

Nuove strategie per la gestione dei complessi museali storici: l'esperienza dell'HBIM nella Galleria dell'Accademia di Firenze

Silvia MONCHETTI, Michele BETTI, Claudio BORRI, Vladimir CERISANO KOVACEVIC, Grazia TUCCI, Claudia GEROLA, Carlotta MATTA, Barbara FRANCALANCI, Lidia FIORINI, Alessandro CONTI

SOMMARIO

Lo sviluppo della metodologia HBIM offre un'interessante sfida per la creazione di un efficace supporto nella gestione e nella conservazione del patrimonio costruito, stimolando la definizione di modelli digitali aggiornati e interconnessi. In questo articolo si evidenzia come questo strumento possa essere efficacemente utilizzato per le attività di gestione e manutenzione di un complesso museale di interesse internazionale: la Galleria dell'Accademia di Firenze.

ABSTRACT

The development of HBIM methodology offers an interesting challenge for the creation of effective support in the management and conservation of the built heritage through the definition of updated and interconnected digital models. This article highlights how this tool can be effectively used for the management and maintenance activities of a museum complex of international interest: the Galleria dell'Accademia di Firenze.

INTRODUZIONE

La *conservazione* del patrimonio culturale non può prescindere dalla sua *conoscenza*. Questo legame inscindibile tra conservazione e conoscenza si estrinseca non solo in ambito strutturale e architettonico, ma anche nell'ambito impiantistico e gestionale. Con *patrimonio culturale* si sottintende, infatti, un'ampia varietà tipologica di strutture (tra cui chiese, palazzi e aggregati urbani) che accoglie, al suo interno, attività diverse (tra cui, luoghi di culto, complessi museali e uffici pubblici). Le fonti di informazione necessarie a caratterizzare compiutamente i sistemi di attività all'interno di strutture storiche sono dunque molteplici e coinvolgono diversi aspetti. Da un punto di vista strutturale e architettonico sono necessari lo studio delle fasi costruttive e dei principali interventi di ristrutturazione, l'identificazione dell'organismo resistente e la caratterizzazione materica (attraverso l'acquisizione di dati sperimentali di diversa natura). Da un punto di vista impiantistico e gestionale sono invece necessari, ad esempio, lo studio delle attività antropiche, la definizione delle prestazioni attese dagli impianti e l'adempimento delle condizioni di sicurezza. La gestione di questa complessa rete di informazioni richiede una modellazione efficace, in grado di archiviare diversificate tipologie di dato utilizzando un modello parametrico 3D. In questo contesto, la modellazione BIM (Building Information Modelling) si propone come soluzione operativa a supporto delle attività di manutenzione e conservazione programmata. La sua diffusione nel campo delle nuove costruzioni e degli edifici esistenti ordi-

nari è ormai consolidata, mentre l'applicazione al patrimonio culturale è in pieno sviluppo. La letteratura scientifica propone, infatti, interessanti casi studio che, oltre a sottolineare l'ampia varietà tipologica del patrimonio costruito, pongono le basi per lo sviluppo di una metodologia comune facendo emergere interessanti opportunità di sviluppo. Tra queste ricerche, oltre a quelle discusse in questa monografia, si possono ricordare gli studi di Biagini et al. (2016), Biagini et al. (2022), Bruno e Roncella (2019), Cardinali et al. (2023), Celli and Ottoni (2021), De Falco et al. (2022), Mora et al. (2021), Banti et al. (2022), Moyano et al. (2022). Attualmente, i principali sviluppi di ricerca possono essere riassunti nei seguenti due aspetti. Il primo, trasversale a tutti gli ambiti di utilizzo della modellazione HBIM, riguarda l'organizzazione del database relativo alle informazioni non geometriche. Il secondo aspetto è invece relativo alla salvaguardia strutturale e architettonica dell'edificio e riguarda il passaggio delle informazioni dalla modellazione HBIM alla modellazione computazionale (tipicamente affrontata con modelli agli elementi finiti). Entrambi questi aspetti pongono l'accento sull'importanza di sviluppare modelli costantemente aggiornati al fine di garantire una valutazione affidabile dei risultati. La ricerca qui presentata sfrutta un caso studio rappresentativo - la *Galleria dell'Accademia di Firenze* - per arricchire lo stato dell'arte in termini di digitalizzazione e conservazione del patrimonio culturale e fornire alcuni spunti di riflessione sulla gestione dell'interazione *contenuto-contenitore*: dallo sviluppo di un'interfaccia grafica specifica per il patrimonio costruito alla possibilità di archiviazione e gestione

dei dati derivanti da sistemi di monitoraggio strutturale, fino all'integrazione di modelli ad elementi finiti per analisi strutturali. L'obiettivo è, in sintesi, la progettazione di un archivio digitale in grado di raccogliere e gestire le diverse informazioni relative sia al *contenitore* (la struttura, cioè, del complesso museale) che al *contenuto* (le opere d'arte custodite) e renderle fruibili in una rete di modelli tridimensionali integrati. I risultati riportati in questa memoria sono stati sviluppati durante il progetto di ricerca DAVID, acronimo di "Defense of cultural heritage and Assessment of Vulnerability through Innovative technologies and Devices". Il progetto, di durata biennale (2020-2022), è stato co-finanziato dalla Regione Toscana e dalla Galleria dell'Accademia di Firenze nell'ambito del programma UNIFI_FSE2019, "Assegni di Ricerca in ambito culturale".

