

# IL TORRIONE DI CARPI

WORK IN PROGRESS





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



DIPARTIMENTO DI CULTURA E DELL'ARTE  
INGEGNERIA CIVILE, IDRAULICA, AMBIENTALE, E.C.E.A.  
(PROFESSORI DI CULTURA E DELL'ARTE, INGEGNERIA CIVILE, IDRAULICA, AMBIENTALE, E.C.E.A.)

FONDAZIONE  
CASSA DI RISPARMIO DI CARPI



# IL TORRIONE DI CARPI

WORK IN PROGRESS

Carpi  
Musei di Palazzo dei Pio  
6 aprile – 16 giugno 2019

## Coordinamento scientifico e organizzativo

Andrea Giordano  
Manuela Rossi  
Elena Svalduz

## Supporto organizzativo

Tania Previdi

## Segreteria amministrativa

Fabio Capiluppi  
Veronica Forlani

## Progetto espositivo

Musei di Palazzo dei Pio, Carpi  
Università degli Studi di Padova

## Allestimento

Paolo Giovanardi, Marco Pantaleoni

## Progetto grafico

Fabrizio Ascari

## Ufficio stampa

Comune di Carpi

## Trasporti

Interlinea, Venezia

## Assicurazioni

Axaxl, Milano

## Sezione Architettura e arte

Cristiano Guarneri, Manuela Rossi,  
Elena Svalduz

## Sezione Il progetto di restauro

Giovanni Gnoli, Manuela Rossi

## Ricostruzioni di modelli tridimensionali e produzione video

Rachele Angela Bernardello  
Paolo Borin  
Manuela Maggipinto  
Cosimo Monteleone  
Federico Panarotto

## Apparati di mostra

Manuela Rossi

## Rilievi laser scanner, georadar, ecc.

BSTS Benatti Servizi Tecnici Srl  
Ing. Paola Rossi

## App, sito web e modello fisico

Pallino & co., Padova

## Albo dei prestatori

Archivio di Stato, Modena  
Archivio storico comunale, Carpi  
Musei di Palazzo dei Pio, Carpi  
Tania Previdi, Carpi

## Elenco delle abbreviazioni

AG: Archivio Guaitoli  
AN: Archivio Nuovo  
ASCC: Archivio Storico Comunale di Carpi  
ASCMO: Archivio Storico Comunale di Modena  
ASMO: Archivio di Stato di Modena

## Referenze fotografiche

L'organizzazione ringrazia tutti gli archivi fotografici che hanno fornito le riproduzioni fotografiche e le autorizzazioni alla pubblicazione.

La mostra e questa pubblicazione non sarebbero state possibili senza la preziosa collaborazione, la disponibilità e l'attenzione di: Federico Baracchi, Edoardo Botti (Studio Guicciardini & Magni), Angela Braglia, Francesco Ceccarelli, Alfonso Garuti, Manuela Ghizzoni, Sara Gozzi, Alessandra Iori, Miles Neviani (Archivio di Stato di Modena), Paola Rossi, Stefano Zaggia.

Un ringraziamento particolare a Eleonora Zanasi dell'Archivio storico comunale; a Micaela Goldoni, che ha messo a disposizione la sua ricerca e le sue riflessioni; a Giulia Ghini direttore dei lavori del Torrione, a Giorgio Fiocchi Responsabile della Sicurezza, alle maestranze delle ditte Bottoli e Cooperativa Archeologia per l'accesso al cantiere.

ISBN 978-88-85610-09-5  
APM Edizioni

## INDICE

- 11 **Il “Turriono” di Carpi dai Pio agli Estensi. Memoria, storia e futuro**  
Elena Svalduz
- 21 **Le decorazioni del Torrione, prime riflessioni**  
Manuela Rossi
- 29 **Merli e scale: la rappresentazione del Torrione di Carpi oltre l'iconografia**  
Cristiano Guarneri
- 35 **Il Torrione di Carpi: “comunicare” e “condividere” -  
“intervenire sul” e “gestire il” bene culturale**  
Cosimo Monteleone, Andrea Giordano
- 39 **Corsi e ricorsi conoscitivi: geometria, costruzione, visualizzazione**  
Paolo Borin
- 43 **Comprendere, costruire, visualizzare le fasi storiche  
della “fabbrica” del Torrione**  
Rachele A. Bernardello
- 47 **Documentare il danno attraverso la rappresentazione digitale**  
Federico Panarotto
- 51 **Il progetto degli impianti, una proposta di visualizzazione  
tra requisiti e futura realizzazione**  
Manuela Maggipinto
- 55 **Il progetto per il Torrione: recupero, restauro, valorizzazione**  
Giovanni Gnoli

## Corsi e ricorsi conoscitivi: geometria, costruzione, visualizzazione

Paolo Borin

L'approccio allo studio presentato in questa mostra, finalizzato alla comunicazione degli aspetti culturali del recupero di un manufatto storico di altissimo pregio e di grande valore per la comunità, ha mostrato grandi potenzialità e qualche iniziale criticità. Sul piano metodologico, la questione, infatti, non è affatto scontata: la conoscenza di un progetto di questa portata è infatti dispersa e disseminata, pertanto poco evidente e appetibile, nelle tavole dei progettisti, nelle relazioni tecniche, nelle esperienze di cantiere. Questi elementi ordinari, appartenenti al dominio professionale, combinati assieme per l'intento della conservazione storica, diventano esempi di gestione eccezionale della complessità: i problemi strutturali si combinano con le fasi storiche, gli elementi impiantistici vengono armonizzati alla progettazione architettonica, il tutto all'interno di un quadro economico di riferimento.

Ecco che si è reso contingente intervenire costituendo un nuovo modello, tanto grafico-tridimensionale, quanto informativo, per riprodurre la conoscenza del progetto stesso. Come d'abitudine, la soluzione può essere l'uso del Building Information Modeling (BIM), una metodologia sviluppata a livello internazionale e ormai di pratica anche italiana. Tomás Maldonado classifica i modelli tra omologhi, analoghi e isomorfi, associando a ciascuno due delle tre caratteristiche principali di un modello: struttura, forma e funzione<sup>1</sup>. La scelta per un modello BIM sta nella consapevolezza di riunire le tre caratteristiche in modo tale da avere ciò che Maldonado stesso ha anticipato con il termine "sincretico", tale da possedere, al suo interno, il governo di forma, struttura e funzione<sup>2</sup>. L'utilità di questo processo è più comprensibile se si pensa all'atto di mo-

dellazione di un edificio storico come un'operazione tipica di *reverse engineering* di un qualunque prodotto di consumo: parafrasando Várady<sup>3</sup>, mentre il processo convenzionale trasforma concetti astratti in elementi della realtà, durante un processo di ingegneria inversa gli elementi della realtà sono trasformati in modelli e concetti astratti.

