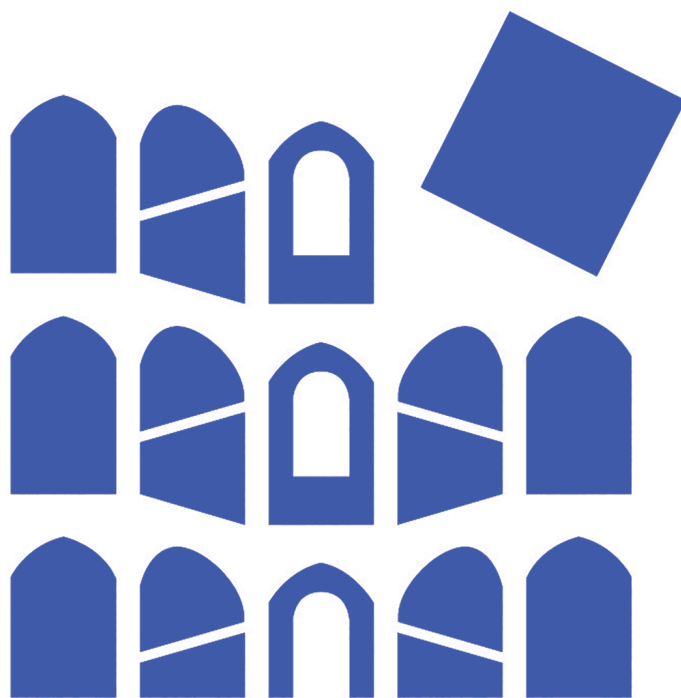




Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità

Coordinamento di Stefano Della Torre e Valentina Russo

7. Metodologie digitali per la gestione degli interventi

a cura di Stefano Della Torre

Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità

Coordinamento di Stefano Della Torre e Valentina Russo

Apparati e Documento di indirizzo per la qualità dei progetti di restauro dell'architettura, ad esito del III Convegno della SIRA Società Italiana per il Restauro dell'Architettura "Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità", Napoli, 15-16 Giugno 2023

1. *Finalità e ambito di applicazione*, a cura di Maria Teresa Campisi e Sara Di Resta
2. *Il concetto di qualità e il tema della programmazione*, a cura di Stefano Della Torre
3. *Conoscenza per il progetto*, a cura di Pietro Matracchi e Antonio Pugliano
4. *Indirizzi di metodo*, a cura di Marina Docci
5. *Conservazione, prevenzione e fruizione*, a cura di Eva Coisson
6. *Integrazione, accessibilità e valorizzazione*, a cura di Caterina Giannattasio
7. *Metodologie digitali per la gestione degli interventi*, a cura di Stefano Della Torre

Comitato scientifico:

Consiglio direttivo 2021-2023 della SIRA Società Italiana per il Restauro dell'Architettura

Stefano Della Torre, Presidente

Valentina Russo, Vicepresidente

Maria Teresa Campisi, Segretario

Eva Coisson

Sara Di Resta

Marina Docci

Caterina Giannattasio

Pietro Matracchi

Antonio Pugliano

Coordinamento redazionale: Stefania Pollone, Lia Romano, Luigi Veronese, Mariarosaria Villani

Redazione: Luigi Cappelli, Antonio Festa, Stefano Guadagno, Sara Iaccarino, Damiana Treccozi, Giuliana Vinciguerra, Elena Vitagliano

Elaborazione grafica del logo e della copertina: Luigi Cappelli

© SIRA Società Italiana per il Restauro dell'Architettura

Il presente lavoro è liberamente accessibile, può essere consultato e riprodotto su supporto cartaceo o elettronico con la riserva che l'uso sia strettamente personale, sia scientifico che didattico, escludendo qualsiasi uso di tipo commerciale.