IL COMPLESSO MUSEALE DELLA GALLERIA DELL'ACCADEMIA DI FIRENZE

La Galleria dell'Accademia di Firenze (Figura 1) si sviluppa in un aggregato urbano che, nel tempo, si è evoluto e fortemente trasformato (Figura 2, Figura 3). Le strutture che oggi accolgono la Galleria dell'Accademia di Firenze risalgono, in parte, al XIV secolo. È in questo periodo, precisamente tra il 1385 e il 1410, che viene realizzato un nuovo grande complesso architettonico; sede, fino alla metà del XVIII secolo, dell'Ospedale di San Matteo e del monastero di San Niccolò in Cafaggio. La destinazione d'uso di questi locali cambia a partire dal 1784 quando vengono proposti i progetti per la trasformazione dell'ex ospedale di San Matteo in *Accademia delle Belle Arti* e dell'ex monastero di San Niccolò in Cafaggio in *Accademia e luogo di adunanze invernali*. Nei documenti d'archivio, resi noti in Mignani (2010), si inizia a parlare della Galleria dell'Accademia di Firenze (così come la intendiamo oggi) a partire dal 1872 quando il complesso museale viene scelto come nuova sede espositiva del David di Michelangelo. Nello stesso anno, l'Arch. Emilio De Fabris presenta il progetto di ampliamento della Galleria dell'Accademia con una struttura di nuova costruzione – la Tribuna del David – che, innestandosi sull'impianto strutturale esistente, è destinata ad accogliere l'opera michelangelesca. Con la costruzione della Tribuna del David si procede anche alla realizzazione del corridoio di collegamento tra l'allora *Galleria delle Statue* (l'attuale Gipsoteca) e l'allora *Galleria dei Quadri antichi* (l'attuale Galleria dei Prigioni). Nel 1880 i lavori strutturali alla Tribuna del David sono terminati ma si devono attendere i cinque anni successivi per la costruzione delle ultime tre sale, le attuali Sale Bizantine che completano la moderna configurazione strutturale del complesso museale.



Figura 1. Sviluppo planimetrico attuale della Galleria dell'Accademia di Firenze, ortofoto (@GECO UNIFI)

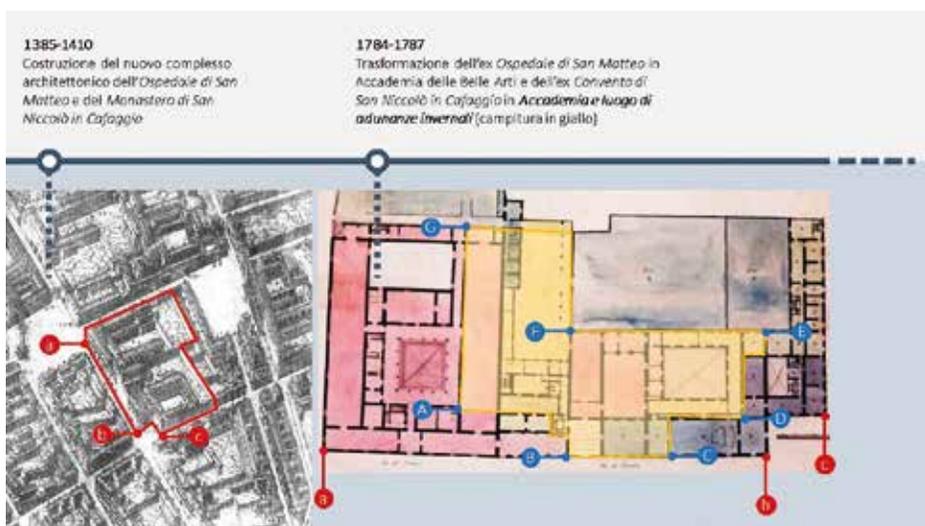


Figura 2. Timeline della Galleria dell'Accademia di Firenze (Immagini da Mignani (2010))

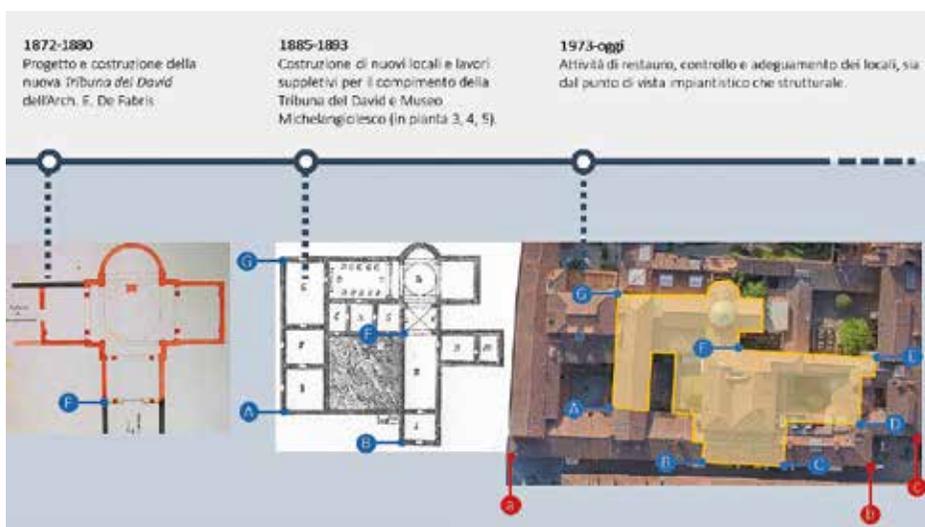


Figura 3. Timeline della Galleria dell'Accademia di Firenze (Immagini da Mignani (2010))

■ Nuove strategie per la gestione dei complessi museali storici: l'esperienza dell'HBIM nella Galleria dell'Accademia di Firenze

La timeline riportata nella **Figura 2** e nella **Figura 3** riassume l'evoluzione planimetrica della Galleria dell'Accademia di Firenze (tag celesti) e del costruito limitrofo (tag rossi).

Com'è anche deducibile da questa breve introduzione, l'evoluzione strutturale e architettonica della Galleria dell'Accademia è stata fortemente dinamica e continua ancora oggi ad integrare attività di restauro, di controllo e di adeguamento dei locali per rendere strutture e impianti idonei a rispondere alle moderne esigenze legate alla fruizione, alla protezione e alla conservazione di un importante complesso museale storico, il quarto più visitato in Italia (Giorgianni, 2018).

