

A 3D architectural rendering of a building courtyard. The scene features a central black rectangular area containing white text. To the left, there is a set of stairs with a metal railing. To the right, a building with a large arched doorway is visible. The sky is a clear, light blue. The overall style is clean and modern, typical of architectural visualization software.

ALESSANDRA TATA

PROCEDURE  
PER LA  
MODELLAZIONE  
HBIM  
DEL PATRIMONIO  
ARCHITETTONICO

PVBLICA

ISBN: 9788899586348

# PUBLICA

## COMITATO SCIENTIFICO

Marcello Balbo  
Dino Borri  
Paolo Ceccarelli  
Enrico Cicalò  
Enrico Corti  
Nicola Di Battista  
Carolina Di Biase  
Michele Di Sivo  
Domenico D'Orsogna  
Maria Linda Falcidieno  
Francesca Fatta  
Paolo Giandebiaggi  
Elisabette Gola  
Riccardo Gulli  
Emiliano Ilardi  
Francesco Indovina  
Elena Ippoliti  
Giuseppe Las Casas  
Mario Losasso  
Giovanni Maciocco  
Vincenzo Melluso  
Benedetto Meloni  
Domenico Moccia  
Giulio Mondini  
Renato Morganti  
Stefano Moroni  
Stefano Musso  
Zaida Muxi  
Oriol Nel.lo  
Joao Nunes  
Gian Giacomo Ortu  
Giancarlo Paba  
Rossella Salerno  
Enzo Scandurra  
Silvano Tagliagambe

Tutti i testi di PUBLICA sono sottoposti a *double peer review*

PUBLICA  
SHARING KNOWLEDGE



ALESSANDRA TATA

PROCEDURE  
PER LA  
MODELLAZIONE  
HBIM  
DEL PATRIMONIO  
ARCHITETTONICO

PVBLICA

ISBN: 9788899586348

ALESSANDRA TATA  
*PROCEDURE PER LA MODELLAZIONE HBIM  
DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO*

© PUBLICA, Alghero, 2023  
ebook ISBN 978 88 99586 34 8  
Pubblicazione 15 ottobre 2023

PUBLICA  
Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Design  
Università degli Studi di Sassari  
[WWW.PUBLICAPRESS.IT](http://WWW.PUBLICAPRESS.IT)



# Indice

Presentazione di Massimiliano Lo Turco	7
Abstract	11
1. Introduzione	13
2. Il Building Information Modeling	17
2.1 La metodologia BIM	18
2.2 I livelli di sviluppo	21
2.3 Interoperabilità e Standard internazionali	24
2.4 La diffusione del BIM	30
<i>Il BIM nel mondo</i>	30
<i>Il BIM in Europa</i>	34
<i>Il BIM in Italia</i>	39
2.5 Il contesto normativo italiano	41
2.6 Linee avanzate di ricerca e questioni aperte	47
3. L'H-Building Information Modeling	57
3.1 Stato dell'arte	58
3.2 La procedura HBIM	63
3.3 Il livello di sviluppo degli oggetti e il livello di fabbisogno informativo	73
3.4 Trasparenza, affidabilità e coerenza del modello	77
3.5 Specificità nella modellazione dell'apparecchiatura costruttiva storica	82
3.6 Proposta per un nuovo livello informativo: il <i>Level of History</i> (LoH)	86
3.7 Proposta per uno standard sui livelli di trasparenza e reliability	89
3.8 L'HBIM per la gestione e la valorizzazione	92
4. Il Computational Design per l'HBIM	105
4.1 Il Computational Design per l'HBIM	105
4.2 Il Visual Programming Language per le geometrie	107
4.3 Il Visual Programming Language per la documentazione	110
4.4 Il Visual Programming Language per la reliability del modello	113
4.5 Il Visual Programming Language come evoluzione nell'applicazione del BIM al costruito	117

5. La modellazione HBIM di Palazzo Camponeschi	123
5.1 L'edificio e la sua storia	124
5.2 Il rilievo architettonico del Palazzo	130
5.3 La modellazione geometrica	133
5.4 L'arricchimento informativo del modello	142
5.5 Il caso applicativo e possibili sviluppi futuri	147
6. Conclusioni	153
Bibliografia generale	159







# Presentazione

Il lavoro di Alessandra restituisce un'attenta analisi circa le procedure di modellizzazione geometrico-informativa applicata al delicato ambito dei Beni Culturali. L'autrice argomenta con cura le diverse linee di ricerca, i riferimenti normativi e le nuove opportunità operative con pieno spirito critico e con una consapevolezza derivante da chi si è "sporcata le mani", sperimentando processi euristici, sbagliando, riprovando e contribuendo infine a definire quelle che a oggi possono considerarsi le procedure più efficaci per la risoluzione di problemi specifici, scardinando le inerzie di applicativi specificamente progettati per altri scopi.

Alcuni concetti chiave che riassumono efficacemente gli obiettivi del volume sono: conoscenza, documentazione, trasparenza e affidabilità declinati sia sui processi di integrazione dei dati, sia sulla conseguente rappresentazione di essi.

Le prime parti del volume sono necessarie per un preciso inquadramento del tema, a cui fa seguito in modo complementare la descrizione circa la diffusione di tali processi su scala internazionale, per poi proporre un affondo interessante sulla realtà italiana, avvalorando e supportando le riflessioni con dati quantitativi. Ulteriore nota di merito è costituita dalla descrizione dell'apparato legislativo aggiornato che aiuta il lettore a districarsi nella babele degli acronimi, alcuni dei quali normati, altri frutto di prassi consolidate o in fase di affermazione, altri ancora più fantasiosi ma pur utili nel restituire almeno in parte la complessità lessicale e informativa sottesa alle buone pratiche in divenire.

Vi è inoltre un'interessante disamina sulla struttura semantica del formato IFC, tema solitamente trattato a livello puramente teorico (e che ha tolto qualche notte di riposo al sottoscritto, essendo uno dei temi di ricerca a cui faceva riferimento la mia tesi di dottorato di quasi vent'anni fa, motivo per cui sono rimasto particolarmente sensibile all'argomento).

Ma il cuore del volume è sicuramente dal terzo capitolo in avanti che si apre con un'analisi ricca dello stato dell'arte necessaria per capire come porsi nei confronti di altre linee di ricerca complementari alle sperimentazioni di seguito proposte, proponendo inoltre alcune tassonomie utili per ordinare e classificare i ricchi riferimenti bibliografici reperiti.

Vi è poi una sintetica ma rigorosa illustrazione delle tecniche di acquisizione strumentale, inteso quale requisito essenziale per restituire quel *Rilievo Anatomico* di cui si fa menzione nel volume, sempre

valido pur aggiornato nelle pratiche operative, con interessanti osservazioni sulla frammentarietà e tipizzazione della conoscenza dell'apparecchiature costruttiva storica per la successiva esplorazione delle opportunità di digitalizzazione informata. A più riprese si pone l'accento sull'aporia che si viene a creare tra la standardizzazione del processo edilizio, requisito fondamentale dell'approccio BIM e l'unicità del manufatto che caratterizza il patrimonio architettonico, quasi a costituire quel *fil rouge* che accompagna il lettore nella comprensione delle varie esperienze proposte. Dalla lettura del volume traspare chiaramente come l'HBIM non possa essere inteso come mero gemello digitale (*digital twin*) del manufatto reale - non nascendo insieme come naturalmente accade nei parti plurimi - ma piuttosto come strumento euristico per la comprensione e relativa analisi interpretativa.

Anche il capitolo dedicato al *computational design* segue la stessa struttura: dalla precisa ricostruzione dello stato dell'arte della ricerca, alla opportunità di classificare le diverse opportunità fornite dalla programmazione visuale a supporto dell'HBIM: si fa ampio riferimento alla risoluzione degli aspetti di carattere geometrico, alle crescenti necessità di implementazione del database associato ai modelli, alla valutazione quantitativa del livello di accuratezza metrica raggiunto, proponendo flussi di lavoro interoperabili per la consultazione, condivisione e modifica dei dati.

Il quinto capitolo sostanzia quanto descritto nelle parti precedenti, attraverso l'analisi di un caso di studio di particolare interesse storico, con un taglio originale che si concentra sugli aspetti di carattere manutentivo e ragionando anche sulla restituzione delle componenti impiantistiche, denunciando uno dei principali problemi che si affrontano nella costruzione dei modelli *Reality Based*: si restituisce con un buon livello di affidabilità solo cosa si vede; molto spesso il progetto degli impianti è costituito da schemi di unifilari, privi di riferimenti grafici relativi alla seconda e terza dimensione; inoltre molte modifiche vengono apportate (ahimè!) in corso d'opera, senza che gli elaborati ne tengano perfettamente traccia. In quest'ultima parte i tecnicismi non sono più accennati, a dimostrazione della consapevolezza e delle conoscenze maturate dall'autrice durante il periodo di formazione.

In conclusione, mi sento di poter dire che nonostante la collezione di esperienze siano in continuo aumento, anche per un crescente utilizzo alimentato dai dettami normativi che si stanno strutturando, l'utilizzo del BIM nell'ambito dei Beni Culturali è un tema di ricerca estremamente interessante e multidisciplinare, con diverse specificità, flussi di lavoro e pratiche operative tutt'ora aperte ma senz'altro più mature rispetto alla pratica professionale. E questo lavoro ne rappresenta un validissimo esempio.

Non mi resta che augurarvi buona lettura!

*Massimiliano Lo Turco*





# Abstract

The book is dedicated to the study and the deepening of issues related to the knowledge, documentation and representation of architectural heritage through the development, experimentation and validation of HBIM procedures for the creation of customizable parametric models able to respond to the peculiarities of historical buildings, which can therefore be configured as useful tools to testify the historical - architectural values of the assets.

The present work highlights the differences between BIM and HBIM, critically underlying the problems and potential of this procedure, which should not be understood as an extension of the BIM approach to historical buildings but differs from the latter in that founded on a different theoretical and methodological approach. HBIM procedure, in fact, refers primarily to a process of knowledge that starts from the survey, critically analysed and subsequently semantized, and leads to its critical restitution through the HBIM modelling. The model is no longer only an instrument of interpretation and representation, but a critical instrument of analysis and knowledge. Therefore, in order to obtain a scientifically valid modelling, the importance to declare and evaluate the sources on which the interpretative process is based appears evident and renewed. This consideration is amplified by the transition from two-dimensional representation to three-dimensional virtualization, which requires a geometric-dimensional and informative synthesis extended to the entire continuum of the artefact, and by the often incomplete knowledge that characterizes historical building.

The main objective of the research concerns the development of procedures for the creation of HBIM models starting from the cognitive and documentary phase, by defining standards for their construction and validation.

The achievement of these aims was reached also through the experimentation with visual programming tools, which aided to overcome some of the HBIM limits relating to the parameterization of complex elements typical of historical architecture, the expansion of the BIM database, to allow the documentation of the heritage, and the evaluation and declaration of the geometric and informative reliabilities of the models.

Lastly, the proposed procedures and standards are tested and validated through the HBIM modelling of a chosen case study.





# 1. Introduzione

Lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie di modellazione digitale tridimensionale hanno arricchito nel tempo le modalità e i processi di rappresentazione e comunicazione dell'architettura. I modelli non sono solo strumenti di mera visualizzazione geometrica ma sono parte integrante dello stesso processo di analisi. Il modello ha, infatti, una funzione euristica di conoscenza, comprensione, documentazione e comunicazione dei valori dei manufatti. L'impiego di modelli digitali tridimensionali per lo studio dell'architettura rappresenta pertanto un importante strumento di supporto, insieme al rilievo, per una comprensione approfondita e critica degli aspetti geometrici, architettonici, spaziali e costruttivi dell'edificio.

Il processo di realizzazione del modello, pertanto, è passibile di interpretazione e va inteso come una sintesi critica delle informazioni e dei dati disponibili, derivanti dal rilievo architettonico e dall'analisi dei documenti archivistici.