Grazie a questo passaggio che possiamo avanzare con il modello, l'astrazione dei concetti e le loro istanze specifiche nel duplicato digitale diventano il sistema narrativo espositivo. È utile introdurre il fatto che, ad oggi, la oramai raggiunta, ed estrema, facilità con la quale si ricorre a modelli digitali mette infatti in guardia sul significato stesso dello studio: cosa, come, perché rappresentare un edificio esistente? A riguardo ogni operatore correttamente istruito ad un software, riesce a riprodurre velocemente le fattezze dell'edificio reale in un duplicato virtuale esperibile in qualsiasi schermo. È chiaro come questa immediatezza si possa occupare soltanto di mostrare la vicinanza visiva, che è un requisito che ogni modello deve possedere, rispetto ad una mimesi più profonda, che rispetti coerenza e ricchezza del reale sotto l'aspetto analitico.

Il modello è diventato pertanto l'elemento di base dell'intero processo di costruzione della visualizzazione presente in mostra, gemello digitale dell'edificio reale. Grazie a ciò è stato possibile arricchirlo facilmente con i rilievi digitali fotogrammetrici, che compaiono al visitatore nella loro immaterialità di nuvole di punti, i rilievi laser scanner svolti per le delicate operazioni strutturali, le notizie dei ritrovamenti dalle descialbature giornaliere. Solo in questo modo è possibile ottenere un modello parimenti valido tanto allo studio

Vista del modello del  
Torrione degli Spagnoli  
come da progetto  
architettonico

quanto alla divulgazione.

L'attività che è stata svolta prevede un continuo scambio, a vari livelli, tra regola ed eccezione: viene d'aiuto una porzione dell'edificio, centrale nell'impianto della mostra, rappresentato dalla volta della sala terrena. Occorre anticipare come la modellazione BIM ha rappresentato un importante cambiamento di strategia di modellazione tridimensionale geometrica, in particolare nella costruzione analitica delle superfici, aiutando a specificare meglio il significato costitutivo di generatrici e direttrici di esse. Il risultato di questa attività è una serie di oggetti parametrici pre-assemblati che, descrivendo la "regola" geometrica, si adattano dimensionalmente all'esigenza della specifica superficie da restituire. Grazie a questa impostazione sono state realizzate le volte a crociera dell'edificio, ottenute tramite intersezione di cilindri, retti o inclinati. Il sistema voltato al piano terra, che copre la grande sala terrena per la presenza di un ciclo affrescato attorno a temi astrologici, è un elemento composto appartenente, da un punto di vista descrittivo, alla regola di una volta a padiglione, ad arco policentrico, intersecata da lunette. È questa una soluzione che dimostra la compresenza dei sistemi - uno figurativo, l'altro formale - dell'architettura storica, in cui la necessità di una superficie decorativa, rappresentata da segni zodiacali e pianeti, si istanza in un modello costruttivo, le lunette. Nel modello, il caso particolare - la volta dello zodiaco - diventa così un assemblaggio di regole generali: il cilindro policentrico che corre parallelamente alle tre murature d'ambito, interrotto da una serie di cilindri, aventi asse perpendicolare al primo, atti a creare le lunette. L'osservazione della realtà, anche grazie

ad un prezioso rilievo a nuvola di punti, integrato nel modello, ha permesso tanto di validare questa soluzione, quanto di verificare l'interruzione geometrica di una di queste lunette, verso la facciata principale del torrione aperta sulla piazza, dalla quale il troncamento è visibile all'esterno grazie ad un doppio arco di mattoni posti di taglio. D'altra parte, l'analisi dell'attacco tra volta e muratura mostra come la lunetta interrotta non possa rappresentare l'ultimo elemento della serie poiché, in questo caso, si dovrebbe già intuire l'inizio della curvatura dell'unghia della volta a padiglione. In questo senso, l'analisi degli apparati decorativi potrà essere illuminante circa il numero di lunette presenti nell'ambiente prima della demolizione parziale. In questo modo, dalla norma di superfici prefabbricate intersecanti, è possibile ricavare il suo caso particolare, che in questo caso diventa eccezionale per le sue caratteristiche figurative e simboliche nella Carpi del Quattrocento.

Gli stessi elementi digitali che compongono la volta sono oggetto di una specifica tappa all'interno del percorso espositivo: l'istanza digitale viene prodotta fisicamente attraverso la prototipazione additiva, in modo da essere visualizzata nel suo aspetto futuro, priva delle superfetazioni che negli anni ne hanno permesso una lettura solo confusa. Essa diventa la superficie ospitante la proiezione che racconta le complesse fasi di lavorazioni per il recupero della volta, estremamente delicata: sono queste a rappresentare la cultura progettuale che la mostra vuole esibire. Nel caso specifico del recupero strutturale, questa cultura è rappresentata da una serie di sezioni e indicazioni al pari di lavorazioni sartoriali, che nascono da una pro-

## NOTE

fonda conoscenza delle tecniche costruttive storiche, coinvolgendo allo stesso tempo simulazioni digitali di alta precisione e imprese costruttrici adeguate alle competenze richieste.

Ne risulta un quadro innovativo per la gestione di una esperienza museale: il modello BIM potrebbe non solo rappresentare un gestore della conoscenza storico-geometrico e costruttiva di un bene storico, quanto diventare un elemento che funzioni da supporto decisionale per il recupero presente e la gestione futura, mettendo a sistema gli sforzi economici delle pubbliche amministrazioni. La presenza di adeguati sensori potrà garantire tanto la sicurezza statica degli elementi, quanto un sistema di valutazione automatico del comfort termo-igrometrico delle sale espositive, al mutare dei progetti per le tipologie di installazione future.

<sup>1</sup> T. Maldonado, *Reale e virtuale*, Milano 1993.

<sup>2</sup> Così nascono il contributo a questa mostra di Federico Pannarotto circa il recupero strutturale dell'edificio, quello di Rachele Bernardello sulla descrizione visiva dell'evoluzione storica del manufatto, quello di Manuela Maggipinto sull'integrazione impiantistica.