ISBN 979-88-5491-462-8

eISBN 979-88-5491-463-5

Roma 2023, Edizioni Quasar di S. Tognon srl

via Ajaccio 43, I-00198 Roma

tel. 0685358444, fax. 0685833591

www.edizioniquasar.it – e-mail: qn@edizioniquasar.it

Indice

Stefano Della Torre <i>Metodologie digitali per la gestione degli interventi</i>	1217
Riccardo Florio, Raffaele Catuogno, Teresa Della Corte, Caterina Borrelli <i>Rilievo integrato e rappresentazione digitale nei percorsi di conoscenza per la valorizzazione dell'architettura storica. Il caso della Palazzina dei Principi nel Real Bosco di Capodimonte</i>	1221
Antonella Versaci, Alessio Cardaci, Luca Renato Fauzià <i>Per un utilizzo 'attivo e cosciente' dei sistemi di acquisizione digitale nel progetto di restauro</i>	1230
Silvia Cutarelli <i>Tipo e tipologia: prospettive di ricerca a scala urbana per i sistemi HBIM</i>	1239
Simonetta Acacia, Laura Davite <i>Un sistema informativo per la conoscenza del patrimonio architettonico del centro storico di Chiavari (GE)</i>	1248
Roberto Di Giulio, Giulia Favaretto, Danila Longo, Marco Medici, Marco Pretelli, Andrea Ugolini <i>Villa Muggia a Imola: modellazione e digitalizzazione delle informazioni di "una rovina del moderno"</i>	1254
Alessandra Pili <i>Ontologie e strumenti per un Processo BIM integrato per il Patrimonio Culturale</i>	1263
Maria Parente, Federica Ottoni <i>HBIM tra aspettative e realtà: limiti e frontiere dell'utilizzo dei modelli informativi per la conoscenza e il restauro (anche strutturale)</i>	1269
Luca Sbrogiò, Tatiana Zanni, Maria Rosa Valluzzi <i>La modellazione informativa (HBIM) e il percorso di conoscenza degli edifici storici ed esistenti: applicazione e problemi in una villa veneta</i>	1276
Barbara Scala <i>Gli Enti di tutela nel passaggio della gestione dei beni con il digitale per una maggiore qualità</i>	1284
Maria Grazia Orecchio <i>Possibili applicazioni delle tecnologie e dei processi BIM e dell'ACDat (Ambiente di Condivisione Dati) per la gestione digitale e innovativa di siti archeologici in ottemperanza anche ai nuovi obblighi normativi del Codice Appalti</i>	1291
Anna Maria Pentimalli Biscaretti di Ruffia <i>Progetto di restauro e nuovi modelli e strategie di organizzazione dei flussi di dati: il ruolo delle piattaforme digitali nel percorso di conoscenza</i>	1299

Maria Parente, Federica Ottoni

HBIM tra aspettative e realtà: limiti e frontiere dell'utilizzo dei modelli informativi per la conoscenza e il restauro (anche strutturale)

Abstract

The paper aims to critically analyse the main results obtained so far in terms of management in a BIM environment of the information related to the process of knowledge and conservation of the architectural heritage (representation of constructive characters and phases, state of decay and crack pattern, planning of interventions, etc.). Particular attention is paid to evaluating the effectiveness of informative models as a support for 'structural conservation' projects, appraising the (currently poor) interoperability with computational models, as well as the possibility of inserting into the BIM model data regarding mechanical properties and other fundamental information to assess the structural behaviour of historic buildings. Having highlighted the limits, mainly linked to software shortcomings, and the frontiers for research, an interdisciplinary development path is suggested. Through the guided implementation of a commercial software, an enrichment of its informative and semantic apparatus is proposed, in order to make the model a kind of 'guide' that helps the survey and the understanding of the constructive features of architectural heritage.

Parole chiave

HBIM, stato dell'arte HBIM, interoperabilità, conservazione programmata

HBIM, state of art HBIM, interoperability, planned conservation

Digital Twin: accurata duplicazione o semplificazione critica?

Nel campo della conservazione del patrimonio architettonico (e non solo) sono disponibili, e in continuo, rapido sviluppo negli ultimi anni, metodologie accurate e strumenti automatici innovativi che permettono di rilevare e immagazzinare dati potenzialmente infiniti, per numero e tipologia, a partire dal rilievo geometrico fino a quello ambientale e storico, per citarne alcuni. Di contro, per chi si occupi di strutture storiche è sempre più chiaro come l'interpretazione del comportamento meccanico della muratura, specie se storica, non possa essere affidato solo alla modellazione, ma debba piuttosto passare da una conoscenza approfondita della realtà, anche non immediatamente identificabile come puramente 'strutturale' (analisi storico-critica, dettagli costruttivi, stato di conservazione e di degrado degli elementi).

Si registra, anche sul piano informativo, quello scollamento tra struttura e forma, tipico delle strutture moderne e delle figure interessate alla loro progettazione, che non è invece proprio degli edifici storici, in cui ogni elemento ha una giustificazione strutturale prima ancora che formale (ammesso che tale distinzione fosse realmente percepita dai costruttori antichi).

Pur in tale scollamento, su entrambi i fronti la ricerca appare concentrata nell'aumentare l'accuratezza degli strumenti disponibili, con l'obiettivo finale di creare modelli virtuali il più possibile somiglianti alla realtà (*Digital Twins*) capaci di simulare, quantitativamente e nel dettaglio, il comportamento strutturale degli oggetti di cui rappresentano repliche in scala, perfette e accuratissime (almeno sul piano geometrico). È curioso scoprire come tale somiglianza non rappresenti invece garanzia di una corretta interpretazione del reale, ma succede di verificare piuttosto che il modello debba astrarre concettualmente dalla realtà i dati raccolti (molto spesso troppi) per cogliere l'eziologia del meccanismo di dissesto, invece che replicarlo in maniera per lo più pittorica. Accade paradossalmente di dover ridurre l'accuratezza e il numero di informazioni potenzialmente disponibili (a volte ridondanti, con la controindicazione di un aumento dei tempi di calcolo oltre che di spazio del modello), stabilendo piuttosto, a priori, un piano di conoscenza che si concentri sui dati effettivamente necessari e che, di questi, fornisca criteri di astrazione e di traduzione dalla realtà al modello senza perdita di congruenza: un processo di semplificazione tutt'altro che semplice.