In tale contesto si collocano i processi di Building Information Modeling (BIM), sistemi aperti di rappresentazione mediante la costruzione di modelli grafici semanticamente definiti, che contemplano la gestione e modellazione informativa a partire dal sistema costruttivo e che affiancano all'aspetto geometrico-dimensionale, quello informativo. Tali processi, nati per il progetto del nuovo, presentano ancora delle criticità nell'applicazione all'architettura storica, dovute alle specifiche esigenze e caratteristiche del patrimonio costruito, alquanto distanti da quelle proprie delle nuove costruzioni, che richiedono pertanto particolari riflessioni.

Nonostante le questioni ancora aperte, l'applicazione dei processi BIM all'edificato storico, denominata Historic o Heritage Building Information Modeling, rappresenta oggi un'opportunità per la documentazione, lo studio, la salvaguardia e la valorizzazione degli edifici storici e delle loro caratteristiche, derivante dalle potenzialità che conseguono dal suo utilizzo per il controllo e l'organizzazione delle informazioni all'interno di un sistema flessibile e strutturato, gestito in uno spazio grafico tridimensionale.

L'H-BIM, inoltre, si pone come strumento utile per rispondere alla crescente richiesta e necessità di documentare in modo oggettivo e trasparente i manufatti esistenti, al fine di pervenire a un quadro conoscitivo completo che consenta di identificare e programmare gli interventi necessari per conservare e mantenere efficiente il manufatto durante la fase di uso dello stesso. A conferma di questi aspetti

il ruolo sempre più importante di tale metodologia nel settore delle costruzioni è testimoniato dalle numerose normative Europee e Italiane che sono state rilasciate negli anni.

In particolare, a livello nazionale bisogna tenere in considerazione anche l'introduzione della progressiva obbligatorietà del BIM nel settore degli appalti pubblici, introdotta prima dal D.M. 560 del 2016, e successivamente modificata dal D.M. 312 del 2021, che rende tale procedura inevitabile anche nell'ambito del patrimonio costruito.

Il volume è dedicato allo studio e all'approfondimento di tematiche inerenti alla conoscenza, alla documentazione e alla rappresentazione del patrimonio architettonico mediante la messa a punto, la sperimentazione e la validazione di procedure HBIM per la realizzazione di modelli parametrici personalizzabili in grado di rispondere alle peculiarità del costruito storico, che possano pertanto configurarsi come strumenti utili per testimoniare i valori storico – architettonici dei manufatti.

Il presente studio approfondisce le differenze tra la procedura BIM e quella HBIM, e analizza le criticità e le potenzialità del BIM applicato al patrimonio architettonico, con particolare riferimento alle opportunità offerte dalla possibilità di gestire in modo dinamico ed organizzato tutte le informazioni e i documenti inerenti alla conoscenza e alla documentazione dei beni architettonici all'interno di un'unica piattaforma interoperabile.

L'HBIM consiste in un processo basato su un differente approccio teorico-metodologico rispetto a quello BIM, fondato su un percorso critico di analisi e conoscenza, radicato sulle tematiche del rilievo architettonico, in cui il processo di modellazione, incentrato sulle peculiarità e sulle specifiche esigenze del patrimonio, costituisce l'atto critico di interpretazione e restituzione.

L'edificato storico, infatti, è caratterizzato da processi artigianali, che congiuntamente ai profondi eventi di modificazione che si sono succeduti negli anni, e ai complessi fenomeni di degrado, danno e deformazione, rendono il manufatto unico e peculiare, difficilmente riconducibile alla logica standardizzata del BIM. A tali tematiche si aggiungono gli aspetti riguardanti la conoscenza, che negli edifici storici deriva da una grande quantità di informazioni e documenti di varia natura, provenienti da fonti eterogenee, dirette o indirette, e risulta spesso incompleta, anche al termine del processo conoscitivo.

Tale tematica rinnova, inoltre, l'importanza della trasparenza e dell'affidabilità del processo di interpretazione e rappresentazione, intese nel duplice aspetto geometrico e informativo, centrali per garantire il fondamento scientifico dei modelli HBIM.

Il fine principale del volume riguarda la messa a punto di procedure HBIM per la realizzazione di modelli interpretativi parametrici personalizzabili del patrimonio architettonico, partendo dalla fase conoscitiva e documentale, mediante la definizione di standard e *best practice*.

Il raggiungimento di tali obiettivi è stato realizzato anche tramite la sperimentazione con strumenti di programmazione visuale, al fine di superare alcuni dei limiti dell'HBIM relativi alla modellazione e parametrizzazione di elementi complessi tipici dell'architettura storica (quali ad esempio cornici e volte), all'ampliamento del database BIM

per consentire la documentazione del patrimonio costruito, e alla valutazione dell'affidabilità dei modelli direttamente in ambiente BIM. Le procedure proposte sono poi state sperimentate e validate mediante la realizzazione del modello HBIM del caso studio scelto.

Il lavoro che segue si colloca nell'ambito del settore disciplinare del rilievo, strumento fondamentale di conoscenza critica, e delle procedure e tecniche della rappresentazione dell'architettura, intesa come strumento di analisi, studio, documentazione, comunicazione e valorizzazione del patrimonio costruito.

Il volume è articolato in un totale di sei capitoli che, a partire dallo studio dello stato dell'arte degli strumenti e delle procedure esistenti oggi per la creazione e l'informatizzazione di modelli complessi, conducono alla sperimentazione tramite lo studio e lo sviluppo di un caso studio, al fine di definire delle procedure per la traduzione dei dati acquisiti nella fase di rilievo, in modelli HBIM che tengano in considerazione le singolarità del costruito storico.

Il primo capitolo tratta la nascita, lo sviluppo e l'utilizzo della metodologia BIM da un punto di vista generale, approfondendo il grado di adozione e diffusione del BIM nel mondo, in Europa e in Italia, e gli standard internazionali, e analizzando nel dettaglio il contesto normativo nazionale.

Il secondo capitolo è incentrato sull'applicazione della procedura BIM al costruito storico e in particolare, in seguito a uno studio dettagliato dello stato dell'arte, evidenzia le differenze tra BIM e HBIM, mettendo in luce in modo critico le problematiche e le potenzialità dell'Historic BIM, che non costituisce un'estensione dell'approccio BIM al costruito, ma differisce da quest'ultimo in quanto fondato su un differente approccio teorico-metodologico.

Infine, all'interno del capitolo si approfondiscono le principali linee di ricerca e sperimentazioni presenti in letteratura che hanno come fine quello di superare alcune criticità dell'HBIM, e si introducono due nuove proposte operative con l'intento di proporre delle soluzioni ad alcune delle criticità ancora aperte dell'HBIM.

Il terzo capitolo è dedicato alle tecniche di computational design, e in particolare di programmazione visuale, per il superamento di alcuni dei limiti dei software BIM, i quali, nati per le nuove costruzioni presentano ancora numerosi vincoli riguardo al loro utilizzo per il patrimonio architettonico.

Il quarto capitolo, tratta l'applicazione di quanto approfondito in precedenza alla realizzazione del modello HBIM del caso studio scelto, costituito da Palazzo Camponeschi, oggi sede del Rettorato dell'Università dell'Aquila, edificio di particolare interesse per le indiscutibili caratteristiche storiche e architettoniche e per la sua complessità, derivante in parte dagli importanti processi di stratificazione avvenuti nel tempo (l'ultimo dei quali costituito dall'intervento di ripristino dei danni a seguito del sisma del 6 aprile 2009 che ha colpito la città dell'Aquila, terminato nel 2016).

Dopo un approfondimento sull'edificio e la sua storia vengono descritte le fasi e le tecniche adottate per la realizzazione del modello HBIM del Palazzo, con database dedicato.

Dal punto di vista metodologico il capitolo segue le fasi della procedura HBIM identificate in precedenza, quali le ricerche archivistiche documentali e il rilievo, la restituzione mediante costruzione del modello HBIM e il suo arricchimento informativo, realizzato tramite l'ampliamento del database BIM, e tratta la realizzazione di modelli disciplinari con livelli di sviluppo differenti, finalizzati alla creazione di un modello HBIM federato documentale, che possa configurarsi, inoltre, come uno strumento utile, per l'Ateneo, ai fini manutentivi e gestionali del Palazzo.

Il sesto ed ultimo capitolo, infine, contiene le conclusioni tratte dallo svolgimento della ricerca, e presenta delle considerazioni critiche relative all'utilizzo del BIM per il costruito storico.

## 2. Il Building Information Modeling

Il settore delle costruzioni richiede la gestione di processi complessi, caratterizzati da un'elevata quantità di informazioni, ed il coinvolgimento di differenti figure professionali. Tali processi sono in molti casi frammentari, tradizionalmente basati su documenti cartacei o digitali non strutturati, con il conseguente pericolo di omissioni, incoerenze o errori.

La tradizionale pratica professionale, inoltre, non favorisce la collaborazione e la comunicazione e fa sì che la fase di progettazione sia contraddistinta da una ridondanza di informazioni e da una dispersione dei dati tra i diversi attori del processo. I problemi legati a questa progettazione di tipo tradizionale rendono i processi poco efficaci, caratterizzati da inefficienze, imprevisti, ritardi e da un conseguente incremento dei costi<sup>1</sup>.

La digitalizzazione del settore delle costruzioni è un fenomeno in continua espansione, nato per sopperire alla frammentarietà tipica della progettazione tradizionale.

Il *Building Information Modeling*, nato per l'architettura ed in particolare per il progetto di edifici di nuova costruzione, si pone come una delle tecnologie e processi capaci di concretizzare questa digitalizzazione.

I primi fondamenti di Building Information Modeling sono stati definiti nel 1974 con l'introduzione da parte di Charles Eastman e altri autori, del *Building Description System* (BDS), che costituisce il primo sistema informativo descrittivo dell'edificio. Il BDS viene definito come un database inerente all'edificio, contenente la descrizione geometrica, spaziale e funzionale, fisica e prestazionale di ogni singolo elemento del manufatto, che sia esso un componente fisico o spaziale. Tali elementi possono essere aggregati per generare un modello dell'edificio completo e possono essere o appartenenti ad una libreria, in caso di componenti industriali o prefabbricate, o disegnabili dall'utente, in caso componenti personalizzate.

Il sistema informativo introdotto e ipotizzato da Eastman si propone di risolvere alcune delle criticità della progettazione tradizionale, mediante la realizzazione di un modello che consenta di gestire le diverse fasi del processo edilizio, di effettuare analisi qualitative e che permetta di estrarre dal modello stesso informazioni e viste di progetto<sup>2</sup>. Tale sistema è stato ulteriormente sviluppato in un articolo pubblicato dallo stesso Eastman l'anno successivo, in cui per la prima volta viene introdotto il concetto di Building Information Model, inteso come la descrizione di un'attività di modellazione informativa degli edifici<sup>3</sup>.

Tale concetto è stato poi ripreso e sviluppato successivamente, e negli anni, a seconda dell'accezione e del significato dato all'acronimo BIM sono stati introdotti e definiti tre "livelli": *Building Information Model*, in riferimento al modello virtuale; *Building Information Modeling*, riferito al processo volto alla realizzazione del modello informativo; *Building Information Management* per la gestione e il controllo di processi, modelli e informazioni durante l'intero ciclo di vita del bene.

Ad oggi all'acronimo BIM è associato il concetto di Building Information Modeling, inteso cioè come procedura che consente un controllo dell'intero processo edilizio, a partire dalla pianificazione, alla progettazione definitiva ed esecutiva, alla costruzione, gestione e manutenzione, fino alla dismissione, mediante la realizzazione e lo scambio di modelli informativi BIM, che costituiscono il fulcro dell'intero processo di collaborazione e integrazione tra le varie figure professionali che prendono parte al progetto<sup>4</sup>.

A differenza del CAD, inteso come strumento di rappresentazione geometrica, in cui il disegno è costituito da vettori e l'associazione di un significato ai segni è data solo dall'interpretazione del disegnatore o, in generale, di chi legge il disegno, il BIM è basato sulla virtualizzazione degli oggetti: gli elementi tridimensionali, infatti, sono costruiti su base semantica e sono arricchiti da attributi informativi che regolano il funzionamento degli stessi e le relazioni con gli altri oggetti presenti all'interno del modello (Pavan et al., 2017). La rappresentazione, quindi, non è più soggetta a interpretazioni successive, ma il software è consapevole degli oggetti utilizzati, del loro ruolo, della loro funzione, delle relazioni e dei vincoli che definiscono il loro comportamento.