Si sottolinea, tuttavia, che la configurazione strutturale e impiantistica non è, tuttavia, l'unico aspetto mutevole della storia del complesso museale. Al momento della sua fondazione, ad opera del granduca Pietro Leopoldo di Lorena, la funzione del museo era quella di raccogliere collezioni visitabili dagli studenti d'arte per ricerca ed ispirazione. Il museo si è poi arricchito e trasformato divenendo sede di alcune tra le più importanti collezioni di pittura e scultura al mondo e ospitando gli strumenti musicali dei granduchi Medici e Lorena, provenienti dalle collezioni

del Conservatorio Luigi Cherubini di Firenze. Questo processo di trasformazione e arricchimento è scaturito dall'evento che, più di tutti, ha segnato la storia del museo: il trasferimento del David di Michelangelo da Piazza della Signoria nell'agosto 1873. Negli anni successivi viene infatti ideato il progetto di *museo michelangiotesco* (come si legge nelle lettere dell'Arch. E. De Fabris [Mignani (2010)]) trasferendo, tra il 1906 e il 1909, gli originali dei quattro Prigioni (dalla grotta del Buontalenti in Boboli), di San Matteo (dall'Accademia delle Belle Arti) e della Pietà di Palestrina (dalla Chiesa di Santa Rosalia a Palestrina). Ad oggi, il complesso museale della Galleria dell'Accademia si compone di quattro aree funzionali principali, come illustrato in **Figura 4**: esposizioni permanenti, esposizioni temporanee, aree di ingresso e uscita, uffici e locali tecnici.

IL MODELLO HBIM

Ogni museo si compone di elementi distinti ma fortemente connessi: il contenitore, la struttura cioè che ne delimita gli ambienti espositivi e, in generale, gli ambienti di lavoro; il contenuto, cioè le opere esposte; e gli utenti che interagiscono con contenitore e contenuto tra cui, visitatori, personale dipendente e tecnici. L'interoperabilità tra questi elementi fa emergere necessità specifiche, proprie della gestione di un complesso museale: (i) conoscenza e valutazione della sicurezza del contenitore, (ii) conoscenza e valutazione della sicurezza del contenuto, (iii) monitoraggio delle condizioni ambientali idonee per la conservazione delle opere d'arte, (iv) progettazione degli spazi espositivi e dei percorsi dei visitatori, (v) gestione e manutenzione degli impianti. Tutti questi aspetti sottolineano l'importanza di sviluppare approcci integrati che consentano, con l'uso dei moderni strumenti tecnologici, di gestire la rete di informazioni, di documenti e di analisi in un unico modello 3D accessibile ed editabile dalle diverse tipologie di utenze abilitate (tecnici, dipendenti, visitatori). In questo contesto, la modellazione HBIM si propone come soluzione per rispondere a queste specifiche esigenze e la Galleria dell'Accademia di Firenze ne rappresenta un importante banco di prova. La sfida, raccolta dal progetto DAVID e sintetizzata in **Figura 5**, è creare un modello informativo che supporti tecnici ed operatori non solo nella fase di acquisizione e organizzazione dei dati ma anche nella messa a punto di modelli computazionali strutturali al fine di restituire una valutazione robusta della vulnerabilità statica e sismica della struttura. Come mostrato in **Figura 6**, è interessante notare come lo sviluppo del modello HBIM segua un percorso inverso rispetto alla modellazione BIM di una nuova costruzione. Il punto di partenza è infatti il caso studio reale, l'edificio che si intende analizzare. Su questo si procede all'acquisizione delle informazioni