È proprio quando si passa dalla documentazione ai modelli di previsione, infatti, che la questione dell'analisi (strutturale) del costruito rivela tutta la sua complessità e se a questo si aggiunge che il trasferimento dei dati tra i due ambienti (quello di rappresentazione della realtà e di raccolta dati, e quello di elaborazione astratta di tale complessità) è ancora una questione aperta – e (fortunatamente) non del tutto automatizzabile – ecco che diventa utile forse esaminare i termini del discorso, e tentare un sentiero comune tra i due approcci, ricomponendo lo scollamento prima richiamato.

Uno strumento interessante in questo senso è rappresentato dai sistemi BIM (*Building Information Modeling*) – soprattutto nella loro accezione H (*Heritage*) – per la prerogativa di poter associare a modelli sviluppati a partire da nuvole di punti 3D, georeferenziate e sempre più dettagliate sul piano geometrico-deformativo, informazioni di diverso tipo (storiche, di degrado, tecnologia costruttiva) la cui traduzione in termini strutturali non è sempre immediata, né chiara a tutti gli operatori coinvolti nel rilievo della fabbrica storica. Di tale strumento si propone, nel prosieguo, un possibile sviluppo che tenga insieme i due ambiti richiamati in apertura (quello della documentazione e quello parallelo della previsione del comportamento), il cui equilibrio è condizione necessaria per un buon progetto di restauro.

F.O.

Sull'utilità del BIM per il 'restauro strutturale': un breve stato dell'arte

Nonostante i principali temi di ricerca – da quando è nata l'idea di applicare la metodologia BIM al costruito storico – siano stati la modellazione delle irregolarità degli edifici e la ricezione dell'accuratezza metrica ottenuta con i rilievi strumentali, non mancano e sono in continua crescita casi virtuosi in cui l'attenzione si è soffermata sulla gestione delle informazioni.

Se, infatti, è ancora non sufficientemente ampio il contributo di architetti e ingegneri esperti in restauro (tendenzialmente più interessati all'apparato informativo e all'utilità di questo per il progetto), settori disciplinari quali il rilievo o la geomatica – per i quali la ricerca sul BIM è maggiormente consolidata – stanno ponendo crescente attenzione alla componente non geometrica (avendo in parte superato le difficoltà di modellazione con l'ausilio di software esterni¹).

Numerosi gruppi di ricerca hanno sperimentato le potenzialità e i limiti dei modelli informativi per la gestione dei dati relativi al processo di conservazione del patrimonio architettonico, raggruppabili in 'temi' ricorrenti: classificazione semantica e ontologie, modellazione di fasi costruttive e unità stratigrafiche murarie, rappresentazione dello stato di conservazione, del degrado delle superfici e del quadro fessurativo, infine, gestione degli interventi e utilizzo del modello in cantiere.

Si proverà qui a commentare brevemente i risultati raggiunti finora, in un quadro dell'arte forzatamente non esaustivo, cercando di evidenziare quelli realmente utili al restauro 'strutturale'.

Un primo tema di ricerca è quello relativo alla definizione di rappresentazioni concettuali condivise per gli elementi architettonici e il processo di conservazione, finalizzate all'interoperabilità orizzontale (tra i diversi software BIM) e verticale (quindi anche con programmi di calcolo strutturale). Da qui nascono diversi filoni di ricerca: un primo riguarda l'estensione di ontologie nate per beni culturali non architettonici (*in primis* il CIDOC-CRM) al restauro del patrimonio costruito², che però ad ora hanno toccato solo marginalmente gli aspetti strutturali; un secondo filone ha evidenziato i limiti, con qualche possibile sviluppo³, del principale formato di interscambio (l'IFC) che, per mancanza di classificazioni relative a elementi del costruito storico, è difficilmente adoperabile per l'esportazione dei modelli. Ne deriva che nella traslazione alla modellazione strutturale – per la ancora insufficiente interoperabilità tra i software BIM e i programmi di calcolo agli elementi finiti più diffusi per gli edifici storici – venga di fatto recepita la sola geometria (spesso molto semplificata) dei modelli HBIM,