## 2.1 La metodologia BIM

Il Building Information Modeling (BIM) è definito dall'US National BIM Standard<sup>5</sup> come una rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un'opera. Come tale si offre come una risorsa conoscitiva condivisa di informazioni che costituiscono una base affidabile per le decisioni da prendere durante il ciclo di vita di un'opera dalla sua fase iniziale in poi.

La metodologia BIM si fonda sul concetto di modellazione object-oriented; il modello è costituito da oggetti parametrici, semanticamente riferibili alle componenti edilizie, arricchiti da tutta una serie di attributi sia geometrici che informativi - materiale, resistenza al fuoco, produttore, costo, ecc. - che permettono di inserire informazioni sia qualitative che quantitative all'interno del modello. Il collegamento diretto di tali informazioni agli elementi tridimensionali avviene attraverso l'utilizzo di parametri. Questi ultimi sono attributi specifici che consentono di informatizzare gli oggetti, di regolarne il comportamento - non solo dal punto di vista geometrico-dimensionale ma anche funzionale, fisico e prestazionale - e di definire e regolamentare le relazioni gerarchiche che intercorrono tra gli stessi.

La modellazione BIM quindi non si limita alla sola restituzione geometrica dello stato di fatto, ma comprende l'informatizzazione degli oggetti attraverso l'utilizzo di parametri strutturati all'interno di database relazionali<sup>6</sup>. L'organizzazione all'interno di questi specifici database rende le informazioni accessibili, permettendo il loro richiamo e ordinamento in numerosi modi differenti, a seconda delle necessità. Il modello diventa un'astrazione virtuale della realtà esistente e futura che racchiude al suo interno tutta una serie di eterogenee informazioni tra loro organizzate, che permettono un controllo sull'intero processo costruttivo di un edificio.

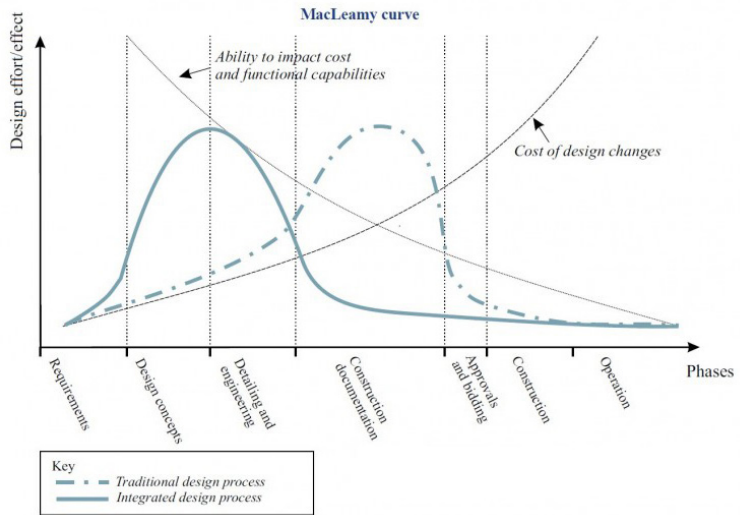
La logica BIM si basa sull'utilizzo di estese librerie parametriche; gli oggetti che ne fanno parte sono standardizzati e dettagliati, definiti da proprietà generiche, caricabili all'interno dei modelli e adattabili alle specifiche esigenze mediante la modifica dei parametri e l'arricchimento con caratteristiche più specifiche. L'utilizzo o la creazione di librerie costituisce uno strumento estremamente utile in ambiente BIM in quanto consente al progettista di usufruire di una selezione di componenti già modellati e caratterizzati, che possono essere riutilizzati in più progetti, permettendo in questo modo di velocizzare il processo di costruzione dei modelli. Questi oggetti, che siano essi presi da librerie esistenti o modellati ad hoc, possono essere sviluppati con un grado evolutivo più o meno dettagliato a seconda degli usi e dei fini dei modelli (i livelli di sviluppo).

L'applicazione della metodologia BIM al settore delle costruzioni comporta notevoli benefici per tutte le figure professionali coinvolte nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione di un edificio o di un'infrastruttura. La possibilità di inserire all'interno di un unico database strutturato, semanticamente collegato agli elementi costitutivi il modello 3D, tutte le informazioni relative all'intero ciclo di vita dell'edificio, può rappresentare un cambiamento importante verso una più efficiente gestione delle informazioni. Infatti, i diversi attori che prendono parte al processo collaborano tramite l'utilizzo di un file di lavoro centrale in cui ognuno può creare il modello informativo di sua competenza, collegandolo a quello complessivo condiviso con le altre figure interessate, arricchendo, in questo modo, il modello globale.

La possibilità di archiviare all'interno di un'unica piattaforma tutte le informazioni riguardanti sia la progettazione che la gestione del bene, favorisce la collaborazione tra le diverse professionalità coinvolte, garantita anche grazie all'interoperabilità, consentendo tra le stesse un aggiornamento continuo dei dati, riducendo la possibilità di errori causati da un lavoro basato su informazioni e progetti già obsoleti, e ottimizzando in questo modo l'intero processo, sia dal punto di vista delle tempistiche che da quello economico<sup>7</sup>.

La collaborazione all'interno del team multidisciplinare sin dalle prime fasi della progettazione, unitamente all'incremento del livello di dettaglio e della qualità del progetto, permette l'individuazione e la correzione dei conflitti, delle incoerenze e delle omissioni, in anticipo rispetto alla progettazione tradizionale. Il controllo non più puntuale, come avveniva con i disegni bidimensionali, ma applicato

Fig. 1. Curva di MacLeamy che pone a confronto i costi e le risorse per il processo di progettazione tradizionale e quello determinato dall'approccio BIM (Fonte: McLeamy, HOK).



all'intero modello, consente la riduzione degli errori ed evita, o minimizza, in questo modo, modifiche a posteriori e varianti in corso d'opera che potrebbero causare ritardi nella costruzione e un conseguente incremento dei costi<sup>8</sup>.

Inoltre, a differenza della progettazione tradizionale in cui gli elaborati sono disegni e documenti indipendenti tra loro, nel BIM gli elaborati sono costituiti da viste del modello estrapolate dallo stesso; questo garantisce una produzione di elaborati progettuali sempre aggiornati, accurati e coerenti in qualsiasi fase della progettazione con riduzione della quantità di tempo necessaria per la loro produzione. La trasparenza del processo e l'affidabilità dei dati e dei modelli diventano quindi degli aspetti fondamentali. La realizzazione di un modello dettagliato ed affidabile, infatti, consente di simulare le scelte progettuali e il comportamento del manufatto, permettendo di effettuare delle decisioni consapevoli, migliorando la qualità della costruzione e garantendo un incremento delle prestazioni.

Il modello BIM diventa quindi uno strumento di analisi fondamentale per valutare e verificare l'efficacia delle scelte progettuali, in anticipo rispetto alla progettazione tradizionale, in cui l'impatto delle stesse viene spesso compreso solo in sede di costruzione o di esercizio, valutando le ricadute sul progetto in termini di costi, prestazioni e qualità, e favorendo la scelta delle soluzioni più affidabili. L'utilizzo del BIM permette quindi una anticipazione decisionale sempre più verso le prime fasi del processo edificatorio, fasi in cui l'impatto delle scelte progettuali è massimo mentre la loro ripercussione sugli importi è minima, rendendo il processo più sostenibile in termini di tempi e costi.

L'utilizzo della procedura BIM permette quindi un maggior controllo dei costi dell'intero ciclo di vita dell'edificio sin dalla progett-



tazione, un incremento della qualità del progetto e della sicurezza durante la fase di costruzione. L'aggiornamento del modello virtuale dell'edificio costruito durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, infine, consente il suo utilizzo per la documentazione, la gestione, la manutenzione programmata e per il controllo prestazionale.

## 2.2 I Livelli di sviluppo

Diverse normative esistenti sul BIM hanno definito classificazioni e standard in merito ai requisiti di contenuti informativi minimi che dovrebbero avere gli oggetti tridimensionali parametrici che costituiscono i modelli BIM, a seconda dello scopo della loro realizzazione. Tali contenuti sono stati strutturati in scale di classificazioni organizzate in livelli detti LOD<sup>9</sup>. Questi ultimi hanno assunto significato differente nel tempo e a seconda del paese, e possono indicare sia Livelli di Dettaglio (*Level of Detail*) che Livelli di Sviluppo (*Level of Development*)<sup>10</sup>. Nonostante l'acronimo sia lo stesso, però, i due termini hanno un differente significato e, in particolare, mentre con Livello di dettaglio normalmente si intende la quantità di informazioni, sia grafiche che non, collegate agli oggetti digitali; con Livello di sviluppo, invece, si intende non solo la quantità del contenuto informativo, ma anche la sua "affidabilità"<sup>11</sup>.

L'acronimo LOD inteso come Livello di Dettaglio è stato introdotto originariamente dalla Vico software nel 2004<sup>12</sup>, e ripreso e approfondito nel 2008 dall'*American Institute of Architects* (AIA)<sup>13</sup> che ha sviluppato il concetto associando al LOD la nozione di Livello di Sviluppo, successivamente aggiornata nel 2013<sup>14</sup>. Quest'ultimo è definito come "il livello di completezza a cui è stato sviluppato un elemento del modello" ed è organizzato in cinque livelli di sviluppo progressivamente dettagliati, multipli di 100, che partono dal più concettuale (LOD 100), e arrivano fino al livello con la più alta definizione, corrispondente all'As-Built (LOD 500), ciascuno dei quali include al suo interno tutte le caratteristiche del livello precedente.

La distinzione tra Livello di dettaglio e Livello di sviluppo è stata chiarita dall'AIA nel *Contract Document G202* del 2013. All'interno del documento, infatti, il Level of Detail viene definito essenzialmente come la quantità di dettagli che sono inclusi all'interno dell'oggetto, mentre il Level of Development è il grado in cui la geometria dell'elemento e le informazioni allegare sono ponderate, cioè misura quanto le informazioni collegate agli oggetti tridimensionali sono affidabili.

*"In essence, Level of Detail can be thought of as input to the element, while Level of Development is reliable output"*<sup>15</sup>.

Sulla base dei LOD definiti dall'AIA, dal 2011, il BIMForum ha iniziato lo sviluppo di uno standard di riferimento che viene pubblicato e aggiornato annualmente, denominato *Level of Development Specification*, con l'obiettivo di migliorare le caratteristiche degli elementi nei modelli BIM e la qualità della comunicazione tra gli utenti che lavorano sullo stesso progetto<sup>16</sup>. Questo standard

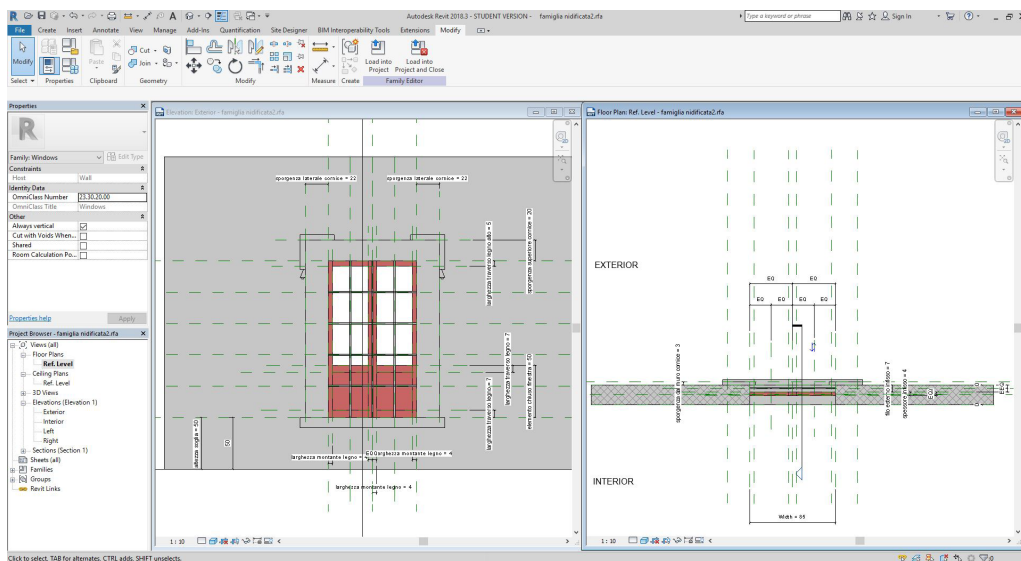


Fig. 2. Famiglia parametrica BIM.

costituisce oggi un punto di riferimento fondamentale a livello internazionale. Tra le sue introduzioni più significative vi è il riferimento solo ai LOD dal 100 al 400<sup>17</sup>, e l'introduzione di un livello intermedio LOD350, istituito con il fine di migliorare il coordinamento tra gli elementi del modello<sup>18</sup>.

