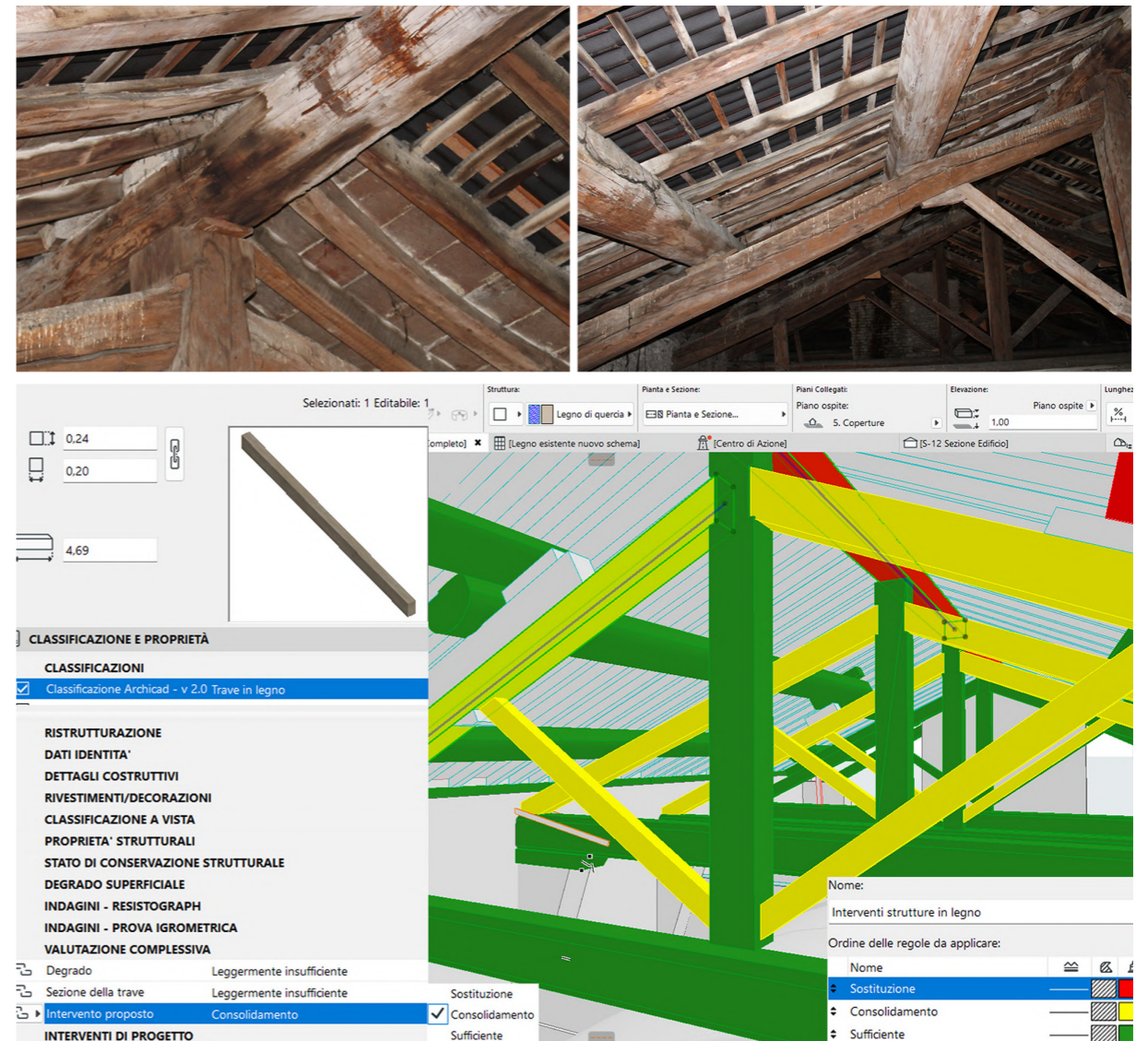


Fig. 7 - In alto, fotografie di alcuni elementi lignei oggetto della valutazione (una trave di colmo degradata e un puntone di sezione insufficiente). In basso, ricezione nel modello BIM della valutazione sintetica di tali elementi strutturali (in particolare sono riportate le proprietà associate a un puntone) e relativa "sovrascrittura grafica" con assegnazione di colori alle diverse tipologie di interventi.