1 BRUMANA *et al* 2018.

2 FIORANI, AGIERNO 2017.

3 DIARA, RINAUDO 2020.

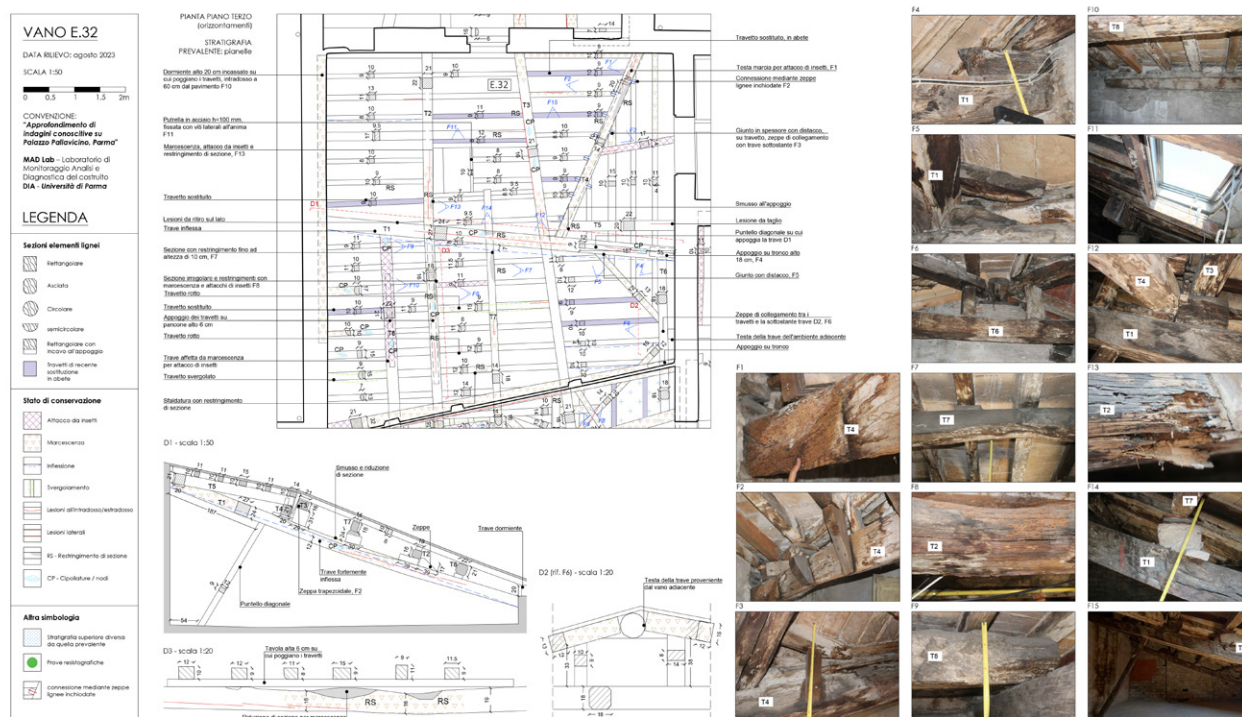


Fig. 1. Parma, Palazzo Pallavicino. Elaborato di rilievo del degrado di un orizzontamento ligneo che mostra la rappresentazione tradizionale della complessità delle informazioni utili ad un rilievo (conservativo e strutturale) secondo la normativa (elab. M. Parente 2023).

con una sostanziale perdita dell'apparato informativo ad essa connesso. Nella maggior parte degli esempi, addirittura, il trasferimento della geometria, che spesso pur necessita di correzioni⁴, avviene direttamente da programmi di modellazione tridimensionale non parametrica al programma di calcolo con la necessità di sviluppare soluzioni specifiche per trasferire altre (preziose) informazioni⁵. Molto studiato è il tema delle informazioni storico-costruttive della fabbrica (fasi costruttive e unità stratigrafiche murarie⁶) che – fondamentali anche per valutare le caratteristiche meccaniche dei diversi apparecchi murari – sono state talvolta recepite anche nei modelli computazionali⁷.

Più complessa è invece la rappresentazione del degrado, in particolare per quelle tipologie – si pensi ad esempio a un fenomeno di erosione dei giunti di malta, di mancanza o di marcescenza di una struttura lignea – che influenzano direttamente il comportamento strutturale dell'elemento affetto dalla patologia. Accade che, per mancanza di comandi appositi nei principali software commerciali, il degrado venga rappresentato come un semplice 'oggetto addossato'⁸ o come modifica dello strato (fittizio) più esterno del componente⁹. Entrambe le modalità poco aggiungono ai classici grafici bidimensionali (Fig. 1): non influenzando le proprietà del sostrato, risultano il più delle volte efficaci rappresentazioni grafiche di degradi che interessano solo la superficie e non sono interoperabili. Operativamente, qualora il fenomeno di degrado comporti una cospicua perdita di materiale, questa può essere modellata come una 'sottrazione di solidi', con una complicazione notevole del modello dal punto di vista dell'esportazione in ambiente strutturale (si pensi alle difficoltà di *mesh*). In alternativa, il degrado può essere inserito come 'proprietà' dell'oggetto su cui si manifesta, con lo svantaggio di dover estendere il fenomeno a tutto l'elemento¹⁰ (quando invece sono frequenti, ed è necessario