In Inghilterra, invece, la prima classificazione dei LOD è stata introdotta dall'AEK (UK) nel 2009 con la redazione e pubblicazione del primo protocollo BIM, successivamente aggiornato nel 2012, che integra il livello di dettaglio con i *Grade* (G0, G1, G2, G3) di definizione geometrica<sup>19</sup>.

Sempre nel Regno Unito, un grande contributo nella definizione dei LOD è stato poi dato nel 2013 con la pubblicazione della prassi di riferimento BS PAS 1192-2. Quest'ultima introduce il *Level of Model Definition*, costituito da sette livelli, composto dal Level of Model Detail, LOD, e dal *Level of Model Information*, LOI. Il Livello di Dettaglio e il Livello Informativo sono rispettivamente intesi come la descrizione dei contenuti grafici e di quelli non-grafici dei modelli, forniti nelle diverse fasi di un progetto.

In Italia, i livelli di sviluppo degli oggetti digitali (LOD) sono stati introdotti nel 2017 dalla norma UNI 11337 parte 4<sup>20</sup>. Tali livelli sono definiti in base al livello di sviluppo minimo necessario per soddisfare i fini e gli obiettivi dei modelli, per ogni fase del processo, e misurano il livello di approfondimento e la stabilità, o qualità, del contenuto informativo collegato a ciascuno degli elementi tridimensionali.

I LOD italiani sono stati definiti sulla base del Level of Development del sistema di riferimento inglese e di quello statunitense<sup>21</sup>, e sono costituiti dal livello di sviluppo degli attributi grafici (LOG,

Livello di sviluppo degli Oggetti – ATTRIBUTI GEOMETRICI) e da quello degli attributi non grafici (LOI, Livello di sviluppo degli Oggetti – ATTRIBUTI INFORMATIVI).

I livelli di sviluppo degli oggetti digitali definiti dalla UNI sono identificati da una scala di classificazione alfabetica costituita da sette livelli:

- LOD A: oggetto simbolico;
- LOD B: oggetto generico;
- LOD C: oggetto definito;
- LOD D: oggetto dettagliato;
- LOD E: oggetto specifico;
- LOD F: oggetto eseguito;
- LOD G: oggetto aggiornato.

Il passaggio da un LOD al successivo corrisponde ad un incremento della quantità e della qualità delle informazioni. Inoltre, la norma UNI prevede la possibilità, in caso di necessità, di definire eventuali classi intermedie di LOD identificate con la lettera inferiore di riferimento e un numero intero tra 1 e 9.

Tra le più grandi novità della UNI, infine, vi è l'introduzione del BIM per il costruito storico ed in particolare dei livelli di sviluppo per gli interventi di restauro. Tali livelli sono identificati dalla norma stessa nel LOD F e nel LOD G, che rispettivamente esprimono la virtualizzazione dello stato esistente (*As-Built*) e la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto dei singoli elementi architettonici<sup>22</sup>.

L'ultima evoluzione dei LOD è costituita, in Europa, dai *Level of Information Need* (LOIN), o Livelli di Fabbisogno Informativo, introdotti a livello internazionale dallo standard UNI EN ISO 19650-1:2019. Questa normativa si applica ad oggi solo all'Inghilterra e all'Italia e, in Inghilterra, nello specifico, sostituisce la BS 1192:2007 e abroga la PAS 1192-2:2013, eliminando del tutto i LOD dallo scenario nazionale. In Italia, invece, la ISO presenta delle linee d'indirizzo compatibili con la UNI 11337, che si distingue infatti come sua complementare e che verrà aggiornata per essere redatta in conformità con la ISO stessa.

L'introduzione dei LOIN ha come fine quello di garantire una maggior flessibilità derivante dalla possibilità di non dover richiedere e soddisfare dei livelli di contenuti informativi minimi definiti in scale predeterminate (LOD). Come sottolineato dal termine *Need*, infatti, il fabbisogno informativo minimo dovrebbe essere determinato in base alle necessità e allo scopo dei modelli, mentre tutte le informazioni non necessarie sono considerate dalla norma come "spreco" in quanto incidono negativamente sullo sviluppo del progetto e sulla fluidità dei flussi di scambio informativi.

I criteri per la definizione e la specifica dei livelli di fabbisogno informativo (LOIN), introdotti in via generica dalla ISO 19650, sono stati poi definiti dalla UNI EN 17412-1:2021<sup>23</sup>.

Il fine della norma è quello di definire il quadro di riferimento normativo per specificare il livello di fabbisogno informativo in base a una serie di requisiti, quali:

- l'uso;
- le scadenze per la consegna delle informazioni;

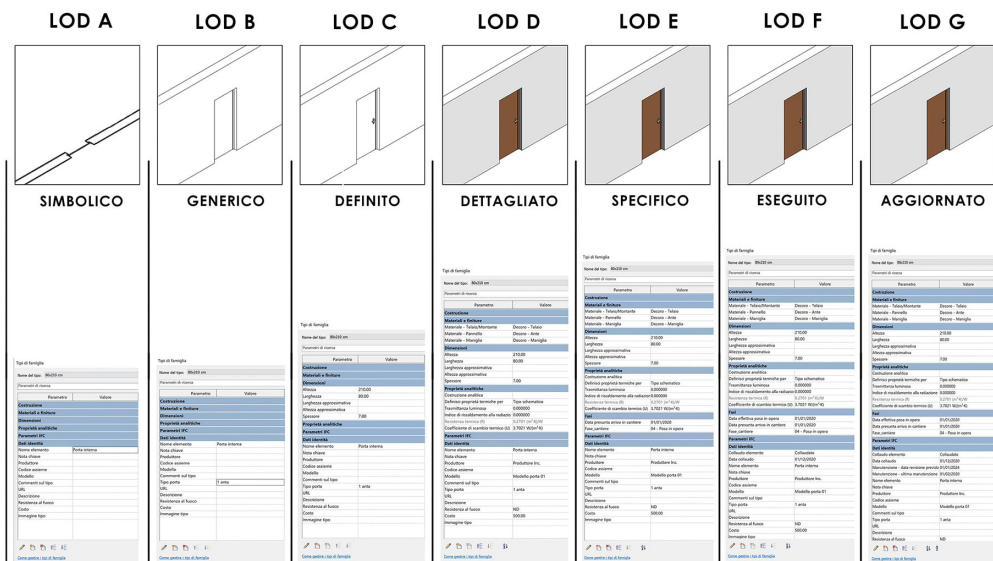


Fig. 3. Livelli di sviluppo di una famiglia parametrica BIM (Fonte Norma UNI 11337-4:2017).

- gli attori destinati a richiedere e a consegnare le informazioni (rispettivamente il committente e l'aggiudicatario, o il progettista);
- gli oggetti digitali a cui collegare le informazioni, intesi con una valenza più ampia che può includere singoli elementi, parti o sistemi, o interi edifici.

Il livello di fabbisogno informativo definisce l'estensione e la granularità<sup>24</sup> delle informazioni da scambiare ed è descritto:

- dalle informazioni geometriche, costituite da cinque aspetti indipendenti, quali: il dettaglio, la dimensionalità, la posizione, l'aspetto e il comportamento parametrico;
- dalle informazioni alfanumeriche, specificate in base all'identificazione e al contenuto informativo richiesto;
- dalle informazioni contenute nella documentazione richiesta. Quest'ultima è costituita da un insieme di documenti necessari a supportare la fase decisionale, di approvazione e di verifica dei contenuti informativi prodotti.

Tutte le classificazioni e gli standard ad oggi esistenti hanno in comune il riferimento dei LOD ai singoli oggetti digitali e non all'intero modello, consentendo di fatto, la coesistenza, all'interno dello stesso modello, di oggetti dal diverso grado di approfondimento, sia geometrico che informativo.

### 2.3 Interoperabilità e Standard internazionali

La presenza di un gran numero di professionisti e di molteplici software differenti, in parte equivalenti, ognuno con i suoi particolari

formati di file e protocolli, può rendere critica la cooperazione tra i vari attori del processo. Fondamento della metodologia BIM, infatti, è la collaborazione durante l'intero ciclo di vita degli edifici, indipendentemente dagli specifici software di BIM Authoring.

Questa collaborazione è resa possibile grazie all'interoperabilità dei software BIM, cioè la capacità di scambiare dati e informazioni contenuti all'interno dei modelli informativi, con altri sistemi o programmi, a prescindere dalla software house a cui appartengono<sup>25</sup>. Vi è dunque la necessità di standardizzare i processi mediante l'utilizzo di formati di interscambio aperti, riconosciuti e regolamentati a livello normativo, al fine di facilitare gli scambi informativi.

A differenza del passato in cui l'interoperabilità doveva garantire il solo scambio di modelli geometrici (come, ad esempio, i DXF *drawing exchange format*), con il BIM la condivisione comprende lo scambio di modelli costituiti da geometrie, informazioni e specifiche relazioni semantiche esistenti tra gli oggetti. Tali aspetti rendono il processo di collaborazione particolarmente complesso e delicato.

Ad oggi la completezza ed integrità del dato è completamente garantita solo all'interno di programmi appartenenti alle stesse software houses, il passaggio di modelli e informazioni tra software di diverse case produttrici, infatti, a causa dell'utilizzo di linguaggi differenti, può ancora essere problematico.

Ogni software, infatti, è costituito da un proprio linguaggio e da specifici protocolli. L'utilizzo di formati proprietari, o formati chiusi, per lo scambio dei dati, consente di non dover esportare il modello per la sua condivisione. L'esportazione in formati standard, invece, avviene mediante una destrutturazione dei dati e una loro riorganizzazione secondo la logica e le gerarchie dello standard specifico utilizzato. Questa riorganizzazione del contenuto informativo dei file può causare, se i modelli non sono stati realizzati in un modo compatibile con i formati standard, una perdita di dati che può dare seguito a delle possibili criticità nella collaborazione<sup>26</sup>. D'altro canto, però, l'utilizzo di formati di interscambio aperti, il cosiddetto "Open BIM", consente la piena libertà di scelta per i membri del team di progetto, che possono continuare ad operare mediante l'utilizzo dei software a loro familiari e, allo stesso tempo, collaborare attraverso lo scambio e la condivisione dei modelli all'interno di piattaforme di collaborazione, incrementando in questo modo l'efficienza del processo.

La collaborazione e la realizzazione di un sistema integrato fondato sull'utilizzo di standard aperti consente di uniformare i flussi di lavoro e facilitarne l'automazione, riducendo al minimo la necessità di copiare manualmente parte dei dati generati negli altri programmi, evitando la ridondanza inutile delle informazioni che potrebbe ostacolare la fluidità dello scambio informativo, e diminuendo così le possibili incoerenze delle stesse dovute all'errore umano.

L'open BIM è quindi alla base del processo collaborativo e mira ad un approccio universale di cooperazione basato su linguaggi comuni, standard e flussi di lavoro aperti.

Ad oggi esistono diverse tipologie di standard riconosciuti a livello internazionale per lo scambio di geometrie, informazioni grafiche e

dati semantici. Tra questi i più importanti sono: l'*Industry Foundation Classes* (IFC), il *Construction Operations Building Information Exchange* (CoBIE), il *Green Building XML* (GbXML).

L'iniziativa IFC è nata nel 1994 come consorzio di 12 aziende private sotto il nome di *Industry Alliance for Interoperability*. L'anno successivo a tale data l'Alleanza è stata estesa a tutte le parti interessate, con il fine di promuovere lo sviluppo e l'utilizzo dello standard IFC, e nel 1997 ha cambiato il suo nome in *International Alliance for Interoperability*. Dal 2005, infine, ha assunto ufficialmente il nome di *BuildingSmart* con l'intento di rispecchiare al meglio il suo fine di sviluppo di formati standard per consentire la condivisione delle informazioni.