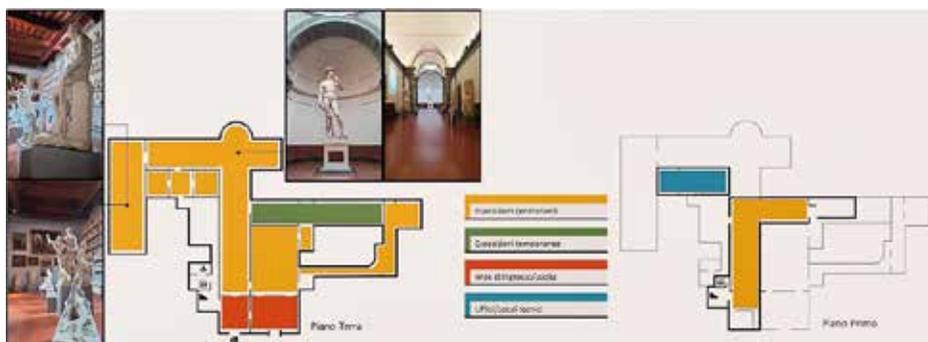


Figura 4. Aree Funzionali della Galleria dell'Accademia di Firenze

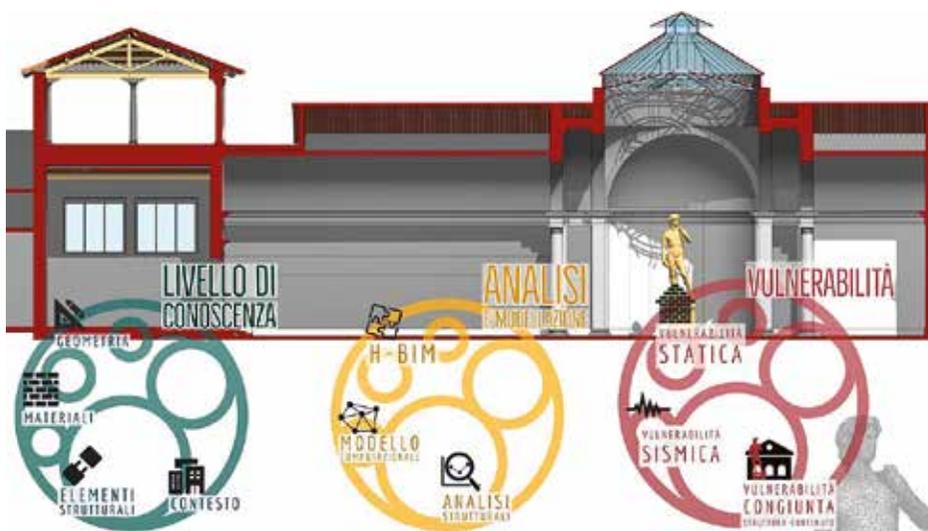


Figura 5. Obiettivi Operativi del progetto DAVID

(geometriche, materiche, costruttive), all'elaborazione dei dati e allo sviluppo di una classificazione semantica degli elementi identificativi dell'edificio stesso. Il modello HBIM diventa dunque il database di riferimento per lo sviluppo di elaborati, di analisi e per la definizione delle performance attese.

Lo studio della Galleria dell'Accademia ha riguardato l'intera area del complesso museale di Firenze; questa si sviluppa su due piani fuori terra e un piano interrato per una superficie totale di oltre 3000 m². La costruzione del modello HBIM ha coinvolto l'uso dei software Autodesk Revit e Autodesk Autocad (Figura 7), sfruttando la nuvola di punti tridimensionale ottenuta dal rilievo laser scanner realizzato dal laboratorio GECO dell'Università degli studi di Firenze. Il processo di acquisizione delle informazioni è stato poi completato con l'individuazione delle fasi costruttive (attraverso il reperimento dei documenti d'archivio, Mignani (2010)) e la catalogazione delle prove sperimentali eseguite nel corso del tempo. L'elaborazione di questi dati, insieme all'identificazione delle necessità proprie della gestione di un complesso museale, hanno permesso di identificare una specifica classificazione semantica articolata su due livelli principali (Figura 8): livello locale e livello oggetto.

Definiscono il livello locale l'intero edificio, le unità strutturali di cui si compone e le aree funzionali in cui è suddiviso. Nel *livello oggetto* sono invece inclusi gli elementi strutturali, gli elementi architettonici e le opere d'arte. Ognuno di questi elementi ha una propria rappresentazione in Autodesk Revit che concorre alla composizione del modello HBIM tridimensionale. Ad ognuno di questi elementi sono associate informazioni di dettaglio seguendo la struttura riportata in Figura 9. Vengono definiti nuovi parametri progetto collegati alle diverse categorie definite in Autodesk Revit. Questi nuovi parametri sono visualizzati tra le proprietà di ogni elemento (Figura 10) e possono contenere diverse tipologie di dato, ad esempio collegamenti URL, testo, immagini o valori numerici. Se, da un lato, l'inserimento di informazioni testuali (come ad esempio la descrizione delle fasi costruttive di una certa unità strutturale) non ha comportato particolari criticità riuscendo a sfruttare gli strumenti già presenti in Autodesk Revit, l'inserimento delle informazioni relative ai dati sperimentali e all'analisi di uno specifico modello computazionale ha richiesto l'impiego di soluzioni alternative. Queste ultime informazioni, infatti, coinvolgono aspetti che sono tipici delle costruzioni esistenti e su cui la struttura degli attuali software di modellazione BIM necessita ulteriori sviluppi. È stato quindi prioritario analizzare quali potessero essere le strategie ottimali per consentire una gestione efficace di questi dati. La soluzione adottata prevede un collegamento URL ad un database esterno contenente i file e le informazioni necessarie a conoscere compiutamente l'esito



Figura 6. Diagramma di flusso della modellazione BIM

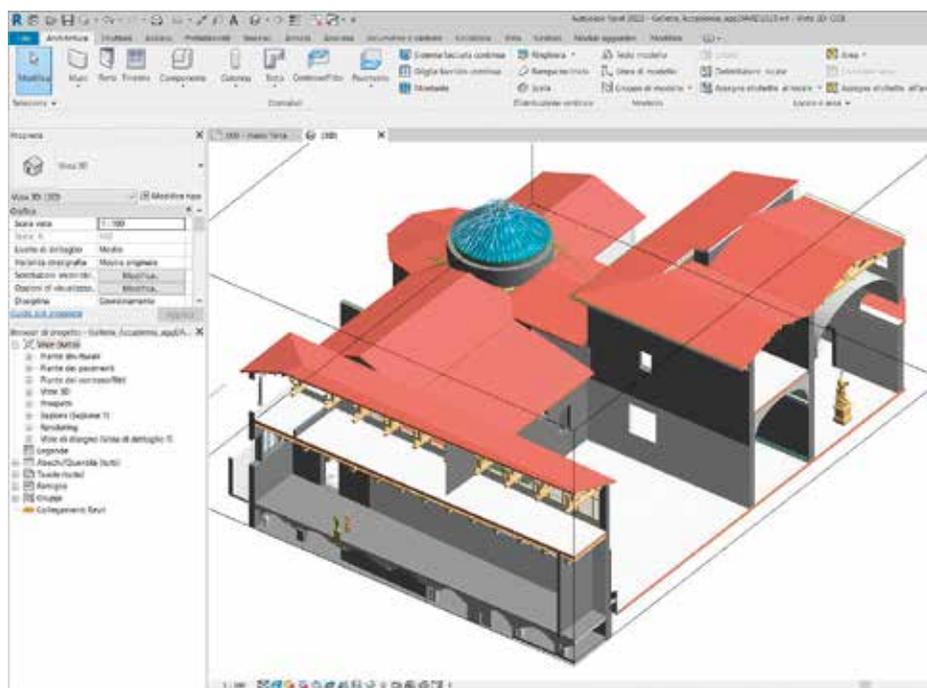


Figura 7. Vista del modello HBIM



Figura 8. Semantica del modello HBIM



Figura 9. Struttura del database del modello HBIM

■ Nuove strategie per la gestione dei complessi museali storici: l'esperienza dell'HBIM nella Galleria dell'Accademia di Firenze