e degrado) ma anche come comprensione dell'impatto che alcuni dettagli costruttivi hanno sulla definizione dello schema statico da considerare. Il sistema informativo, grazie alla strutturazione di specifiche proprietà correlate tra loro, funge così da "guida" nel rilievo del dato e nell'interpretazione del suo significato, conservativo e strutturale. Inoltre, la proposta di una valutazione sintetica, che racchiude il percorso di conoscenza interdisciplinare, risulta il necessario ponte per la definizione del progetto di conservazione, che sia questo limitato al singolo intervento di restauro o articolato in un processo di conservazione programmata, per il quale i modelli informativi, per la possibilità di aggiornare le informazioni nel tempo in seguito a ispezioni successive e derivare da queste una priorità di intervento, offrono interessanti opportunità di sviluppo.

Il passaggio successivo, ancora parzialmente irrisolto, per completare il processo di conoscenza, riguarda l'interoperabilità dei modelli con i software di calcolo strutturale o con sistemi per la ricezione di dati real-time (principalmente di monitoraggio strutturale). Tuttavia, oltre che sul problema informatico e semantico (che vede forse nell'attuale inadeguatezza del formato IFC alla modellazione del costruito storico il principale limite all'interoperabilità), occorre ragionare sul governo e l'interpretazione del dato, ovvero su quali sono gli aspetti da rilevare e su come questi possono essere recepiti nel modello, senza perdita di congruenza con la realtà e, anzi, favorendo l'integrazione tra le diverse discipline.



**Note conclusive**

Le attività di consulenza scientifica e di raccolta di dati sull'edificio sono state svolte dal Laboratorio MADLab (DIA, UniPr), responsabile scientifico Prof. Federica Ottoni, tra il 2019 e il 2023, nell'ambito di una convenzione di ricerca con la Fondazione CariParma, che si ringrazia. Hanno partecipato alle indagini, oltre alle autrici, Massimo Cotti (UniPr, SMILE-DIH), Elena Zanazzi, Cristian Barbieri e Lia Ferrari. Il rilievo con laser scanner è stato svolto da ABACUS s.a.s. di Stefano Botti; le indagini sugli elementi lignei dal Laboratorio Geotecnologico Emiliano.

Nello specifico, per quanto riguarda la redazione del presente articolo, Maria Parente si è occupata della scrittura dell'articolo e dello sviluppo del modello H-BIM; Federica Ottoni è Responsabile del progetto di ricerca, della concettualizzazione del modello e della revisione dei contenuti nonché dell'articolo.