L'IFC, sviluppato da Building Smart International e certificato ufficialmente dalla ISO (*International Standard Organization*) nel 2013, rappresenta uno standard internazionale aperto per i dati dei modelli BIM che vengono scambiati e condivisi tra i diversi partecipanti nell'industria delle costruzioni o del facility management durante l'intero ciclo di vita di un edificio, indipendentemente dalle applicazioni software utilizzate<sup>27</sup>.

Lo schema IFC, in particolare, è nato per referenziare, archiviare o scambiare modelli e contenuti informativi e, a differenza del modello BIM nativo in formato proprietario, non costituisce un modello parametrico, ma corrisponde all'esportazione di una vista dello stesso; una fotografia statica in un determinato momento nel tempo, non modificabile, che può essere vista, misurata, navigata, interrogata e usata per le simulazioni e per il coordinamento dei modelli disciplinari<sup>28</sup>.

L'IFC è un modello di dati standardizzato ed organizzato secondo una struttura gerarchica che codifica, in maniera logica: l'identità degli oggetti (fisici e non) e la semantica (nome, codice unico identificativo, ecc.); le caratteristiche e gli attributi (materiale, colore, proprietà termiche, produttore, ecc.); le relazioni (posizione, connessioni, ecc.); gli oggetti e i concetti astratti (performance, costi, ecc.), i processi e le persone (produttore, progettista, proprietario, ecc.).

Secondo la ISO 16739-1, l'IFC è costituito da uno schema di dati determinato: dal linguaggio di specifica dei dati EXPRESS, definito nella ISO 10303-11; dal linguaggio XML<sup>29</sup>, definito in *XML Schema W3C Recommendation*; e dai dati di riferimento, rappresentati come proprietà, nomi delle quantità e descrizioni formali e informative.

Il modello IFC definisce un modello di relazioni tra entità formate da oggetti organizzati per classi di insiemi nidificati secondo una logica classificatoria e gerarchica<sup>30</sup>. Gli oggetti possono essere fisici o entità astratte - quali ad esempio, gli spazi, i processi, le risorse, ecc.-; ognuno di essi è caratterizzato da una serie di attributi e può essere relazionato ad altre entità secondo dei vincoli ben precisi.

Tutti gli oggetti nel linguaggio EXPRESS sono chiamati "entità" e sono organizzati in un'architettura concettuale strutturata in quattro classi distinte, rappresentanti quattro livelli differenti di astrazione progettuale: il livello del dominio (*Domain layer*), il livello

dell'interoperabilità (*Interoperability layer*), il livello centrale (*Core layer*), e il livello delle risorse (*Resource layer*).

Il *domain level* è il livello più alto, contiene le classi altamente specializzate che si applicano solo a un dominio specifico e può contenere riferimenti verso ognuna delle classi sottostanti.

L'*interoperability level* si trova proprio al di sopra del livello centrale (*core layer*) e rappresenta un livello di interoperabilità tra il modello di dati e gli specifici schemi del dominio. Al suo interno sono definite le classi comunemente utilizzate e condivise negli applicativi software tipici del settore AEC (*IfcColumn*, *IfcWindow*, *IfcWall*, ecc.).

Il *core level* contiene le classi più elementari del modello informativo. Queste ultime definiscono le strutture di base, le relazioni e i concetti generali che possono essere poi riutilizzati e definiti con maggior precisione nei livelli superiori. Questo livello può essere suddiviso in:

- *kernel*. Rappresenta il cuore dell'ifc e contiene le entità di base più astratte del core level quali per esempio *IfcObject*, *IfcActor*, *IfcProduct*, *IfcRelationship*, ecc.;
- *Extension*. Sottolivello in cui sono dettagliate le entità definite nel kernel.

Il *resource level*, infine, costituisce il livello più basso dello schema, in cui sono dettagliate le strutture dati di base che possono essere utilizzate nell'intero modello IFC. Le entità presenti in questo livello non sono entità radicate e non possono esistere se non come elementi referenziati da oggetti utilizzati all'interno dei modelli. A questa classe appartengono le risorse geometriche, le risorse tipologiche, le risorse inerenti alle modalità di costruzione della geometria (*sweep*, *Brep*, *Solid*, ecc.), le risorse materiali, ecc.

Le entità all'interno dell'IFC sono a loro volta suddivise in: entità radicate (*rooted entities*), dette anche "*IfcRoot*", e entità non radicate (*not-rooted entities*).

Le prime sono concepite come identità singole, definite da un insieme di attributi (nome, descrizione e delle caratteristiche di revisione) e sono costituite da tre concetti astratti:

- la definizione dell'oggetto (*IfcObjectDefinition*) in cui si trovano le informazioni tangibili quali dimensioni, materiali, ecc.;
- le relazioni dell'oggetto con gli altri elementi (*IfcRelationship*);
- le proprietà (*IfcPropertyDefinition*), intese come tutte le caratteristiche che possono essere assegnate agli oggetti.

Le seconde, invece, non hanno un'identità ed esistono solo in riferimento alle prime.

Lo standard COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*) è un protocollo non proprietario per lo scambio e la condivisione di dati non geometrici su un edificio, progettato specificatamente per consentire l'integrazione nel processo BIM delle informazioni necessarie al facility management.

Il COBie è stato sviluppato nel 2007 dall'*US Army Corps of Engineers*, con l'obiettivo di sostituire la grande quantità di dati cartacei, proponendo una struttura informativa digitale standardizzata di tutte le informazioni inerenti al bene.



Fig. 4. Lo Smart Tunnel (AQ): galleria costituita da pezzi speciali prefabbricati assemblati in sito, all'interno della quale passano i principali servizi della città.

Lo standard COBie è un foglio di calcolo in formato .xml aperto, modificabile in ogni sua parte, caratterizzato da una specifica strutturazione che consente di mantenere le correlazioni tra le informazioni collegando i dati appartenenti a fogli differenti.

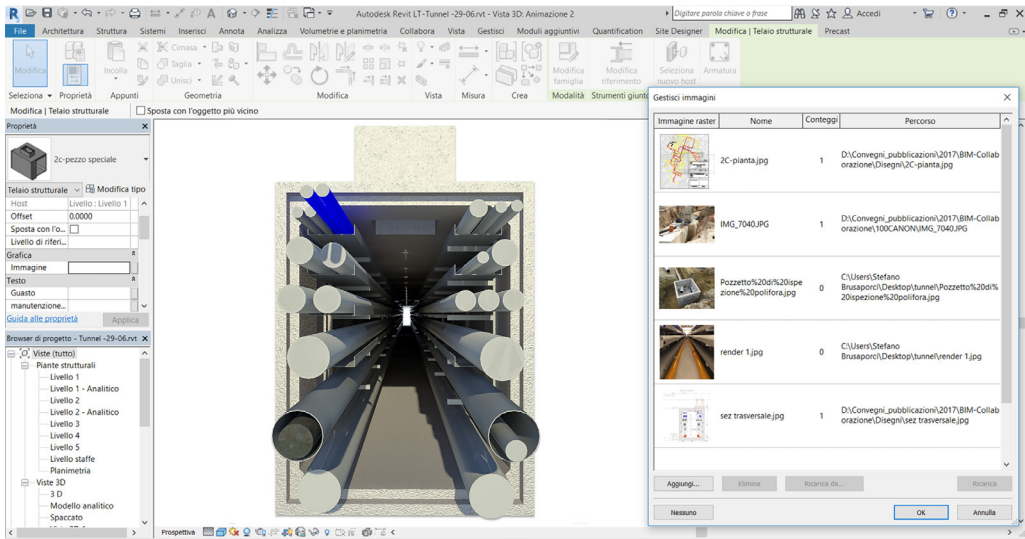
Come per l'IFC, il COBie si basa sull'uso di un sistema di classificazione e scomposizione degli elementi e delle informazioni. Un singolo edificio, chiamato all'interno dello schema "*Facility*", viene quindi gestito mediante una scomposizione in piani (*floor*), e spazi (*spaces*). A questi si aggiungono le zone (*zones*), costituite da un raggruppamento di spazi, che possono essere utilizzate per la suddivisione dell'edificio in base a scopi funzionali (zone di ventilazione, zone d'accesso, compartimenti antincendio, ecc.).

I componenti fisici (*components*), arricchiti di informazioni quali ad esempio: il fornitore, il proprietario, le tempistiche della manutenzione, la modalità con cui deve essere svolta e l'ultimo intervento effettuato, ecc., sono assegnati ai singoli spazi e sono riuniti per tipologia (*type*). Come per gli spazi, i tipi possono essere raggruppati in impianti (*systems*), a seconda delle loro funzioni.

Ad ogni tipologia sono poi associati dei metadati inerenti alle informazioni necessarie per mantenere efficiente il bene durante il suo ciclo di vita. Tali metadati sono le risorse, fisiche e non, gli interventi e le lavorazioni (rispettivamente: *spare, resource, job*).

Infine, è prevista una terza area di informazioni in cui sono elencati gli attributi "comuni", cioè una serie di informazioni aggiuntive che possono essere collegate agli oggetti che compongono il bene. Questa area comprende sia informazioni specifiche che generiche ed è suddivisa in: attori del processo (*contacts*); documentazione (*do-*





cuments); attributi collegati agli oggetti per aggiungere le proprietà agli stessi (*attributes*); connessioni tra i componenti (*connections*); referenziazione degli oggetti (*coordinates*); conflitti (*problems*).

Nel 2015 il COBie, sviluppato sulla base della normativa nordamericana ed inglese, è diventato uno dei quattro standard di scambio delle informazioni basati sull'IFC4, contenuti nelle *National Building Information Model Standard (NBIMS-US)*, Versione 3.

Lo schema *Green Building XML*, infine, è nato nel 1999 per agevolare il trasferimento di informazioni riguardanti l'edificio memorizzate su modelli CAD, consentendo l'interoperabilità tra gli strumenti di disegno e i software di analisi ingegneristiche. Questo standard è specifico per la condivisione ed il trasferimento di informazioni e proprietà dei modelli tridimensionali per sviluppare simulazioni, ed è progettato per lo scambio di informazioni sul consumo di energia di un edificio.

Il suo utilizzo semplifica notevolmente il trasferimento delle informazioni sull'edificio tra software di modellazione architettonici e ingegneristici, eliminando la necessità di realizzare modelli duplicati e consentendo un aggiornamento delle informazioni bidirezionale, riducendo, in questo modo, i tempi e i costi di progettazione di edifici sostenibili ed efficienti dal punto di vista energetico.

Questo standard è basato sull'utilizzo dello schema di definizione XML ed è costituito da oltre 500 tipi di elementi e attributi, organizzati in modo gerarchico, in grado di descrivere l'intero edificio in tutti i suoi aspetti. Gli elementi possono essere scomposti in sotto-elementi e gli attributi possono essere utilizzati per definire le caratteristiche degli oggetti.

Il GbXML è divenuto di fatto uno standard del settore, ad oggi è infatti supportato da più di 50 strumenti di modellazione e analisi delle prestazioni degli edifici.

Fig. 5. Screenshot del software Autodesk Revit 2017 con un esempio delle informazioni disponibili all'interno del modello e visualizzabili selezionando i singoli elementi.