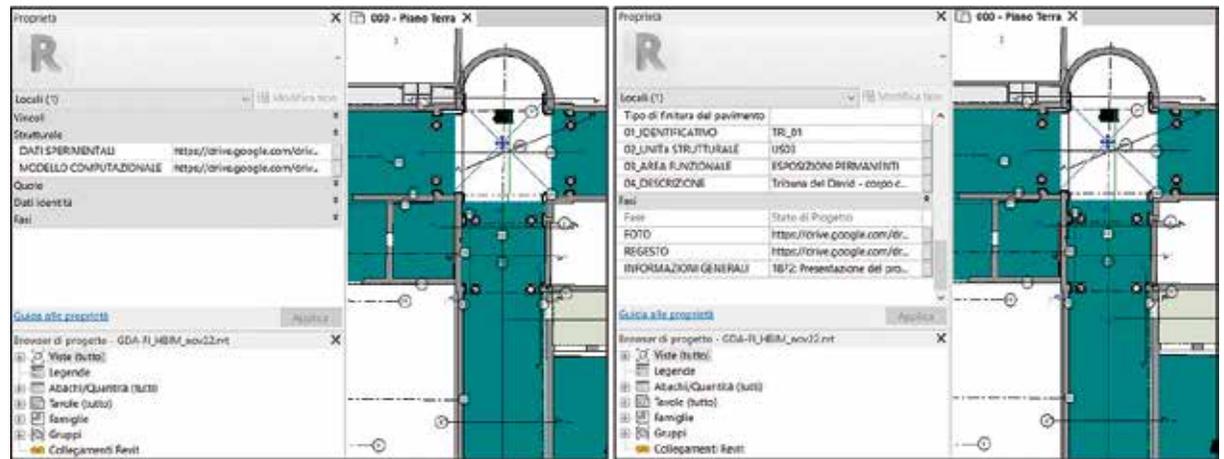


Figura 10. Parametri progetto del corpo centrale della Tribuna del David

di una specifica campagna sperimentale, così come l'accesso ai modelli computazionali e strutturali per la definizione della vulnerabilità statica e sismica. A livello locale il complesso museale della Galleria dell'Accademia di Firenze si compone di tre unità

strutturali ed è organizzato secondo quattro aree funzionali principali. Le unità strutturali sono state identificate grazie all'analisi dell'evoluzione storica e costruttiva della struttura unitamente ai dati sperimentali disponibili, in particolare: la caratterizzazione materica dei paramenti murari e alcune misure di tipo dinamico volte a identificare le frequenze proprie della struttura o porzioni di essa. Le tre unità strutturali identificate possono essere graficamente visualizzate sul modello HBIM ed esportate in ambiente Rhinoceros dove vengono predisposti i file di input per la modellazione computazionale strutturale in Code Aster. A livello oggetto è stato necessario aggiungere le informazioni relative agli elementi strutturali, architettonici e alle opere d'arte. A titolo di esempio, si riporta in Figura 11 e in Figura 12 la caratterizzazione di un paramento murario della Tribuna del David attraverso la definizione di un nuovo materiale all'interno della libreria di Autodesk Revit. In particolare, quando disponibili, sono state inserite le informazioni provenienti dalle indagini sperimentali riportando: la descrizione generale della composizione muraria (Figura 11), le immagini del saggio e la caratterizzazione delle proprietà meccaniche (Figura 12). Grazie alla campagna sperimentale svolta dal gruppo di ricerca del Prof. De Stefano del Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze (De Stefano & Cristofaro, 2020) sui paramenti murari, è stato possibile individuare tre macro-categorie murarie. La prima risale al periodo 1385-1410, si mostra come muratura mista con componenti litoidi ben individuabili con l'inclusione di alcune parti di laterizio pieno. Tale categoria è attribuibile, come evidenziato in Figura 13 alla zona occupata dalla Gipsoteca e dai locali in cui si sviluppa l'Accademia delle Belle Arti. La seconda categoria risale allo stesso periodo della precedente ma si differenzia da questa per una significativa presenza di interventi di adeguamento realizzati tra il 1787 e il 1850. Fanno parte di questa seconda categoria le porzioni di fabbricato originariamente occupate dal