4 BARAZZETTI *et al.* 2015.

5 FUNARI *et al.* 2021.

6 AGIERNO *et al.* 2017; BANFI *et al.* 2022.

7 BARAZZETTI *et al.* 2015.

8 CHIABRANDO, LO TURCO, RINAUDO 2017.

9 D'AGOSTINO *et al.* 2023.

10 CELLI, OTTONI 2023.

mapparli per il minimo intervento, fenomeni localizzati su elementi più estesi). Ai limiti dei software l'università sta rispondendo con lo sviluppo di comandi specifici in piattaforme *open source*¹¹ o con collaborazioni con le case sviluppatrici che hanno portato a implementazioni guidate dei programmi commerciali, come nel caso di Edificius¹², effettivamente dotato di uno strumento 'degrado'.

La citata collaborazione ha prodotto risultati interessanti anche per la rappresentazione delle fessurazioni, per le quali uno strumento specifico fornisce una grafica e proprietà coerenti alla prassi dei progetti di restauro. Ancora più dibattuta è la modellazione delle deformazioni: se da un lato la ricerca geomatica spinge sulla massima accuratezza metrica dei modelli, questa mal si combina con le semplificazioni operate in ambiente strutturale, limitandone di fatto l'interoperabilità con i modelli computazionali¹³ (spesso realizzati sulla conformazione indeformata).

Altre virtuose sperimentazioni hanno riguardato la gestione degli interventi¹⁴, anche attraverso l'aggiunta di informazioni direttamente *in situ*¹⁵, ma gli esempi studiati (almeno finora) non riguardano il restauro strutturale.

M.P.

Una proposta di ricerca: l'HBIM come 'guida' per il rilievo del dato (anche strutturale)

Come noto, l'effettivo comportamento strutturale degli edifici storici non dipende soltanto dalle proprietà meccaniche dei materiali, ma anche dai dettagli costruttivi o dallo stato di conservazione che, affinché i modelli informativi siano strumenti utili agli interventi di 'restauro strutturale', devono essere adeguatamente registrati (non necessariamente modellati ma anche recepiti soltanto come informazioni) negli HBIM e, auspicabilmente, per quanto difficile allo stato attuale, traslati nei modelli computazionali. Quando questi ultimi, infatti, trascurando l'impatto positivo della 'costruzione a regola d'arte', sono posti alla base delle scelte progettuali, il rischio è che si propenda per soluzioni che, benché a vantaggio di sicurezza, si allontanano molto dal fondamentale principio del minimo intervento.

Per tentare di compensare la nota limitatezza informatica e semantica dei software di *BIM authoring* – nati per le nuove costruzioni e quindi privi di elementi costruttivi e informazioni adeguate agli edifici storici – una via di sviluppo interdisciplinare riguarda la possibilità di rendere il programma una sorta di 'guida', che aiuti il rilevatore o modellatore (non necessariamente esperti di caratteri costruttivi degli edifici storici o non sempre del tutto consapevoli dell'impatto che questi hanno sul comportamento strutturale) nella comprensione dei dati da inserire nel modello e delle relazioni che, suggerite dal software nella nostra sperimentazione, sussistono tra le diverse informazioni. La proposta qui avanzata si inserisce tra i casi di 'implementazione guidata' dei software commerciali, affinché gli esiti della ricerca prodotta in ambito accademico siano messi a disposizione dei professionisti e si eviti che l'università lavori, come talvolta accade, su soluzioni specifiche ed onerose, nonché scarsamente interoperabili, che rischiano di restare inutilizzate nella pratica professionale.

L'obiettivo è che il software non proponga (o almeno non solo) oggetti di libreria specifici – dei quali sono noti i limiti legati alla necessità di semplificazione geometrica (che andrebbe valutata caso per caso in funzione dell'obiettivo del singolo modello) e di 'standardizzazione forzata' dell'intrinseca irregolarità del costruito storico – ma piuttosto 'suggerisca' proprietà e informazioni che il rilevatore deve osservare e poi compilare. Se dal punto di vista geometrico, infatti, gli elementi del costruito storico sono difficilmente riconducibili a oggetti di libreria, le informazioni da associare ad essi sono ricorrenti (anche grazie alle normative di settore) e la compilazione delle stesse può consentire di ridurre il livello di dettaglio geometrico, arricchendo invece le informazioni a favore dell'interoperabilità.