<sup>3</sup> T. Várady et al., *Reverse engineering of geometric models an introduction*, in "Computer-Aided Design", 29, 4, 1997, pp. 255-268.

## Comprendere, costruire, visualizzare le fasi storiche della “fabbrica” del Torrione

Rachele A. Bernardello

L'operazione di ricostruzione delle fasi storiche del Torrione è stata fondamentale nel percorso di conoscenza dell'edificio, costituendo un punto di collegamento tra le ricerche finora condotte e i futuri approcci alla gestione e alla divulgazione dei contenuti. Per questo la relativa rappresentazione digitale è sia uno strumento di comunicazione di conoscenze storiche e artistiche che mezzo conoscitivo e validante di ipotesi storico-architettoniche sulle modifiche nel corso dei secoli. In un ambiente collaborativo sinergico e multidisciplinare, questa mostra ha visto il dispiegarsi di competenze differenti e attraverso lo studio attento dei documenti e del manufatto stesso e l'impiego di metodologie all'avanguardia, è stato possibile reiterare un processo virtuoso di ipotesi, analisi e validazione al fine di delineare la più corretta ricostruzione delle fasi storiche del Torrione.

Il modello digitale, oltre alla definizione della geometria dello stato di degrado, è il luogo per descrivere le trasformazioni nel tempo degli elementi costruttivi, fondamentale per narrazione degli accadimenti storici del Torrione degli Spagnoli.

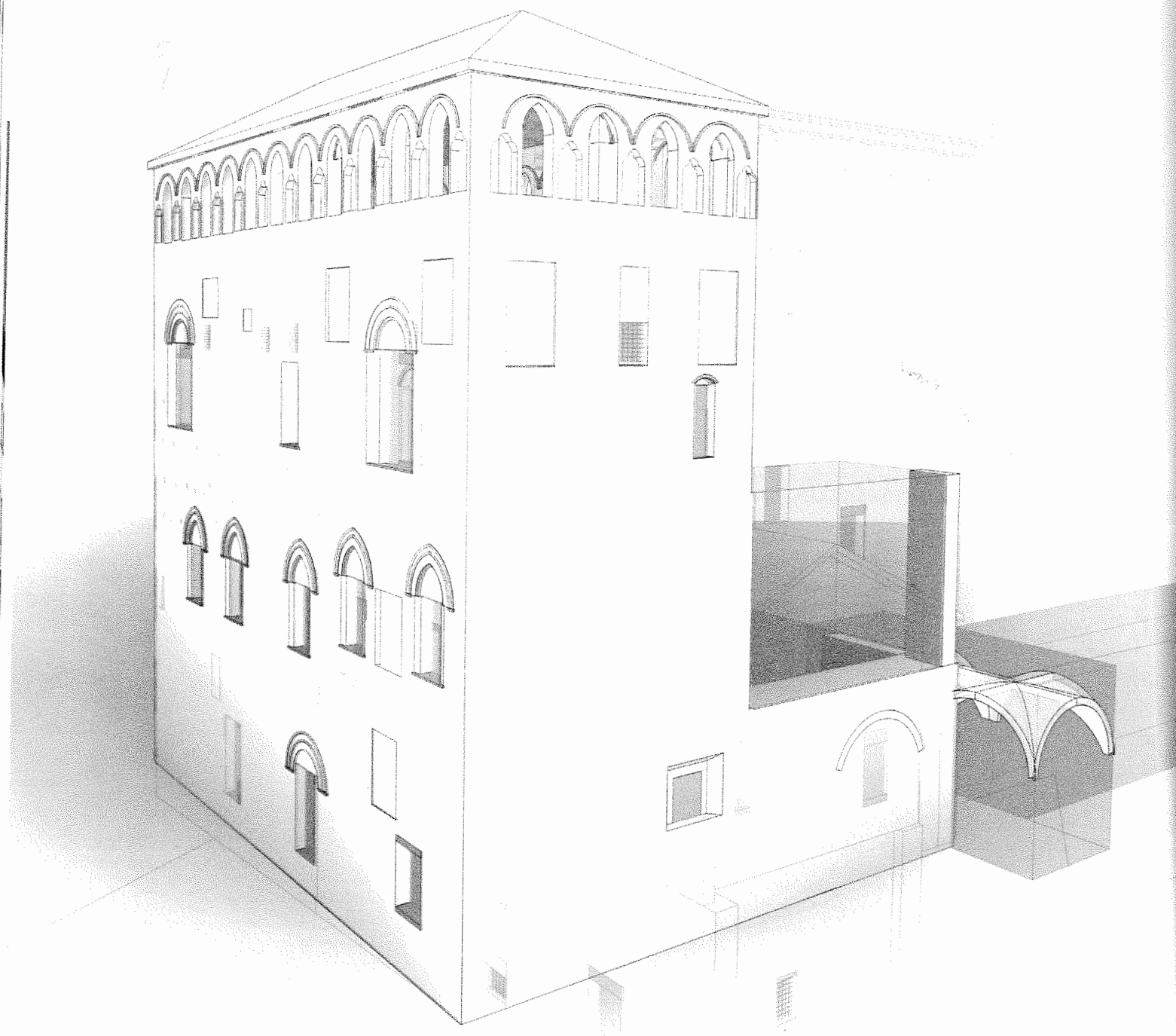
Un primo aspetto fondamentale del lavoro di strutturazione delle informazioni storiche utilizzato, riguarda la possibilità di assegnare un parametro temporale a ogni oggetto del modello digitale. Questo non solo porta a avere un modello effettivamente multidimensionale, in cui la quarta dimensione è rappresentata dalla coordinata temporale, ma soprattutto ad avere una coerenza interna delle proposte di ricostruzione storica. In un sistema di questo tipo, a partire dal modello semantico dello stato attuale, viene assegnata a

ogni oggetto una coordinata temporale di costruzione, consentendo di visualizzare poi il modello in ogni fase e tenendo sotto controllo eventuali incoerenze o inesattezze. Questo processo, ripetuto non solo per le murature ma per ogni elemento costruttivo, garantisce di produrre appunto un modello “storico” degli oggetti visibili. Il modello diventa così luogo di efficace comunicazione e collaborazione, poiché offre una base visuale comune su cui prendere le decisioni più efficaci per una ricostruzione storica corretta.