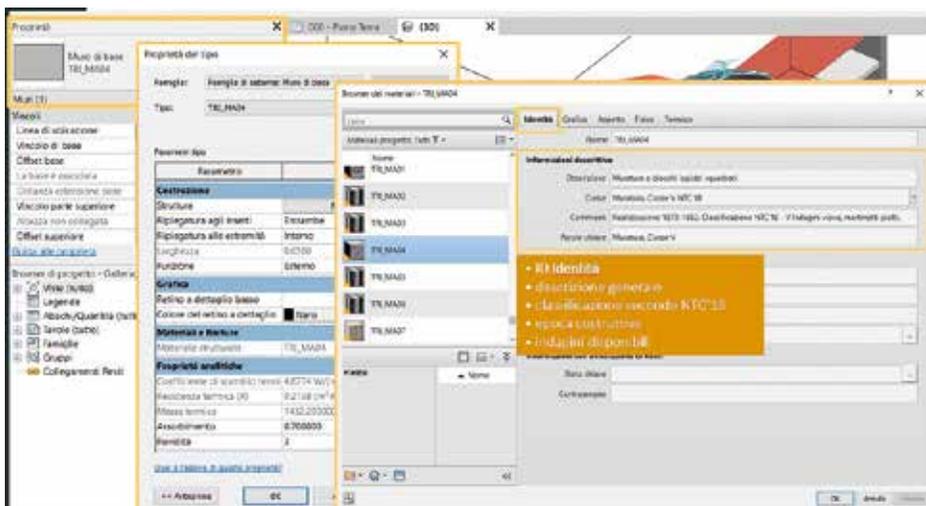


Figura 11. Proprietà del paramento murario

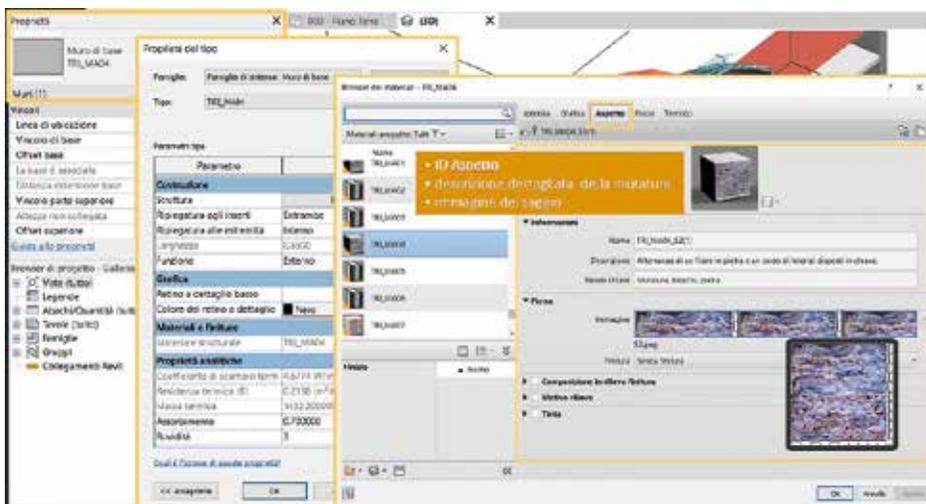


Figura 12. Proprietà del paramento murario

Convento di San Niccolò e oggi destinate alla Galleria dei Prigioni, alla Sala del Colosso e ai locali di ingresso e uscita. L'ultima categoria si compone di una muratura che alterna un filare in pietra a un corso di laterizi disposti in chiave con elementi lapidei squadrati di varia pezzatura. Tale muratura si localizza nella Tribuna del David e nelle Sale Bizantine e risale al periodo 1873-1885. La localizzazione di queste tipologie murarie è visualizzabile all'interno del modello HBIM con l'impostazione di filtri basati sul *nome del tipo*, in questo caso sull'identificativo assegnato alle macro-categorie murarie (Figura 13).

Spostando l'attenzione sull'aspetto che più di tutti caratterizza i complessi museali, vale a dire le opere d'arte, si riporta in Figura 14 l'esempio del David di Michelangelo. Per quest'opera, oltre alle informazioni generali relative alla sua storia e alla sua collocazione all'interno della Tribuna, il *livello oggetto* si compone di altri tre aspetti principali:

- la descrizione dei dati sperimentali disponibili;
- il collegamento al modello computazionale;
- la programmazione delle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria.

Si configura così un processo iterativo per la definizione di modelli aperti interconnessi in cui il flusso di informazioni mira ad essere circolare e aggiornato: dall'acquisizione di nuove informazioni al modello HBIM fino alla definizione di modelli computazionali i cui parametri di input sono tarati sulla base dei dati e delle informazioni contenute nel modello informativo.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E SVILUPPI FUTURI

In questa memoria è stata presentata l'implementazione di un approccio HBIM con l'obiettivo di migliorare i processi legati alla manutenzione, alla conservazione e al restauro dei Beni Culturali. In particolare, utilizzando il caso di studio della Galleria dell'Accademia di Firenze, l'obiettivo principale del lavoro è stato quello di indagare sulla possibilità di fornire uno strumento specifico per organizzare e coordinare la documentazione dell'intero complesso museale: i dati storici sulle fasi di costruzione e restauro, la gestione dei tempi, il coordinamento delle aree funzionali, l'archiviazione delle campagne sperimentali e la definizione dei modelli computazionali. Il sistema implementato è il risultato della collaborazione con l'ufficio tecnico della Galleria dell'Accademia di Firenze al fine di integrare le loro esigenze con le potenzialità della modellazione informativa e computazionale (Figura 15). In particolare, il sistema unisce modelli 3D informativi e computazionali che, pur descrivendo un'astrazione e una semplificazione della realtà, rappresentano un potente strumento per