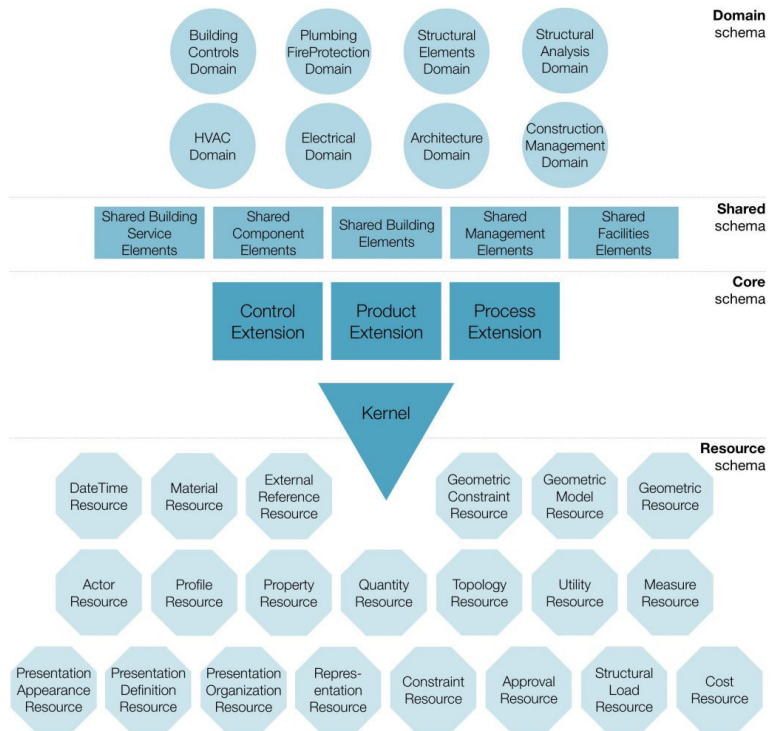


Fig. 6. Struttura interna dello standard IFC con l'organizzazione delle classi.  
(Fonte: F. Noardo, K. A. Otori, T. Krijnen, J. Stoter, *An Inspection of IFC Models from Practice*, in «Applied Sciences», 11, 2021, 2232).

## 2.4 La diffusione del BIM

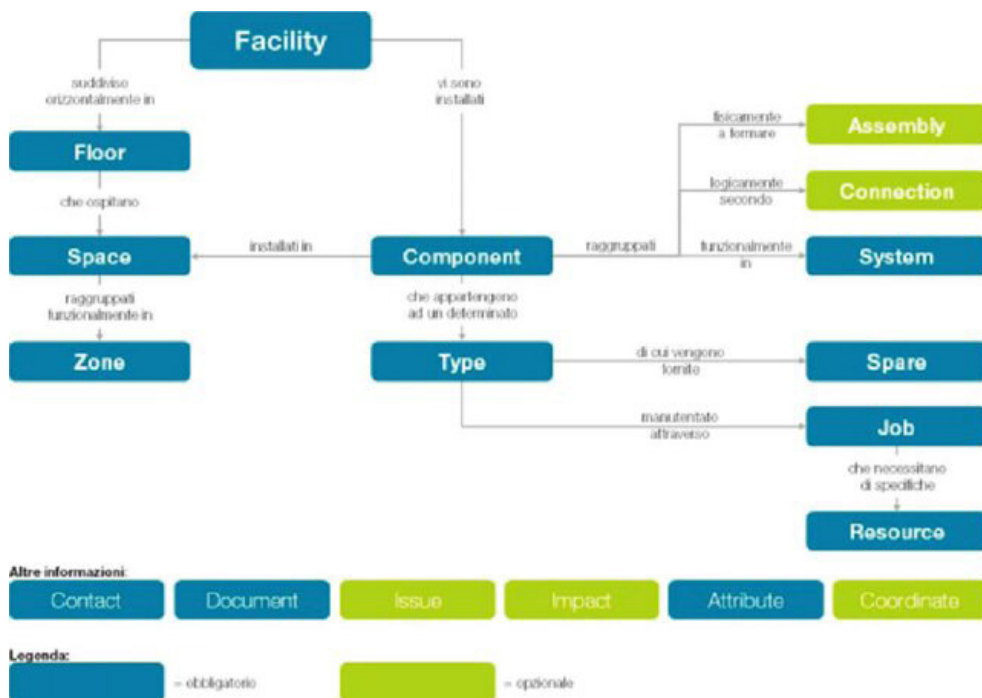
### *Il BIM nel mondo*<sup>31</sup>

Il BIM è stato sviluppato negli Stati Uniti nei primi anni '70<sup>32</sup>. Nonostante il paese sia stato uno dei primi per effettiva implementazione e utilizzo del BIM, però, il tasso di adozione è lentamente rallentato negli anni. Quest'ultimo dato risulta essere accentuato dall'assenza di una normativa federale per i progetti del settore pubblico e dalla conseguente nascita di numerosi protocolli da parte di molte agenzie governative<sup>33</sup> che, sebbene abbiano condotto verso un'introduzione della metodologia BIM, a causa della loro indipendenza, hanno in realtà contribuito negativamente all'adozione generale, rallentando ulteriormente nel tempo il tasso di impiego nel paese.

La prima introduzione a livello normativo risale al 2003, anno in cui l'Amministrazione Generale dei Servizi degli Stati Uniti (GSA) ha istituito il programma nazionale 3D-4D-BIM, che ne ha imposto l'utilizzo per tutti i progetti di servizio di edifici pubblici.

Nel 2006, l'*US Army Corps of Engineers* (USACE) ha introdotto l'obbligo dell'uso del BIM agli appaltatori, definendo gli obiettivi per l'attuazione BIM.

Nel 2007 la GSA ha fissato l'obiettivo di richiedere file in formato standard IFC per i progetti sviluppati con il BIM, al fine di migliorare la qualità di progettazione e di consegna della costruzione.



Nel 2009, il Wisconsin è diventato il primo Stato a richiedere l'uso del BIM che tutti i progetti di lavori finanziati con fondi pubblici del valore superiore a 5 milioni utilizzino il Building Information Modeling. Nonostante tutto, data la complessità e l'estensione del paese, che rendono difficile l'applicazione di standard a livello nazionale, l'introduzione dell'obbligatorietà con un mandato federale potrebbe non risultare efficace e sembrerebbe non essere fondamentale per l'adozione del BIM. Dalle statistiche di mercato, infatti, l'utilizzo di tale metodologia sembra essere cresciuto in modo organico nel tempo, e secondo un sondaggio effettuato nel 2020 dall'American Institute of Architects (AIA), il grado di adozione del BIM per lavori fatturabili all'interno dei grandi studi di architettura risulta essere circa del 100%, mentre, per quanto riguarda il resto del mercato, il BIM è utilizzato da oltre un terzo delle piccole imprese.

Lentamente ma gradualmente, inoltre, gli Stati Uniti stanno procedendo verso l'attuazione del BIM a livello governativo mediante il sostenimento degli investimenti nelle infrastrutture e nei progetti di costruzione, rappresentando in questo modo un'ulteriore spinta propulsiva volta a stimolare il settore delle costruzioni verso l'attuazione del BIM. In Australia l'iniziativa BIM è fortemente orientata alle infrastrutture, con enti di trasporto e infrastrutture che hanno coniato il termine "ingegneria digitale" con il fine di cercare di promuovere la coerenza nell'impiego di tale procedura nel settore.

Fig. 7. Struttura interna dello standard COBie con classificazione e scomposizione di elementi e informazioni. (Fonte: BIS-LAB, Contec Verona <http://www.gruppocontec.it/ricerca-per-la-progettazione-bis-lab/>).

Sebbene il livello di adozione del BIM nel paese sia ampio, risulta essere allo stesso tempo vario e disomogeneo. Uno dei motivi di questa frammentarietà è l'assenza di una spinta governativa che stabilisca delle linee guida per la creazione di uno standard nazionale a cui le aziende devono conformarsi. Per sopperire all'assenza di una regolamentazione federale, i clienti del settore pubblico e privato si sono appoggiati alla normativa inglese per avere un supporto in merito all'adozione di processi BIM.

Per quanto riguarda il ramo pubblico, molti dipartimenti del governo australiano hanno definito delle strategie apposite, processi e requisiti informativi isolati rispetto agli altri dipartimenti, rendendo l'approccio sempre più eterogeneo e complesso. Nel privato, invece, alcuni clienti stanno adottando il BIM come "*business as usual*" e stanno implementando la tecnologia a ritmi più rapidi e dettagliati rispetto ad altri stati. La mancanza di normative nazionali, l'assenza di competenze e di comprensione sul processo BIM, e la presenza di progetti indipendenti, stanno causando però ulteriore confusione, frammentandone ulteriormente la coerenza e l'adozione.

Tra le linee guida indipendenti c'è quella del *National Specification System* (NATSPEC), un'importante organizzazione tra progettisti, costruttori e proprietari immobiliari, che nel 2012 ha pubblicato la *National BIM Guide* e il *BIM Management Plan Template*: due documenti complementari, che definiscono una guida su come deve essere eseguito, monitorato e controllato un progetto BIM.

Nello stesso anno buildingSMART Australia ha pubblicato il rapporto National BIM Initiative, commissionato dal *Built Environment Industry Innovation Council* (BEIIC), in cui sono stati definiti gli obiettivi nazionali di adozione del BIM nel paese. Il rapporto ha come fine quello di incoraggiare gli Stati e i Territori australiani nel richiedere la realizzazione di un BIM completo basato su standard aperti per tutti gli appalti pubblici australiani entro il 2016, e tra le iniziative principali raccomandate include la messa a punto di un Piano di implementazione Nazionale BIM mediante la gestione degli appalti in BIM. Per la redazione di tale piano, il rapporto evidenzia che è necessario: avviare processi di gestione degli appalti basati sulla metodologia BIM; formare e informare di tutti gli attori del processo per sensibilizzarli verso i vantaggi inerenti al suo utilizzo; realizzare librerie di prodotti australiane; determinare standard aperti per lo scambio di dati e la collaborazione; definire un framework normativo; realizzare progetti pilota per validare queste linee guida.

Nonostante questo documento però, ad oggi non esistono ancora mandati governativi inerenti all'adozione del BIM sui progetti finanziati da fondi pubblici.

A Singapore, per esempio, il BIM è stato identificato come tecnologia chiave verso la digitalizzazione.

Nel 2010 la *Building and Construction Authority* (BCA) ha promosso l'uso del BIM nel settore delle costruzioni elaborando la BIM Roadmap: un programma di adozione il cui fine era quello di raggiungere entro il 2015 un impiego del BIM all'interno del settore

delle costruzioni di almeno l'80%, allineandosi con il piano del governo che aveva come obiettivo quello di migliorare la produttività del settore del 25% nel decennio.

Per giungere all'obiettivo prefissato la BCA ha collaborato con il governo per rendere obbligatorio l'uso del BIM per tutti i loro progetti di architettura o ingegneria a partire dal 2012, imponendo, inoltre, la trasmissione elettronica di tali progetti esclusivamente nel formato digitale per ottenere l'approvazione normativa.

Sempre nello stesso anno, la BCA ha pubblicato *The Singapore BIM Guide e BIM Particular Conditions* per aiutare l'industria chiarendo i requisiti di utilizzo del BIM nelle diverse fasi di un progetto. Sotto queste forti spinte, il paese ha elaborato un apposito programma di formazione finalizzato in particolar modo al suo utilizzo nei comparti del Facility Management e delle Smart City.

Per quanto riguarda gli Emirati Arabi, infine, il BIM è stato introdotto come requisito per la prima volta a Dubai nel 2013, a seguito della pubblicazione della Circolare n. 196, emanata dal Comune stesso, che imponeva l'applicazione di tale metodologia per opere "architettoniche ed impiantistiche" su: edifici sopra i 40 piani; edifici con aree superiori a 300.000 piedi quadrati; edifici specializzati come ospedali e università; tutti gli immobili richiesti per conto di un ufficio estero. Tali obblighi sono stati resi più restrittivi nel 2015, con la pubblicazione di una nuova circolare (n. 207), che prevedeva l'obbligo "per opere architettoniche e meccaniche" su: edifici sopra i 20 piani; edifici e strutture e composti con aree superiori a 200.000 piedi quadrati; edifici e strutture speciali come ospedali e università; tutti i progetti governativi; tutti gli edifici e i progetti richiesti da un ufficio estero.

Entrambe le circolari imponevano l'uso del BIM per determinate categorie di edifici, senza definire però dei requisiti o degli standard minimi di utilizzo.

Sebbene ad oggi non sia stata normata ancora nessuna specifica sulla standardizzazione del processo BIM, sono stati realizzati con questa metodologia numerosi progetti di edifici complessi e da un sondaggio del 2015 condotto nell'università di Herriot-Watt su oltre 500 professionisti AEC impegnati in progetti di costruzione nel paese, è emerso che già in quell'anno l'87% degli intervistati aveva utilizzato il BIM nelle proprie organizzazioni e di questi il 62% lo aveva utilizzato per più di un progetto.