La definizione della copertura della Torre trecentesca è emblematica per il processo decisionale legato alla sua rappresentazione: di essa infatti non rimane alcuna traccia, a meno di alcuni pinnacoli oggi inglobati nella muratura sui lati est e sud. La relazione costruttiva tra il tetto a falde e i pinnacoli si è districata solamente in seguito alla visualizzazione delle reali proporzioni degli elementi costruttivi nel modello digitale. L'analisi critica della geometria, tra cui la particolare forma dei pinnacoli, esili ed alti, inizialmente identificati come appartenenti ad un sistema merlato, il mancato allineamento rispetto al perimetro più esterno della torre trecentesca, la ricostruzione di quelli andati distrutti, ha permesso di analizzare le pratiche costruttive per realizzare la copertura, identificandone la più probabile collocazione. Si tratta quindi di un tetto, probabilmente a struttura lignea impostato alla base del terzo livello, con tre pinnacoli per lato come coronamento, di cui due d'angolo nei vertici a sud-est e nord-ovest.

In un edificio storico acquisiscono una certa importanza le relazioni temporali tra gli elementi costruttivi, e come nel caso del Torrione, gli eventi che hanno

Sovrapposizione della fase “1428-1465 Galasso” e lo stato attuale



portato alla configurazione attuale sono estremamente articolati e frutto di interazione anche con edifici attigui. Se si aggiunge la carenza di fonti documentali e archivistiche l'operazione di elaborazione grafico-informativa è indispensabile per la visualizzazione e la conoscenza dell'edificio stesso. La gestione inoltre delle informazioni frammentarie, ottenute da fonti molto differenti tra loro, consente di ottenere output in cui l'impiego del BIM ha permesso di controllarne il grado di incertezza di ricostruzione della fabbrica stessa. L'organizzazione del modello 4D del Torrione è stata perciò implementata secondo due linee: la prima individuando delle macro-fasi di trasformazione che raggruppano gli evidenti cambiamenti sul suo aspetto distributivo e percettivo, nonché rispetto all'*imago* urbana; la seconda invece inserendo direttamente una specifica datazione all'interno della singola macro-fase.

In questi termini il significato intrinseco della quarta dimensione del modello viene delineato: se ad esempio si considera un muro ancor oggi esistente e che si riconosce essere presente già in una fase precedente, esso è il medesimo oggetto dalla sua fase di costruzione a quella di demolizione. Allo stesso modo, se si considera una tamponatura di una finestra, ad oggi visibile, essa è rappresentata nel modello digitale da una muratura aggiunta automaticamente a seguito della eliminazione di una apertura, replicando le fasi costruttive. La possibilità di conservare all'interno del modello le reali proprietà degli oggetti durante il loro ciclo di vita comporta un notevole aumento quantitativo e soprattutto qualitativo delle informazioni inserite. È possibile esemplificare questo aspetto grazie

alle due finestre tamponate nella fase cosiddetta di Galasso, nel prospetto sud al piano secondo, di cui le lesioni murarie hanno evidenziato la chiara posizione. All'interno del modello sono due oggetti definiti e riconoscibili tanto a livello spaziale, per forma e posizione, quanto a livello temporale, rispetto alle fasi costruttive create nel modello. Sono definite infine tutte quelle informazioni di tipo relazionale che aiutano la ricostruzione storica: ne sono un esempio il muro di riferimento, in cui è esplicitata la presenza iniziale di un vuoto in seguito riempito attraverso una tamponatura, aggiunta come un'istanza differente dal muro stesso.

Un secondo aspetto in cui la modellazione informatizzata si è rivelata indispensabile è stata la ricostruzione ipotetica di volumi esistenti a partire dalle tracce ancora presenti nella struttura del Torrione, specialmente per le prime fasi di cui non si hanno fonti documentali grafiche. A partire dall'osservazione della fabbrica, sono stati svolti adeguati rilievi tramite fotomodellazione, i cui output sono stati poi inseriti nel modello, di tutte quelle aree che offrono una base geometrica valutabile per alcune considerazioni di ordine storico. Ne sono un esempio alcuni elementi costruttivi, posti corrispondenza della muratura a nord-est del Torrione al piano terra, già esistenti nel primo periodo di costruzione, senza essere direttamente appartenenti al nucleo originale della Torre. Si tratta di due ordini di arcate oggi inglobate nella muratura, che appartenevano alla loggia e al portico antistante, rispettivamente sul muro d'angolo a est e a nord. A partire dai rilievi eseguiti *ad hoc* stata ricostruita la geometria delle volte e ipotizzata quindi la loro distribuzione spaziale,

confrontando le varie ipotesi.

Un'altra fonte di informazioni è rappresentata dal rilievo geometrico tramite strumentazione laser: infatti, per la volta della Sala grande terrena, congiunto alle indagini e allo studio sugli affreschi per ora visibili, è stato possibile ricostruire la porzione demolita di volta e in particolare, con buona approssimazione, la reale dimensione della porzione mancante.

L'interpretazione dei "segni" costruttivi lasciati nel corso del tempo dalle trasformazioni del Torrione, si configura come un passaggio necessario nel racconto della storia dello stesso: questa operazione però richiede un notevole sforzo critico che può essere chiarito e validato grazie alla comparazione dei documenti presenti, dalla comparazione con esempi virtuosi dei medesimi soggetti, e dall'applicazione di tecniche di rappresentazione e ricostruzione geometrica.

Non da ultimo il modello digitale è stato uno strumento valido di comunicazione e divulgazione della fabbrica: in particolare la presenza di elementi architettonici appartenenti in origine ad altri edifici e successivamente inglobati all'interno della costruzione, la ricostruzione di alcuni elementi come i pinnacoli oggi demoliti, ha sollevato delle questioni sulla rappresentazione di alcuni elementi di cui è nota l'esistenza, ma di cui non si hanno riferimenti spaziali e dimensionali certi. Per risolvere dunque un problema noto, ovvero se rappresentare o meno determinate informazioni accertate, è stata scelta una codifica rappresentativa volta a far cogliere al visitatore gli elementi architettonici principali, fornendo tuttavia quella percezione di incertezza propria dell'ipotesi ricostruttiva. Attraverso una legenda condivisa della visualizzazione delle

trasformazioni è possibile rendere l'osservatore attivo nell'individuazione del grado di certezza e di incertezza di ciò che viene rappresentato, attraverso una strategia di divulgazione che consiste nel non limitarsi a evitare di mostrare una trasformazione perché se ne ha solo una descrizione sommaria, ma di comunicare oltre all'ipotesi anche il suo grado di veridicità.