11 PILI, CASANOVA, PREVITALI 2023.

12 LANZARA *et al.* 2021.

13 OTTONI, ZERBI, FREDDI 2017.

14 BRUNO, RONCELLA 2019.

15 ACHILLE, FASSI 2016.

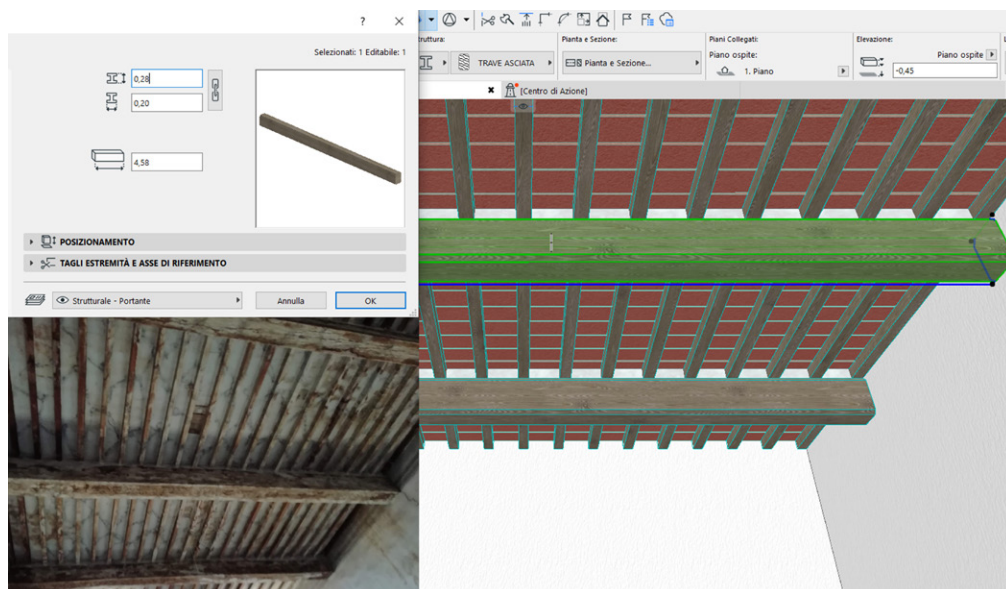


Fig. 2. La traduzione in modello della realtà in ambiente BIM (implementazione Archicad qui proposta) di un orizzontamento storico. Informazioni geometriche e semplificazione (elab. M. Parente 2023).

Un esempio è l'apparato informativo proposto per un solaio in legno, scelto come 'caso pilota' per testare un approccio in via di sviluppo per volte, murature e altri elementi¹⁶.

Il primo passo è stata una riflessione su quali siano gli elementi effettivamente corrispondenti a oggetti modellati e sulla scelta di un vocabolario per identificarli attraverso una opportuna 'classificazione', in modo da far capire al programma (che suggerisce quindi le proprietà pertinenti in funzione della classificazione adottata) che quel componente rappresenta, ad esempio, una trave in legno di un solaio storico e non una moderna trave in calcestruzzo armato o in acciaio (Fig. 2).

Per assecondare il programma e per una più facile gestione delle informazioni (in entrata, nel momento del rilievo, e in uscita, nell'esportazione – auspicabile – verso altri software specifici per le operazioni di analisi) le proprietà sono state suddivise in ambiti disciplinari (semplificando: 'strutture' e 'restauro'), apparentemente quindi replicando quello scollamento prima denunciato, ma in modo da favorire la collaborazione dei diversi attori del progetto. I dati appartenenti ai diversi gruppi sono però automaticamente relazionati tra loro: ad esempio, nel caso delle travi, informazioni circa il dettaglio dell'appoggio – profondità, presenza di dormiente, mensola o capochiave di ancoraggio alla muratura – influenzano il tipo di vincolo suggerito (e validato dall'operatore) in fase di modellazione (Fig. 3). O ancora, in accordo con quanto stabilito dalla normativa (UNI 11035:2022 e UNI 11119:2004 per i beni culturali), le caratteristiche meccaniche sono individuate in funzione dell'essenza e della categoria in opera, valutata in base a indagini visive per il rilievo dei difetti delle strutture in legno e del degrado (questione non solo 'conservativa'). Infine, affinché il modello BIM possa essere un supporto per la programmazione delle attività conservative, è stato proposto un 'Indice di priorità di intervento'¹⁷ sintetico, che viene compilato in automatico in base alle proprietà già inserite.

M.P.

Gemelli (diversi) digitali

Al termine del percorso, l'idea sottesa è permettere al modello così creato di ricordare i dati effettivamente necessari alla conservazione e alla stabilità strutturale, spesso coincidenti del resto, e leggibili da entrambi gli 'operatori'.