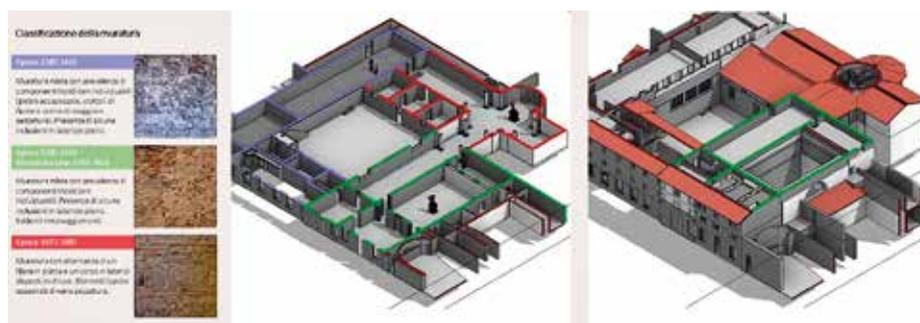


Figura 13. Identificazione delle macro-categorie murarie

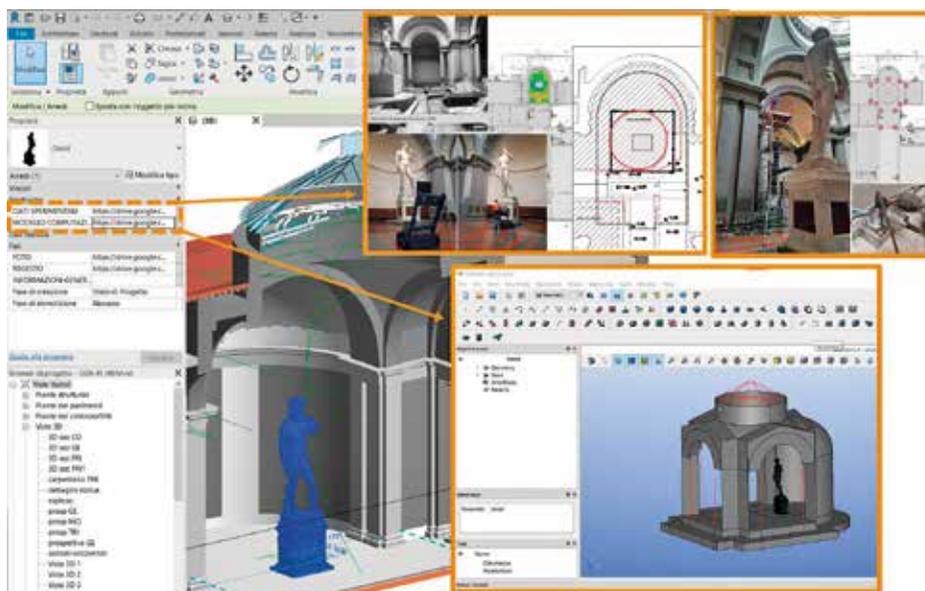


Figura 14. Interconnessione tra modello informativo e modello computazionale

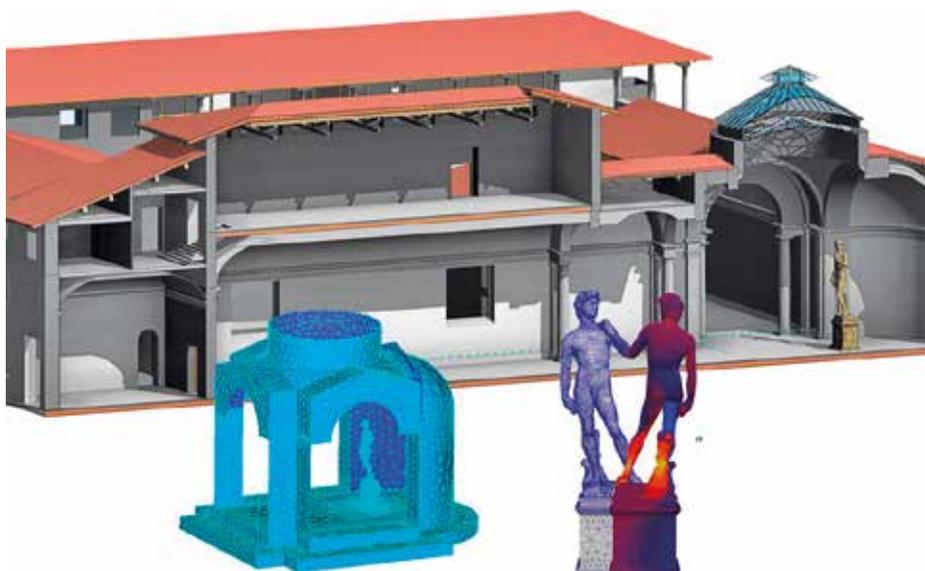


Figura 15. Modelli informativi e computazionali della Galleria dell'Accademia

raccogliere tutte le informazioni e i documenti necessari alla gestione e alla valutazione della sicurezza di un complesso museale storico. I vantaggi nel raccogliere tutte le informazioni di un edificio in un unico modello informativo tridimensionale sono molteplici:

- i dati possono essere progressivamente integrati e aggiornati con ulteriori indagini senza perdere traccia degli interventi passati, durante l'intero ciclo di vita della struttura;
- le informazioni digitalizzate sono direttamente associate allo specifico locale o oggetto (in base alla classificazione semantica) e vengono mostrate nella barra degli strumenti;
- tutti i soggetti coinvolti nelle attività di gestione e conservazione del complesso museale (tecnici, modellatori, restauratori e proprietari/gestori) possono beneficiare della documentazione completa sul bene con un unico punto di accesso e possono sia validare che integrare le informazioni in qualsiasi momento;
- i dati sono organizzati secondo i requisiti specifici del complesso museale per verificare ed estrarre informazioni specifiche dal livello locale a quello dell'oggetto.

Si noti che, la reiterazione di queste attività favorisce la conservazione programmata con l'obiettivo di promuovere la strategia del minimo intervento. Su questa linea, i requisiti normativi stanno spingendo verso la progressiva adozione degli standard BIM rendendo l'uso dei software BIM (sia commerciali che open-source) il riferimento a cui tendere nella gestione di strutture sia nuove che esistenti.

Il sistema implementato è stato testato su un singolo caso di studio che, tuttavia, consente di garantirne la fattibilità anche ad altre tipologie edilizie, data la presenza di un'ampia varietà di caratteristiche in termini di complessità spaziale, tecniche costruttive e relative informazioni nelle tre unità strutturali che lo compongono. La classificazione semantica proposta, dal livello locale (edificio - unità strutturali - aree funzionali) al livello degli oggetti (elementi strutturali - elementi architettonici - opere d'arte), risulta efficace per l'integrazione in altri complessi museali. In particolare, consente di combinare informazioni sull'evoluzione storico-costruttiva degli edifici con informazioni sugli interventi di gestione e manutenzione, nonché con dettagli specifici relativi alle opere d'arte e alla loro interazione con le strutture che le contengono. A ciascuna unità strutturale, tramite collegamento URL, sono associati i modelli computazionali necessari alla valutazione della vulnerabilità statica e sismica della struttura. Questi modelli sono sviluppati a partire dall'ambiente BIM fino alla piattaforma open source Code Aster per la modellazione agli elementi finiti. Si noti che, tra una grande varietà di software agli elementi finiti, la scelta di un codice open source ha avuto lo specifico scopo