Un'ulteriore decisione per il progetto espositivo ha previsto la comunicazione dello studio della stratigrafia muraria e della relativa matrice di Harris, diventata una delle basi informative per la ricostruzione del modello, che ha consentito di verificare alcune conclusioni. Come già anticipato, la creazione del modello BIM comporta di tenere in considerazione le regole fondamentali delle pratiche costruttive: dovendo esplicitare le relazioni e i dettagli tecnologici è possibile quindi verificare l'effettiva realizzabilità di ciascuna scelta.

In questo senso, l'elaborazione del modello digitale contemporaneamente alle operazioni di restauro ha attuato uno scambio informativo dal cantiere agli operatori "digitali". Le nuove informazioni acquisite in tempo reale e implementate all'interno del modello hanno potuto visualizzare progressivamente i diversi interventi, anche al fine di valutarne la coerenza e di garantirne un controllo costante dell'opera, con una documentazione aggiornabile nel tempo.

## Documentare il danno attraverso la rappresentazione digitale

Federico Panarotto

Descrivere il processo metodologico utilizzato per approfondire la conoscenza sullo stato di conservazione del Torrione di Carpi è utile se riferito a una corretta lettura delle procedure di rilievo inerenti le condizioni di danneggiamento di un edificio di questo tipo. Il lavoro svolto ha avuto una duplice finalità: la prima, quella di elaborare le informazioni provenienti dal rilievo del degrado ed inserirle all'interno di un unico "contenitore" digitale; la seconda, quella di divulgare le informazioni ricavate mediante video-animazioni. Si è scelto quindi di procedere sfruttando un modello digitale. Questo favorisce nuove modalità di accesso, correlazione, raccolta, sistematizzazione ed accesso alla vasta ed eterogenea quantità di dati derivanti dalla ricerca documentale, dal rilievo architettonico e dall'interpretazione critica<sup>1</sup>.

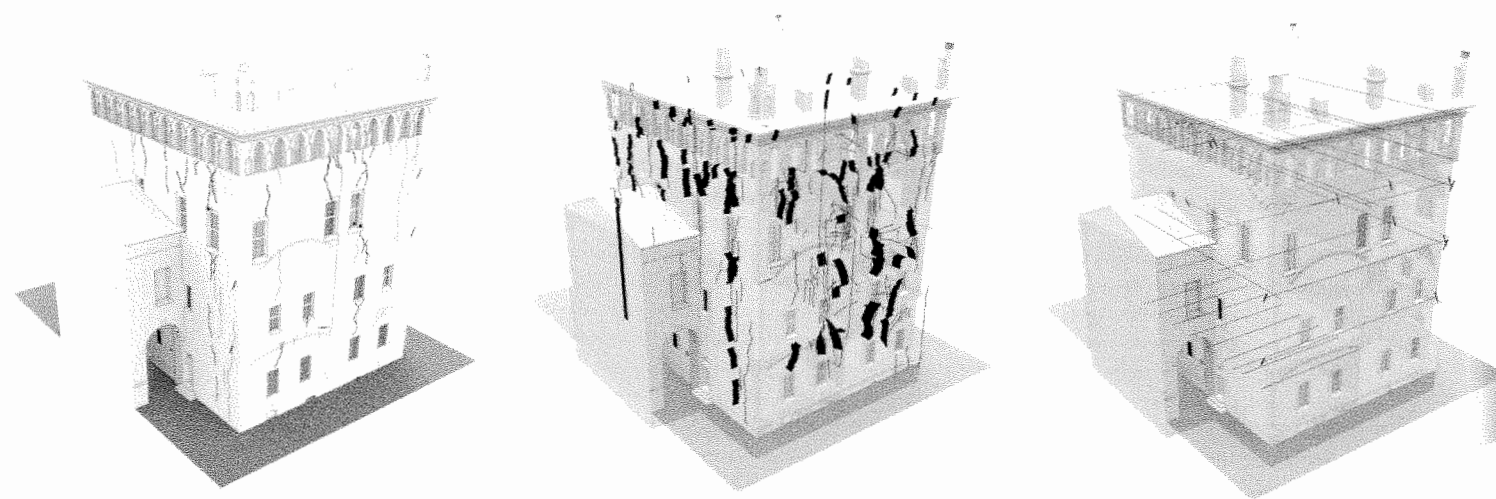
Negli ultimi anni inoltre si è visto un incremento di applicativi associati ai più comuni software BIM, che permettono di amplificare le potenzialità di tali strumenti. Tra questi, i software che sfruttano il Visual Programming Language (VPL) consentono una personalizzazione dei risultati della modellazione, e di conseguenza della visualizzazione, attraverso una manipolazione grafica degli elementi e non tramite la più comune, ma più complessa, programmazione testuale. Uno di questi strumenti è stato impiegato per creare una serie di *script* che hanno permesso di trasferire le informazioni provenienti dai tipici rilievi bidimensionali del degrado, all'interno dell'ambiente di modellazione tridimensionale BIM.

Risulta utile presentare alcune considerazioni per una corretta lettura di un rilievo che riguarda lo stato di conservazione di un edificio come il Torrione. Il col-

legamento tra la geometria tridimensionale e le fonti primarie diventa fondamentale non solo per rispettare i requisiti di collaborazione che caratterizzano un processo conoscitivo di questo tipo, ma soprattutto per aumentare la qualità e la sicurezza dell'informazione geometrica immessa<sup>2</sup>. È noto come il patrimonio storico-architettonico sia particolarmente sensibile ai danni provocati dai terremoti, a causa di debolezze a volte intrinseche che caratterizzano queste tipologie di edifici. Oltre ai limiti e alle deficienze di costruzione, possono sommarsi altri effetti, come la mancanza di manutenzione e il deterioramento dovuto all'esposizione ambientale dei materiali nel corso dei secoli.

Le vulnerabilità più comuni, rilevabili spesso negli edifici esistenti in muratura, coinvolgono uno o più di questi aspetti: la scarsa qualità della muratura, le scarse connessioni tra le componenti principali (pareti, pavimenti e tetto), le irregolarità strutturali, la rigidità inadeguata dei componenti orizzontali (pavimenti e tetto), l'esistenza di strutture spingenti (ad esempio archi e volte, ma anche elementi martellanti in pavimenti e tetti).