Se infatti sembra vicino l'obiettivo di raggiungere una maggiore affidabilità in entrambi i campi, non è ancora così automatica la corretta traduzione dei modelli di documentazione desunti dal rilievo a quelli – spesso

16 Il progetto, finanziato dal MUR, vede la collaborazione della casa sviluppatrice del software Archicad (Graphisoft) e dell'Università di Firenze (Gianni Bartoli, Michele Betti e Silvia Monchetti) per la realizzazione di un *Digital Twin* della cupola di Santa Maria del Fiore, a Firenze.

17 CELLI, OTTONI 2023.

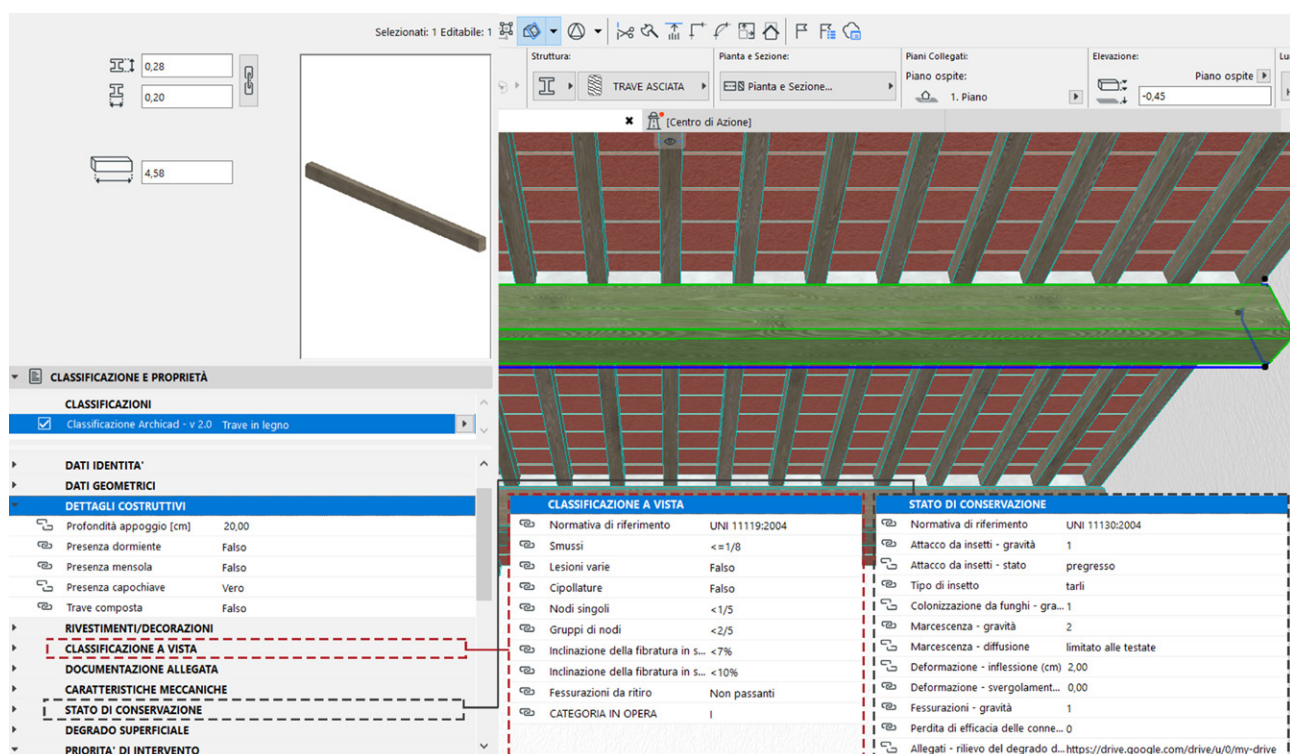


Fig. 3. La traduzione in modello della realtà in ambiente BIM (implementazione ArchiCAD qui proposta) di un orizzontamento storico. Informazioni di degrado e difetti direttamente correlabili alle proprietà meccaniche del materiale (elab. M. Parente 2023).

radicalmente semplificati se non completamente ricostruiti, attraverso la regolarizzazione e il completamento delle geometrie, utili alla discretizzazione dei volumi e alla realizzazione di *mesh* per la successiva schematizzazione FEM. Spesso infatti è proprio il processo di traduzione tra le informazioni geometriche e quelle strutturali a non essere facile, e la scelta della piattaforma all'interno della quale gestire, condividere e comunicare il complesso insieme di modelli, dati e informazioni riguardante il sito o il bene complesso è sicuramente un aspetto di cruciale importanza, che si consolida come una delle tematiche di ricerca di maggior interesse.

Per quanto sia chiaro insomma, alla fine di questa breve disamina, che strumenti accurati e precisi metodi di rilievo e analisi numerica sono fondamentali nel processo di analisi e conservazione del patrimonio culturale, è altrettanto chiaro che i dati potenzialmente rilevabili e memorizzabili hanno bisogno di ipotesi specifiche e criticamente elaborate, in un processo di semplificazione che necessita altre e diverse competenze (storia e senso statico, insieme all'empirismo) per creare realistici modelli concettuali: gemelli digitali, sì, ma diversi che, almeno a prima vista, paradossalmente poco si somigliano ma che, se ben indirizzati, sono in grado di ben interpretare la realtà costruita.