L'introduzione del BIM a livello normativo in Brasile è cominciata nel 2017, quando il governo brasiliano ha creato un comitato strategico (CE-BIM), per regolamentarne e standardizzarne l'adozione nel paese, al fine di modernizzare e trasformare digitalmente il settore delle costruzioni.

Sulla base di un decreto federale del 2018 il governo ha stabilito la strategia BIM BR come piano nazionale 2018-2028 di diffusione del BIM, prevedendo entro il 2024 la sua adozione nelle fasi di pianificazione, progettazione e costruzione, ed entro il 2028, il suo impiego in tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, considerando anche lo sviluppo di modelli BIM per il facility management.

Oltre all'iniziativa del governo brasiliano, l'Associazione brasiliana

degli standard tecnici (ABNT) ha definito una serie di sei standard relativi al BIM, inclusi: i requisiti minimi degli oggetti digitali; le linee guida per la realizzazione di librerie BIM; i sistemi di classificazione e le modalità di gestione delle informazioni nella fase di costruzione. Nel 2016 la Camera brasiliana dell'industria delle costruzioni (CBIC) ha pubblicato una guida denominata *BIM Implementation Collection for Builders and Developers* con l'obiettivo di supportare le imprese di costruzione e gli sviluppatori per aiutarli ad avere una piena comprensione della metodologia BIM, e di realizzare una piattaforma tecnologica comune per facilitare lo scambio di informazioni e la collaborazione tra tutte le parti interessate alla costruzione. Nell'aprile 2020, il governo brasiliano, mediante la pubblicazione di un nuovo Decreto Federale, ha stabilito l'obbligo per gli enti della pubblica amministrazione di impiegare il BIM, direttamente o indirettamente, nelle opere e servizi di ingegneria civile. Nonostante le difficoltà legate al cambio di procedura e alla mancanza di conoscenza di processi e flussi di lavoro, vi è un grado di utilizzo del BIM molto avanzato tra i contraenti. Alcuni rapporti del settore, infatti, hanno riscontrato già nel 2013 un livello di adozione dell'85% degli intervistati su un totale di 40 appaltatori<sup>34</sup>.

#### *Il BIM in Europa*

La prima normativa europea a prevedere l'utilizzo di modalità elettroniche di acquisizione per gli appalti pubblici, in aggiunta alle procedure tradizionali, è la Direttiva 2004/18/CE, nata con l'intento di snellire e semplificare le procedure garantendo, inoltre, maggiore trasparenza. Riferendosi alle modalità elettroniche d'acquisto la norma afferma che "tali tecniche consentono un aumento della concorrenza e dell'efficacia della commessa pubblica, in particolare grazie al risparmio di tempo e di danaro derivante dal loro utilizzo" (considerando n. 12).

La direttiva del 2004 è stata abrogata nel 2014 con la pubblicazione della Direttiva sugli appalti pubblici dell'Unione Europea: la EUPPD 2014/24. Quest'ultima rappresenta la prima direttiva ad indirizzare verso l'introduzione normativa del BIM come standard di riferimento per gli appalti pubblici nello scenario europeo con il fine di modernizzare questo settore, perseguendo una strategia finalizzata ad una crescita intelligente, sostenibile ed inclusiva. Tale norma invita gli Stati membri dell'UE, a partire da gennaio 2016, a "favorire, specificare o imporre", attraverso provvedimenti legislativi dedicati, "l'uso di strumenti elettronici specifici, quali gli strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o strumenti analoghi" come riferimento standard per i progetti pubblici, tra i quali può essere compreso il BIM, con il fine di accrescere l'efficacia e la trasparenza delle procedure di appalto<sup>35</sup>.

Molti paesi hanno già compiuto sforzi in questo senso, adottando queste normative a livello nazionale e indirizzando il settore delle costruzioni e degli appalti pubblici verso l'impiego del BIM, sviluppando inoltre gli standard e i protocolli necessari per la definizione del flusso informativo<sup>36</sup>.

Dai numerosi rapporti e dalle varie indagini sullo stato del BIM in Europa, è emersa una panoramica molto eterogenea e frammentata che vede: degli stati leader nel settore in cui il BIM è entrato effettivamente a far parte della prassi comune, come ad esempio Inghilterra e la Danimarca; dei paesi in cui questa metodologia è mediamente sviluppata ed utilizzata, come ad esempio la Francia; degli stati in cui, invece, l'utilizzo di questa metodologia è ancora molto poco sviluppato e normato, come ad esempio la Croazia.

In generale, sondaggi e analisi condotti a livello nazionale ed europeo, hanno evidenziato i fattori principali che ostacolano la digitalizzazione del settore delle costruzioni, che sono:

- i costi iniziali hardware e software molto elevati;
- la mancanza di consapevolezza e comprensione delle tecnologie digitali e dei vantaggi relativi al loro utilizzo;
- la necessità di dotarsi di figure professionali competenti e qualificate e di prevedere un piano di formazione per gli altri professionisti che lavorano all'interno delle imprese;
- la necessità di normative nazionali, protocolli e standard che regolamentano l'adozione e l'utilizzo del BIM;
- la domanda di mercato.

In particolare, l'adozione frammentaria del BIM è dovuta anche alla struttura del mercato e alle dimensioni delle aziende. L'implementazione di tale metodologia, infatti, risulta essere principalmente guidata dalle grandi imprese che hanno più risorse finanziarie per implementare le loro attrezzature e procedure, e per dotarsi di figure professionali qualificate. Inoltre, tali aziende tendono ad affrontare progetti più complessi, in cui è richiesto un forte coordinamento, rendendo più tangibili i benefici del BIM, giustificando così l'investimento iniziale richiesto<sup>37</sup>. In secondo luogo, sull'adozione del BIM influiscono particolarmente le politiche e i fattori di mercato. Per incoraggiare le aziende verso la digitalizzazione, infatti, sono necessarie una spinta governativa e una richiesta del mercato nell'adozione di tali tecnologie. Questi due requisiti vanno spesso di pari passo, e in molti paesi sono risultati quasi assenti, principalmente a causa della mancanza di consapevolezza dei vantaggi del BIM.

Nonostante queste criticità però, il livello di adozione risulta in costante aumento e l'*European Construction Sector Observatory* prevede che entro il 2023 ci sarà un incremento del 13%, con un aumento annuo fino al 2027 del 18%.

Di seguito si riporta il livello di adozione del BIM in quelli che, dai report e dalle analisi effettuate<sup>38</sup>, risultano essere alcuni tra i paesi più avanzati per quanto riguarda la transizione digitale del processo edilizio. Primo fra tutti in questo senso è il Regno Unito, che costituisce oggi lo stato leader nei processi BIM in Europa ed è caratterizzato dalla più alta percentuale di adozione e dalla maggior maturità normativa. Dai vari report nazionali e internazionali, infatti, l'Inghilterra risulta essere ad oggi il primo paese per percentuale di adozione a livello europeo, passando dal 13% nel 2011 all'incirca al 73% nel 2020<sup>39</sup>. Il Paese rappresenta, inoltre, il primo stato europeo<sup>40</sup> per l'introduzione dell'obbligatorietà del BIM a livello normativo per

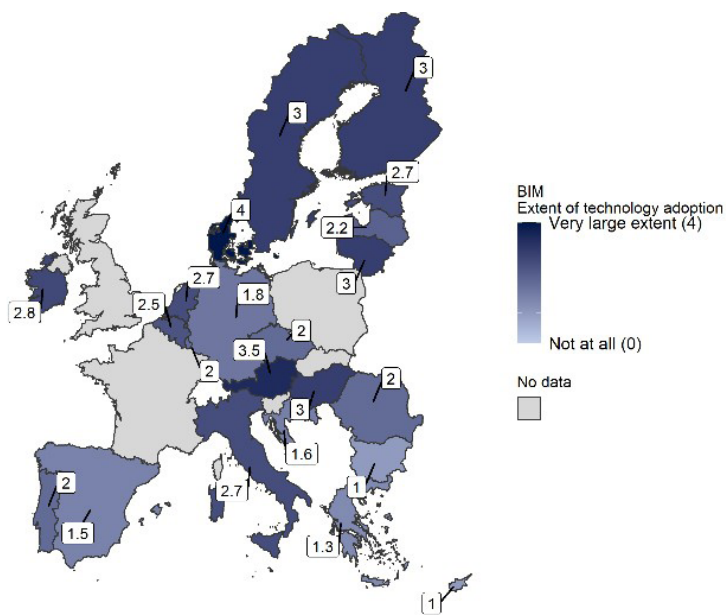


Fig. 8. Estensione dell'utilizzo del BIM in Europa. (Fonte: ECSO survey, 2020).

gli appalti pubblici, dato che di fatto ha accelerato il processo di introduzione e di sviluppo di standard e procedure BIM.

La trasformazione del settore delle costruzioni verso un processo digitalizzato BIM-oriented è iniziata già a partire dal 2010 con l'approvazione del programma *Digital Built Britain* che aveva come fine quello di incentivare la transizione digitale mediante la definizione di una strategia nazionale. Tale programma è stato dettagliato poi nel 2011 con la pubblicazione, da parte del BIM Task Group, della strategia BIM, contenente alcune regole per supportare l'industria delle costruzioni durante l'adozione di protocolli BIM. Nello stesso anno il governo inglese ha adottato anche la Strategia Nazionale delle Costruzioni con cui è stata introdotta l'obbligatorietà del BIM entro il 2016 per tutti i progetti pubblici, e con cui sono stati definiti dei programmi di formazione, informazione e pubblicità rivolti a tecnici e operatori del settore con il fine di aumentare la consapevolezza sull'utilizzo di tale metodologia.

Il Regno Unito è stato il primo stato a definire standard e a dettagliare le procedure BIM mediante la pubblicazione di numerose normative e protocolli che l'hanno reso, ancora oggi, un punto di riferimento mondiale per l'utilizzo e lo sviluppo di questa metodologia<sup>41</sup>.

Tra le più grandi introduzioni vi sono: la determinazione dei livelli di definizione degli oggetti digitali (LoD) e la loro scomposizione in livello di dettaglio geometrico (LoG) e livello di dettaglio informativo (LOI); la definizione dei flussi informativi con l'introduzione dei documenti per l'applicazione del BIM al processo delle costruzioni<sup>42</sup>; le procedure di validazione e il controllo ex post; l'introduzione dei livelli di maturità BIM. L'obiettivo di questi ultimi, in particolare,



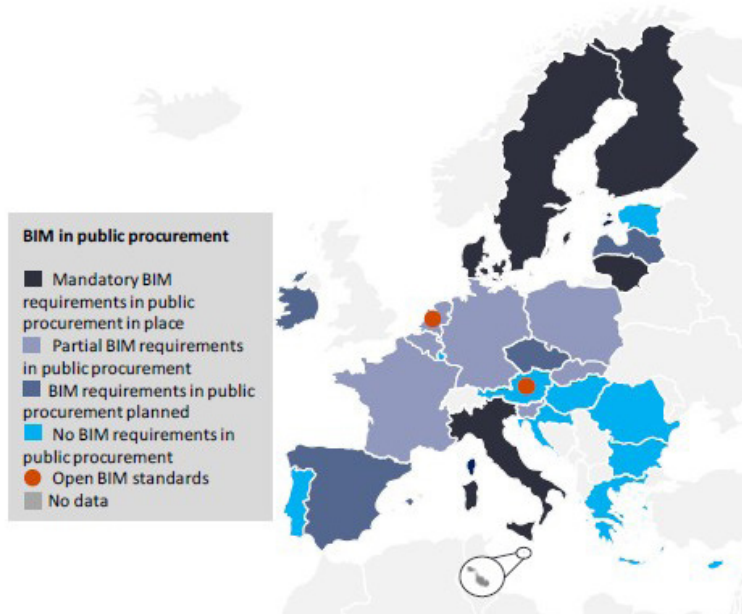


Fig. 9. Mappa dell'obbligatorietà del BIM negli appalti pubblici nell'Unione Europea. (Fonte: ECSO survey, 2020).