Queste carenze possono comportare collassi parziali o addirittura generali, principalmente a causa del rovesciamento e della flessione fuori piano di pareti e assemblaggi, che possono verificarsi anche in occasione di terremoti di medio-bassa intensità<sup>3</sup>. Per questo, la qualità delle connessioni fra gli elementi architettonici di un edificio spesso può fare la differenza nel contrastare le azioni di sollecitazione indotte da un sisma. Come ben noto, le murature offrono una ottima resistenza ai carichi verticali, ossia al peso proprio e ai carichi variabili, che producono effetti di compres-



Modello BIM del Torrione, da sinistra: mappatura delle fessurazioni, in rosso quelle passanti e in giallo quelle non passanti; particolare che mostra le superfici delle fessure passanti, descritte come superfici loft; posizione dei tiranti

sione. I carichi sismici, che si manifestano con azioni orizzontali, possono, invece, indurre sollecitazioni di trazione, incompatibili con la capacità di resistenza del materiale stesso, come è evidente al manifestarsi di crepe che denunciano lo stato di malessere dell'edificio. I sintomi quindi di una sofferenza strutturale sono da identificarsi nelle lesioni fessurative che possono essere riscontrate in un edificio dopo un sisma; e anche quando il collasso non avviene queste si considerano elementi critici che devono essere quanto prima trattati in modo tale da ripristinare la capacità portante degli elementi costruttivi.

Per migliorare i collegamenti di questi elementi e dotare il fabbricato di un sistema solidale è buona prassi utilizzare un sistema di "tiranti" o "catene" che conferiscono alla struttura un comportamento definito "scatolare". La capacità offerta dal comportamento scatolare è comprensibile considerando che ogni forza può essere scomposta in due componenti parallele ai piani delle pareti sfruttando in questo modo la massima capacità di resistenza di ogni singola parete. Il Torrione di Carpi è già stato dotato, nel corso degli anni, di un complesso sistema di tiranti. Tale sistema ha permesso, quindi, un'adeguata resistenza al sisma e ha contribuito a contenere meccanismi fuori piano<sup>4</sup>. Questi però non hanno evitato il formarsi di fessurazioni, anche importanti, che caratterizzano la struttura allo stato attuale. Un'attenta campagna di rilievo del degrado ha riportato alla luce quello che è l'attuale stato di conservazione strutturale del fabbricato. Il quadro fessurativo, in particolare, denuncia la presenza di innumerevoli lesioni anche consistenti, la maggior parte sono situate nella parte superiore dell'edi-

ficio, sulle pareti esterne, particolarmente vulnerabili per la presenza di un gran numero di aperture. Le più pericolose vengono definite "passanti", cioè quelle che attraversano l'intera sezione di una muratura, le meno gravi sono quelle "non passanti", che interessano solo gli strati superficiali di un elemento architettonico. In base a queste considerazioni, si è scelto di riportare tutto il quadro fessurativo sia sugli elementi verticali (murature), sia sugli elementi orizzontali (solai e volte) e inoltre il posizionamento dei tiranti presenti.

Dalla documentazione a nostra disposizione, una volta individuate le informazioni per noi importanti, si è proceduto alla fase operativa di creazione di script che realizzassero il trasferimento delle informazioni necessarie all'interno del software di modellazione BIM. Una schematizzazione di questo procedimento può essere così riassunta: lettura dei file CAD, contenenti il rilievo del degrado; posizionamento dei file nell'ambiente di modellazione 3D, tramite rototraslazione e scala del sistema di coordinate; proiezione degli elementi bidimensionali (fessurazioni) sugli oggetti architettonici virtuali; creazione di elementi solidi, inseriti in una precisa struttura relazionale.

La modellazione delle lesioni nell'ambiente virtuale ha permesso dunque una mappatura tridimensionale del quadro fessurativo, conferendo: una determinata posizione ad ogni oggetto (lesione); proprietà, come ad esempio il tipo di fessura, lo spessore, la fase temporale di comparsa, ecc.; appartenenza a un oggetto "ospite", in modo tale che si instauri una mutua relazione fra le fessure e l'elemento architettonico (muro/solaio/volta) sul quale sono state proiettate.

Un particolare processo di creazione ha interessato le

fessure definite passanti. Tali elementi, sono stati digitalizzati utilizzando superfici che attraversano l'intera sezione dell'elemento strutturale. Lo script infatti realizza delle superfici fra il profilo interno ed esterno di una fessura mediante processo geometrico *loft*. Questo genera sia un simbolo di rappresentazione che connota le fessure più gravi, sia fornisce dati utili - come ad esempio la profondità della fessura - che determinano il grado di pericolosità. Allo stesso modo si è proceduto nei confronti degli elementi tiranti esistenti, ricavati anch'essi dal rilievo e trasferiti nell'ambiente 3D.

Questo processo ha permesso di realizzare quella rete semantica di informazioni fondamentale per la prassi del BIM, che possiamo quindi organizzare in: creazione di veri e propri oggetti digitali per la realizzazione di un sistema di database, che potendo essere interrogato, garantisce l'estrapolazione di informazioni necessarie in poco tempo; mappatura delle fessurazioni in un ambiente 3D con una visione completa d'insieme dei danni dell'edificio, in modo tale da permettere l'individuazione delle zone maggiormente colpite e quindi che risultano più vulnerabili.

Infine, un ulteriore aspetto fondamentale del BIM è che garantisce un alto livello di interoperabilità, ciò consente l'esportazione di questi dati verso software di simulazione strutturale. Tali procedure, avendo come base un accurato posizionamento delle lesioni, possono generare risultati più affidabili e di conseguenza fornire indicazioni puntuali sugli interventi da realizzare, determinando una priorità alle zone maggiormente danneggiate. Questo aspetto di interoperabilità ha permesso inoltre l'esportazione dei dati in software di rendering per la creazione di video a fini divulga-

tivi. La struttura semantica dei dati ha permesso di identificare e scegliere solo le informazioni utili allo scopo prefissato. Questi filmati infatti non hanno certo la pretesa di divulgare dati tecnici, difficilmente comprensibili da chi non è addetto ai lavori; hanno lo scopo invece di far comprendere al grande pubblico quali sono i danni che possono essere presenti in edificio di questo tipo, in seguito ad un evento sismico.