**Bibliografia**

- [1] UNI 11119:2004 – Beni culturali – Manufatti lignei – Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera. UNI, Ente Italiano di Normazione.
- [2] Bruno N, Roncella R. HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. *Remote Sensing*. 2019;11(15):1751.
- [3] Santos D, Sousa HS, Cabaleiro M, Branco JM. HBIM Application in Historic Timber Structures: A Systematic Review. *International Journal of Architectural Heritage*. 2023;17(8):1331–47.
- [4] Cabaleiro M, Hermida J, Riveiro B, Caamaño JC. Automated processing of dense points clouds to automatically determine deformations in highly irregular timber structures. *Construction and Building Materials*. 2017;146:393–402.
- [5] Prati D, Guardigli L, Mochi G. Displacement and deformation assessment of timber roof trusses through parametric modelling. The case of San Salvatore's church in Bologna. *TEMA*. 2021; 7(1): 21-31.
- [6] Özkan T, Pfeifer N, Hochreiner G. Automatic completion of geometric models from point clouds for analyzing historic timber roof structures. *Front Built Environ*. 2024;10:1368918.
- [7] Youn HC, Yoon JS, Ryoo SL. HBIM for the Characteristics of Korean Traditional Wooden Architecture: Bracket Set Modelling Based on 3D Scanning. *Buildings*. 2021;11(11):506.
- [8] Mao Y, Lu H, Xiao Y, Lai Z, Huang L. A Parametric HBIM Approach for Preservation of Bai Ethnic Traditional Timber Dwellings in Yunnan, China. *Buildings*. 2024;14(7):1960.
- [9] Wang Z, Lu J, Hu Q, Wu Q, Tan W, Khaliq U, et al. Self-adaptive Modelling Method for Chinese Ancient Timber Architecture Based on Digital Structure Metamodel. *Nexus Netw J*. 2024;26(1):123–45.
- [10] Oreni D, Brumana R, Georgopoulos A, Cuca B. HBIM for conservation and management of built heritage: towards a library of vaults and wooden beam floors. *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*. 2013;II-5/W1:215–21.
- [11] Mol A, Cabaleiro M, Sousa HS, Branco JM. HBIM for storing life-cycle data regarding decay and damage in existing timber structures. *Automation in Construction*. 2020;117:103262.
- [12] Santos D, Cabaleiro M, Sousa HS, Branco JM. Apparent and resistant section parametric modelling of timber structures in HBIM. *Journal of Building Engineering*. 2022;49:103990.
- [13] Massafra A, Prati D, Predari G, Gulli R. Wooden Truss Analysis, Preservation Strategies, and Digital Documentation through Parametric 3D Modeling and HBIM Workflow. *Sustainability*. 2020;12(12):4975.
- [14] Bassier M, Hadjidemetriou G, Vergauwen M, Van Roy N, Verstrynghe E. Implementation of Scan-to-BIM and FEM for the Documentation and Analysis of Heritage Timber Roof Structures. In: *Digital Heritage Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*. Cham, Switzerland: Springer; 2016. p. 79–90.
- [15] Wang J, You H, Qi X, Yang N. BIM-based structural health monitoring and early warning for heritage timber structures. *Automation in Construction*. 2022;144:104618.
- [16] Celli S, Ottoni F. Managing Information to Improve Conservation: The HBIM of the Wooden Chain of Santa Maria del Fiore. *Sensors*. 2023;23(10):4860.
- [17] UNI 11130:2004 – Beni culturali – Manufatti lignei – Terminologia del degradamento del legno. UNI, Ente Italiano di Normazione.
- [18] Henek V, Venkrbec V. BIM-Based Timber Structures Refurbishment of the Immovable Heritage Listed Buildings. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 2017;95(6):062002.
- [19] Santini S, Borghese V, Baggio C. HBIM-Based Decision-Making Approach for Sustainable Diagnosis and Conservation of Historical Timber Structures. *Sustainability*. 2023;15(4):3003.
- [20] Zanazzi E, Ottoni F. Per un calcolo 'di qualità': storia di una sfida qualitativa alla quantificazione, passando per la conoscenza. In: *Restauro dell'architettura Per un progetto di qualità Coordinamento di S Della Torre e V Russo Sezione 5, Conservazione, prevenzione e fruizione, a cura di E Coisson*. Edizioni Quasar. Roma; 2023, p. 951–957.
- [21] UNI EN 338:2016 – Legno strutturale – Classi di resistenza.
- [22] Delpozzi D, Treccani D, Appolonia L, Adami A, Scala B. HBIM and thematic mapping: preliminary results. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*. 2022;XLVI-2/W1-2022:199–206.
- [23] Garcia-Gago J, Sánchez-Aparicio LJ, Soilán M, González-Aguilera D. HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the Master Gate of San Francisco in Portugal. *Automation in Construction*. 2022;141:104453.