F.O.

Bibliografia

ACHILLE, FASSI 2016

C. ACHILLE, F. FASSI, *Duomo di Milano. Rilievo, modellazione e gestione BIM dei cantieri*, in C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston (a cura di), *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling*, Hoepli, Milano 2016.

ACIERNO *et al.* 2017

M. ACIERNO, S. CURSI, D. SIMEONE, D. FIORANI, *Architectural heritage knowledge modelling: an ontology-based framework for conservation process*, in «Journal of Cultural Heritage», 2017, 24, pp. 124-133.

BANFI *et al.* 2022

F. BANFI, R. BRUMANA, A.G. LANDI, M. PREVITALI, F. RONCORONI, C. STANGA, *Building Archaeology Informative Modelling turned into 3D volume stratigraphy and extended reality time-lapse communication*, in «Virtual Archaeology Review», XIII, 2022, 26, pp. 1-21.

BARAZZETTI *et al.* 2015

L. BARAZZETTI, F. BANFI, R. BRUMANA, G. GUSMEROLI, M. PREVITALI, G. SCHIANTARELLI, *Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans*, in «Simulation Modelling Practice and Theory», 2015, 57, pp. 71-87.

BRUMANA *et al.* 2018

R. BRUMANA, S. DELLA TORRE, M. PREVITALI, L. BARAZZETTI, L. CANTINI, D. ORENI, F. BANFI, *Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention - the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)*, in «Applied Geomatics», X, 2018, 4, pp. 545-567.

BRUNO, RONCELLA 2019

N. BRUNO, R. RONCELLA, *HBIM for conservation: A new proposal for information modelling*, in «Remote Sensing», 2019, 11.

CELLI, OTTONI 2023

S. CELLI, F. OTTONI, *Managing Information to Improve Conservation: The HBIM of the Wooden Chain of Santa Maria del Fiore*, in «Sensors», 2023, 23.

CHIABRANDO, LO TURCO, RINAUDO 2017

F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, F. RINAUDO, *Modeling the decay in an HBIM starting from 3D point clouds. A followed approach for cultural heritage knowledge*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives», XLII-2W5, 2017, pp. 605-612.

D'AGOSTINO *et al.* 2023

P. D'AGOSTINO, G. ANTUONO, P. MARONE, G. IORIO, *EBIM per la gestione informativa delle superfici del costruito storico. Palazzo Cellammare a Napoli*, in G. Driussi (a cura di), *L'intervento sulle superfici del costruito storico, quale innovazione?*, atti del XXXVIII convegno di studi Scienza e Beni Culturali (Bressanone 27-30 giugno 2023), Arcadia Ricerche, Venezia 2023, pp. 73-84.

DIARA, RINAUDO 2020

F. DIARA, F. RINAUDO, *IFC classification for FOSS HBIM: Open Issues and a Schema Proposal for Cultural Heritage Assets*, in «Applied Sciences», 2023, 10.

FIORANI, ACIERNO 2017

D. FIORANI, M. ACIERNO, *Conservation Process Model (CPM): a twofold scientific research scope in the Information Modelling for Cultural Heritage*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives », XLII-5/W1, 2017, pp. 283-290.

FUNARI *et al.* 2021

M.F. FUNARI, A.E. HAJJAT, M.G. MASCIOTTA, D.V. OLIVEIRA, P.B. LOURENÇO, *A Parametric Scan-to-FEM Framework for the Digital Twin Generation of Historic Masonry Structures*, in «Sustainability», 2021, 13.

LANZARA *et al.* 2021

E. LANZARA, S. SCANDURRA, C. MUSELLA, D. PALOMBA, A. DI LUGGO, D. ASPRONE, *Documentation of structural damage and material decay phenomena in H-BIM systems*, in «International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives», XLVI, 2021, pp. 375-382.

OTTONI, ZERBI, FREDDI 2017

F. OTTONI, A. ZERBI, F. FREDDI, *Dalla realtà al modello e ritorno*, in «ANAFKH», speciale GeoRes2017, pp. 70-75.

PILI, CASANOVA, PREVITALI 2023

A. PILI, M. CASANOVA, M. PREVITALI, *Innovazione digitale per la conservazione: la gestione di dati e informazioni delle superfici architettoniche*, in G. Driussi (a cura di), *L'intervento sulle superfici del costruito storico, quale innovazione?*, atti del XXXVIII convegno di studi Scienza e Beni Culturali (Bressanone 27-30 giugno 2023), Arcadia Ricerche, Venezia 2023, pp. 85-96.