La speranza dunque è quella di generare un duplice effetto: sensibilizzare i fruitori della mostra, nei confronti di queste tematiche e stimolare i progettisti verso l'utilizzo di strumenti per la gestione del patrimonio storico sempre più performanti ed efficaci.

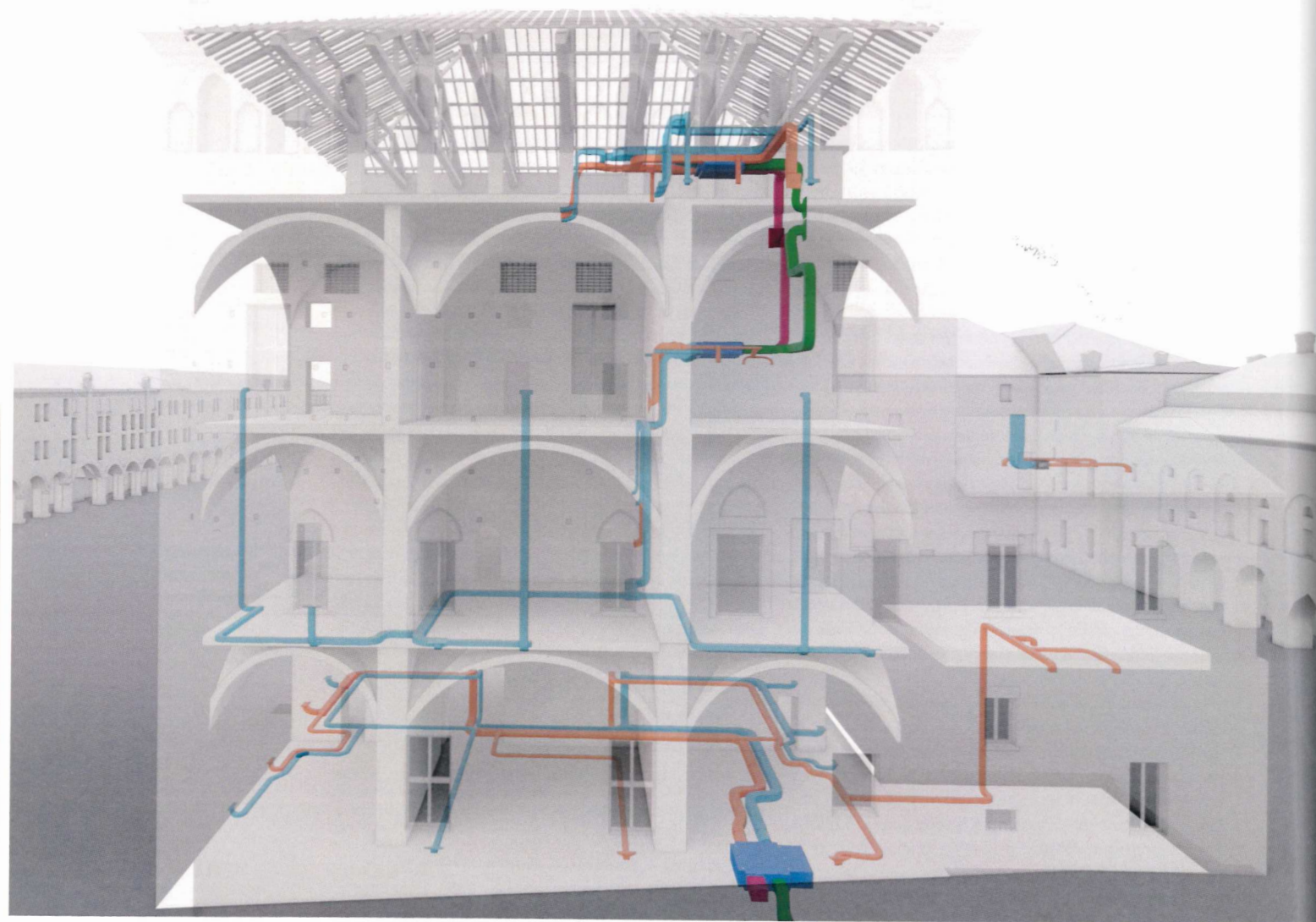
## NOTE

<sup>1</sup> M. Centofanti, S. Brusaporci, P. Maiezza, *Tra "Historical BIM" ed "Heritage BIM": Building Information Modeling per la documentazione dei Beni Architettonici*, in *ReUSO*, a cura di S. Parinello, Firenze 2016, pp. 42-51.

<sup>2</sup> A. Giordano, R. Bernardello, P. Borin, I. Friso, C. Monteleone, F. Panarotto, *Rappresentazione / REPRESENTATION - Le opportunità fornite dai nuovi strumenti digitali - The opportunities of the new digital tools*, in "Paesaggio Urbano", 4, 2018, pp. 50-73.

<sup>3</sup> M.R. Valluzzi, L. Sbrogiò, *Vulnerability of Architectural Heritage in Seismic Areas: Constructive Aspects and Effect of Interventions*, in *Cultural Landscape in Practice. Lecture Notes in Civil Engineering*, a cura di G. Amoroso, R. Salerno, vol. 26, Cham 2019, pp. 203-218.

<sup>4</sup> M. Andreini, A. De Falco, L. Giresini, M. Sassu, *Bull Earthquake Eng Structural damage in the cities of Reggiolo and Carpi after the earthquake on May 2012 in Emilia Romagna*, in "Bulletin of Earthquake Engineering", 12, 2014, pp. 2445-2480.



## Il progetto degli impianti, una proposta di visualizzazione tra requisiti e futura realizzazione

Manuela Maggipinto

Un aspetto importante dell'allestimento consiste nel comunicare ai fruitori la cultura progettuale dell'intervento impiantistico, come elemento centrale dell'intero ambito del progetto di restauro del Torrione. Al termine dei lavori, infatti, l'edificio accoglierà spazi espositivi, il centro unico di promozione, l'ufficio di informazione e accoglienza turistica della città e alcune aree per eventi. Per garantire la massima funzionalità degli ambienti e ritrovare le condizioni di comfort ottimale in ognuno di essi, è ineludibile la progettazione di un sistema di impianti efficiente. È utile comprendere come, all'interno di una tendenza acclarata della progettazione contemporanea, esso ricopra anche una considerevole quota nella pianificazione economica degli investimenti necessari per la realizzazione dell'opera. Nel caso della progettazione impiantistica di un edificio di nuova costruzione risulta facile definire i percorsi e la localizzazione degli apparati: la progettazione integrata si limita a un confronto tra le unità coinvolte nella ricerca di soluzioni tecnologiche per le quali è necessario destinare specifici locali per la disposizione di centrali tecnologiche e cavedi necessari per la localizzazione dei vari sistemi<sup>1</sup>.