di promuovere la collaborazione dei soggetti coinvolti nelle attività di gestione e conservazione della Galleria dell'Accademia di Firenze, fornendo uno strumento fruibile senza il bisogno di specifiche licenze. La procedura consente, da un lato, di utilizzare gli strumenti di sistema già integrati nel software Autodesk Revit per aggiungere informazioni e dati su uno specifico locale o oggetto (ad esempio, epoca di costruzione, lavori di restauro, proprietà meccaniche...) e, dall'altro, fornisce una maggiore flessibilità utilizzando collegamenti esterni per documenti specifici e modelli di calcolo. Questa soluzione garantisce un approccio adattabile per soddisfare gli obiettivi specifici che caratterizzano uno specifico edificio storico. I risultati proposti in questo lavoro pongono le basi per i futuri sviluppi del sistema che, da un punto di vista strutturale, si concentreranno su:

- l'aggiornamento automatico delle proprietà dei materiali degli elementi strutturali dall'HBIM ai modelli computazionali. Attualmente, infatti, l'utente può fare riferimento ai risultati dei dati sperimentali per analizzare criticamente l'input e l'output del modello numerico, ma le eventuali correzioni non sono automatiche;
- l'integrazione dell'HBIM con il sistema di monitoraggio dei dati, sviluppando opportuni plug-in e interfacce per organizzare, memorizzare, analizzare e interrogare facilmente le osservazioni nel tempo. In particolare, l'analisi periodica dei modelli computazionali e la loro integrazione nella modellazione informativa HBIM consentirà di definire la priorità di intervento sulle attività di restauro sia della struttura che delle opere d'arte al suo interno. In questo scenario, la modellazione informativa diventa cruciale nel processo di gestione e conservazione del complesso museale, rappresentando così un riferimento per l'aggiornamento continuo delle diverse fonti di dati necessarie a supportare l'ufficio tecnico nei progetti di gestione e conservazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Biagini, C., Capone, P., Donato, V., Facchini, N. (2016). "Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. Automation in Construction, Vol. 71, pp. 74-96.
- Biagini, C., Bongini, A., Verdiani, G. (2022). From Geospatial Data to HBIM of Romanic Churches in Sardinia: Modelling, Check and Validation. In: Ródenas-López, M.A., Calvo-López, J., Salcedo-Galera, M. (eds) Architectural Graphics. EGA. Springer Series in Design and Innovation, Vol. 22.
- Bruno, N., Roncella, R. (2019). HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling. Remote Sensing, Vol. 11, 1751.
- Cardinali, V. Ciuffreda, A.L., Coli, M., De Stefano, M.,

- Meli, F., Tanganelli, M., Trovatelli, F. (2023). An Oriented H-BIM Approach for the Seismic Assessment of Cultural Heritage Buildings: Palazzo Vecchio in Florence. *Buildings*, Vol. 13(4), 913.
- Celli, S., Ottoni, F. (2023). Managing Information to Improve Conservation: The HBIM of the Wooden Chain of Santa Maria del Fiore. *Sensors*, Vol. 23(10), 4860.
 - De Stefano, M., Cristofaro, M.T. (2020). The Complex of the Galleria dell'Accademia di Firenze: keeping in safety. *Procedia Structural Integrity*, Vol. 29, pp. 71-78.
 - De Falco, A., Gaglio, F., Giuliani, F., Martino, M. (2022). A BIM-Based Model for Heritage Conservation and Structural Diagnostics: The City Walls of Pisa. In: Furferi, R., Governi, L., Volpe, Y., Gherardini, F., Seymour, K. (eds) *The Future of Heritage Science and Technologies*. Florence Heri-Tech 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.
 - Giorgianni, G. (2018). Valutazione del rischio sismico nel complesso della Galleria dell'Accademia di Firenze. *Altralinea*, Firenze.
 - Kovacevic, V.C., Conti, A., Borri, C., Tucci, G., Hollberg, C., Matta, C., Fiorini, L., Betti, M., Pintucchi, B. (2019). An integrated computational approach for heritage monumental museums. In: 7th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, pp. 2878-2892.
 - Mignani, D. (2010). Applicazione della Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/10/2007 per la valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio Culturale – Approfondimento della ricerca storica delle fasi costruttive e dei lavori eseguiti nella Galleria dell'Accademia di Firenze. Ministero per i Beni e le Attività Culturali, 1-46.
 - Mojano J., Carreno E., Nieto-Julian J.E., Gil-Arizon I., Bruno S. (2022) Systematic approach to generate Historical Building Information Modelling (HBIM) in architectural restoration project. *Automation in Construction*, Vol. 143, 104551.
 - Mora, R., Sanchez-Aparicio, L.J., Mate-Gonzalez, M.A., García-Alvare, J., Sanchez-Aparicio, M., Gonzalez-Aguilera, D. (2021). An historical building information modelling approach for the preventive conservation of historical constructions: Application to the Historical Library of Salamanca. *Automation in Construction*, Vol. 121, 103449.
 - Tucci, G., Betti, M., Conti, A., Corongiu, M., Fiorini, L., Matta, C., Kovacevic, V.C., Borri, C., Hollberg, C. (2019). BIM for museums: an integrated approach from the building to the collections. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLIII-2/W11 (2019).
 - Tucci, G., Conti, A., Fiorini, L., Corongiu, M., Valdambrini, N. (2019). M-BIM: a new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze. *Virtual Archaeology Review*, Vol. 10(21), pp. 40-55.
 - Banti, N., Cerisano Kovacevic, V., Betti, M., Biagini, C. (2022). Fonte della fata Morgana: materiali per un'analisi parametrico-strutturale. *Bollettino Ingegneri*, Vol. LXX (3), pp. 9-17.