In un progetto di restauro la scelta della loro collocazione diventa molto più delicata, in quanto è chiaro come questi non debbano compromettere la lettura del valore storico e artistico dell'edificio che servono. Infatti, intervenire su architetture soggette al vincolo di tutela significa mettere mano a un organismo architettonico che è giunto fino a noi con caratteristiche d'uso materiche, energetiche e di significato ormai consolidate ed il progetto deve garantire la conserva-

zione di queste<sup>2</sup>.

L'analisi dei documenti di progetto delle opere impiantistiche a servizio del Torrione ha permesso di ricostruire, attraverso la metodologia BIM, la complessità degli interventi. Questo passaggio ha reso evidente l'intento di evitare di eseguire tracce nella struttura ove non necessario e di rendere l'impianto trasparente all'utente finale, con una ridotta interferenza nella percezione visiva dell'architettura e degli spazi dell'edificio. Infatti, il progetto elaborato all'occorrenza prevede che i tratti impiantistici verticali e orizzontali siano celati, sfruttando intercapedini esistenti o passaggi realizzati a seguito degli interventi di consolidamento strutturale.

Da questi presupposti, si intende porre l'attenzione sulla difficoltà realizzativa del sistema di condizionamento, dimensionato per assicurare all'interno degli ambienti condizioni termoigrometriche adeguate alle diverse funzioni che l'edificio ospiterà. Il controllo della temperatura dei locali principali è gestito tramite un sistema di pannelli radianti a pavimento che agisce sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo. Per favorire la comprensione di questa scelta progettuale, è stato predisposto un video che svela, attraverso un percorso animato, la presenza di tubazioni in cui scorre il fluido termoconvettore; l'impiego dei pannelli radianti che permette l'integrazione con la struttura edilizia, consentendo un utilizzo completo delle aree a disposizione<sup>3</sup>, con impatto visivo nullo; la realizzazione di una nuova centrale termica – atta ad alimentare l'impianto – ubicata al piano interrato, dimensionata e realizzata per alimentare anche gli

Vista del modello degli impianti meccanici

ulteriori impianti esistenti a servizio di altre aree del complesso museale, secondo un principio di intervento continuo sui sistemi impiantistici.

Gli altri parametri che influenzano le condizioni di benessere termoigrometrico sono la purezza dell'aria e il controllo dell'umidità relativa: in base al contenuto di umidità dell'aria interna, infatti, può variare sensibilmente la temperatura percepita dagli utenti. Risulta necessario pertanto l'impianto di ventilazione meccanica che garantisce un efficace ricambio dell'aria e l'asportazione dell'umidità, mantenuta a livelli costanti, in particolar modo durante il periodo invernale che è più soggetto a fenomeni di condensazioni<sup>4</sup>. Per questo, l'elaborato multimediale permette di visualizzare come l'impianto si disponga in modo ergonomico rispetto alla morfologia dell'edificio, mostrandolo al pari di un apparato cardiovascolare. Terminali, bocchette e diffusori sono posti prevalentemente lungo le pareti perimetrali, in corrispondenza delle porte, installati a pavimento, oppure incassati nelle nicchie di alloggiamento delle finestre. Si aggiunge alle precedenti anche un'ulteriore soluzione, adottata al piano terzo, con disposizione di bocchette dislocate sulle pareti che racchiudono le predisposizioni impiantistiche delle cucine della nuova area per eventi. I canali d'aria, dimensionati in base al volume e all'uso di ogni ambiente, presentano sezioni considerevoli. Una riduzione dimensionale, a parità di portata, comporterebbe un aumento della velocità del fluido e perdite di pressione, e di conseguenza un aumento dell'energia elettrica da fornire al ventilatore e del rumore dovuto al passaggio dell'aria<sup>5</sup>. I condotti meccanici vengono disposti al di sotto del piano di calpestio, grazie alla

sopraelevazione della pavimentazione rispetto alla quota attuale.

Il video evidenzia i percorsi seguiti dai condotti “venosi”, in arancione, e dai condotti “arteriosi”, in azzurro, fortemente condizionati dalla necessità di non intaccare, con la creazione di nuovi cavedi, tanto le pareti affrescate, quanto i sistemi voltati. È necessario quindi sfruttare intercapedini e colonne di distribuzione interpiano esistenti nell'edificio, tali da permettere il collegamento dei terminali alle unità di trattamento d'aria posizionati in tre aree “ventricolari” del torrione: una al piano interrato, dedicata al ricambio d'aria del piano terra; una al secondo piano, per assicurare la ventilazione delle sale espositive centrali; l'ultima componente al terzo livello garantirà gli scambi d'aria relativi alla zona per eventi.

La rappresentazione di questi sistemi impiantistici è stata trasferita dalle tavole tecniche al modello architettonico digitale tramite una modellazione BIM. Digitalizzare le scelte progettuali ha permesso la piena comprensione delle logiche di intervento e la loro verifica<sup>6</sup>. La visione d'insieme del sistema edificio-impianti ha favorito la valutazione della coerenza spaziale delle reti impiantistiche all'interno della costruzione, evitando gli errori più comuni come le collisioni tra le linee di impianto e le strutture esistenti. Particolarmente delicata, ad esempio, si è presentata la collocazione dell'unità di trattamento d'aria nella fitta maglia di travi a sostegno della copertura, risolta come un gioco di incastri tra i condotti di grandi dimensioni e gli elementi lignei delle capriate storiche.

## NOTE

<sup>1</sup> G. Dall'O, *Architettura e impianti. Guida all'integrazione degli impianti tecnici degli edifici*, Milano 2018.

<sup>2</sup> D.L. 22 gennaio 2004, n. 42 in materia di “Codice dei beni culturali e del paesaggio”.

<sup>3</sup> Dall'O, *Architettura e impianti* cit.

<sup>4</sup> P. Basso, A. Dian, *Quaderni del piano territoriale. Linee guida per una progettazione energeticamente e ambientalmente sostenibile*, Padova 2007.

<sup>5</sup> Dall'O, *Architettura e impianti* cit.