è quello di illustrare il progressivo processo di transizione dal CAD bidimensionale al BIM, con il fine di stabilire delle milestones riconoscibili nell'adozione di tale metodologia, prevedendo per ognuna di esse il raggiungimento di specifici obiettivi. La classificazione è suddivisa in quattro livelli, da 0 a 3, che mostrano vari stadi di integrazione della metodologia collaborativa BIM all'interno del processo edilizio. Il livello 0 rappresenta l'approccio tradizionale, caratterizzato dall'utilizzo di disegni bidimensionali CAD con documenti cartacei e nessuna collaborazione.

Il livello 1 è caratterizzato da una parziale collaborazione e da una migliore gestione delle informazioni, generate mediante l'utilizzo di CAD 2D e 3D.

Il livello 2 è contraddistinto dall'utilizzo di metodologie BIM nella fase di progettazione e costruzione, principalmente per lavori pubblici. La gestione delle informazioni avviene mediante la realizzazione e l'utilizzo di modelli informativi, ma il sistema di consegne è ancora caratterizzato da elaborati bidimensionali, estratti in questo caso dai modelli BIM. Il livello 3, infine, corrisponde a un processo completamente digitale in cui è possibile sostituire ed eliminare completamente le copie cartacee di tavole e documenti. In questo livello il BIM viene utilizzato per la gestione dell'intero ciclo di vita di un edificio, la collaborazione tra diverse figure professionali è completa, e avviene mediante l'utilizzo di formati aperti e interoperabili.

Il Livello 2 corrisponde al livello di maturità raggiunto, o che si aspira raggiungere oggi. Tale livello è stato conseguito nel Regno Unito nel 2016, anno in cui è stata adottata la nuova strategia con l'obiettivo del raggiungimento del Livello 3 entro il 2020<sup>45</sup>.

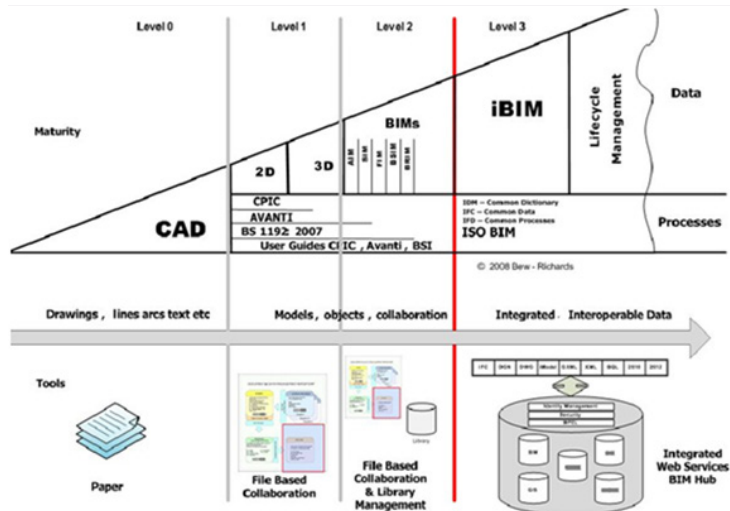


Fig. 10. Triangolo di Bew-Richards che definisce i livelli di maturità BIM ripresi e pubblicati in Inghilterra con la PAS 1192:2013. (Fonte: PAS 1192:2013).

Tra i paesi con il più alto livello di adozione vi è poi la Danimarca, che rappresenta oggi uno dei paesi sviluppati nel settore della digitalizzazione delle costruzioni e in particolare nell'adozione della modellazione BIM. Già dal 2013 nel paese è stato emesso l'*Executive Order No. 118* (noto come Danish BIM Mandate) in cui è stato richiesto di adottare la metodologia BIM nei progetti di grandi dimensioni, che siano essi di nuova costruzione o che riguardino il recupero degli edifici esistenti; negli appalti pubblici al di sopra dei 700.000 € e nei progetti finanziati con fondi pubblici di importo superiore a 2,7 milioni. L'utilizzo del BIM nel paese è oramai totalmente integrato nella prassi comune e il livello di maturità oscilla tra il livello 2 e il 3.

La maggior parte dei progetti su larga scala, infatti, sono gestiti in modalità digitale, e negli ultimi anni si sta procedendo alla digitalizzazione e al trasferimento su piattaforme digitali dell'intero patrimonio edilizio del paese. In parallelo con tutto ciò, gli enti semi-governativi stanno procedendo con la stesura di nuovi standard con il fine di implementare ulteriormente tali strumenti digitali.

A differenza della Danimarca e dell'Inghilterra, invece, in Germania la transizione digitale è stata promossa a partire dal 2015 mediante un approccio dal basso verso l'alto, partendo dalle associazioni, e dai gruppi di lavoro locali, con il supporto economico del Ministero delle Infrastrutture e Costruzioni Digitali. La strategia è stata basata sulla realizzazione di progetti pilota per testare i benefici del BIM, con il fine di sviluppare solo successivamente degli standard specifici.

Ad oggi circa il 70% delle imprese edili tedesche, in particolar modo aziende di architettura e design, utilizza il BIM a diversi livelli con un livello di maturità medio pari a 2, anche se l'utilizzo in modo non strutturato ed uniforme (livello di maturità 1) è ancora largamente utilizzato.

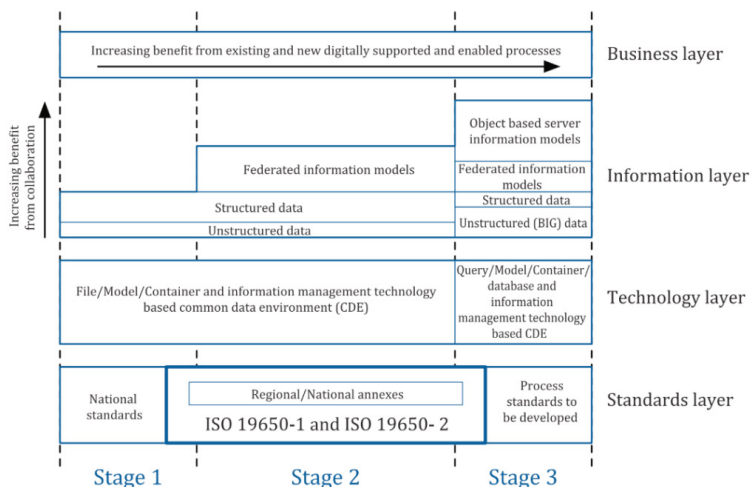


Fig. 11. Stadi di maturità definiti dalla UNI EN ISO 19650: 2019. (Fonte: UNI EN ISO 19650: 2019).

Da aprile 2016 le stazioni appaltanti possono richiedere nei contratti di appalto l'utilizzo del BIM, dal 2017 il BIM è obbligatorio per progetti di valore superiore a 100 milioni di euro e, in seguito della realizzazione di sette progetti pilota BIM, realizzati nell'ambito di un progetto governativo denominato BIM4INFRA2020, dal 31 dicembre 2020 il suo utilizzo è diventato obbligatorio per tutti i contratti pubblici inerenti alla realizzazione di infrastrutture. Dal 2020, inoltre, il BIM dovrebbe essere applicato regolarmente ed obbligatoriamente per la pianificazione e la realizzazione di grandi progetti nel settore dei trasporti e delle infrastrutture pubbliche.

Ad oggi però, al di fuori delle ISO, non esistono ancora degli specifici standard nazionali da poter utilizzare nei contratti pubblici. Per sopperire a queste criticità numerose aziende hanno fondato un gruppo, il *Planen Bauen 4.0*, con il fine di supportare attivamente l'implementazione del BIM nel paese. Accanto a queste iniziative private, il governo ha aperto un Centro per la Digitalizzazione dell'industria delle costruzioni, che ha l'obiettivo di standardizzare le procedure BIM, offrire consulenze e supporto per i progetti, e sviluppare dei piani di formazione per le nuove competenze BIM.

### *Il BIM in Italia*

Nonostante il ritardo iniziale nell'adozione del BIM in Italia, dovuto alle difficoltà derivanti da questo cambio di metodologia che necessita un aggiornamento da parte sia delle figure professionali che prendono parte alla progettazione, sia delle pubbliche amministrazioni, è stata registrata in questi ultimi anni una progressione costante nella sua introduzione e nel suo utilizzo<sup>44</sup>.

Il grado di conoscenza e utilizzo del BIM e le potenzialità derivanti dal suo impiego fra gli operatori del settore sono stati indagati da ASSOBIM, che nel 2020 ha pubblicato a riguardo la seconda

edizione del BIM Report: documento redatto sulla base di un'indagine sul mercato effettuata mediante l'intervista a un campione di centinaia di professionisti vari<sup>45</sup>.

Dalle indagini di ASSOBIM, emerge che, nonostante oltre il 70% del campione non abbia partecipato nel 2020 a gare che prevedono l'utilizzo di modelli BIM nei documenti di gara, vi è comunque stata una costante crescita nella sua adozione tra gli operatori intervistati. Dalle risposte al questionario, infatti, è emerso che il 70% del campione (il 6,7% in più rispetto all'anno precedente) utilizza già con intensità diverse il BIM nelle proprie attività e che, di questi, il 20% dei professionisti ha introdotto il BIM nella pratica professionale nel 2019 (il 51% in più rispetto alla prima edizione del rapporto). Risulta inoltre che rispetto alla rilevazione precedente, la percentuale di professionisti e organizzazioni che non utilizzano il BIM si è ridotta della metà, e di questi circa il 50% prevede di introdurlo nell'arco di massimo 5 anni.

Sulla base delle risposte date dagli operatori che hanno partecipato al questionario, nonostante la quota dei professionisti non ancora dotati di competenze consolidate in ambito BIM sia ancora elevata (all'incirca il 35%), dal sondaggio emerge una progressiva crescita quantitativa e qualitativa delle stesse, e in particolare, per quanto riguarda l'introduzione di figure professionali BIM certificate all'interno delle strutture aziendali, rispetto al 2019 risulta un incremento del 13% (per un totale del 23%) degli staff che hanno già delle figure professionali certificate o che hanno avviato un percorso di certificazione, e un ulteriore 27% delle imprese dispone di figure professionali BIM ma non ancora certificate.

In accordo con il quadro emergente dalle indagini di ASSOBIM, l'associazione delle organizzazioni di ingegneria, di architettura e di consulenza tecnico-economica, in seguito alla pubblicazione dell'ultimo rapporto sulle gare è stata richiesta la presentazione di offerte in BIM o requisiti legati al BIM per i bandi pubblicati nel 2022, sottolinea come il BIM sia oramai una realtà consolidata presso gli operatori economici, siano essi società di progettazione, grandi imprese, stazioni appaltanti e committenze, pubbliche o private strutturate<sup>46</sup>. Il rapporto sulla richiesta e l'utilizzo delle metodologie BIM nell'ambito dei bandi pubblici evidenzia, infatti, un incremento esponenziale delle gare in cui le stazioni appaltanti hanno richiesto l'utilizzo del BIM nell'ambito delle prestazioni di servizi di ingegneria e architettura.

Si è passati infatti dal 2015, anno in cui il numero di gare BIM è stato solo di 4, al 2016 in cui il numero è salito a 26, al 2017 in cui sono state indette 83 gare BIM, al 2018, in cui il numero di bandi pubblicati con riferimento al BIM è salito a 302, al 2019, anno in cui il numero di gare BIM indette è stato di 478, per un totale di 296 milioni, al 2020, in cui il numero di bandi rilevati è stato di 560, per un importo di affidamenti pari a 711,6 milioni di euro, pari cioè al 29,5% del totale dei bandi emessi per servizi di ingegneria e architettura. Nel 2021, è stato registrato un calo dei bandi, che infatti sono stati 534, mentre nel 2022, infine, è stato registrato un incremento nel numero di bandi

pari all'87,7% sul 2021, con un totale di 1003 bandi. Una importante spinta verso un maggiore uso del BIM è stata data dall'introduzione e dalla pubblicazione di numerose normative che hanno guidato l'Italia verso l'allineamento con le direttive e gli standard europei.

Per quanto riguarda le opere pubbliche, in particolare, l'incremento esponenziale del numero di bandi BIM è sicuramente dovuto al decreto del MIT del 1° dicembre 2017 n. 560, che definisce le modalità e le tempistiche per la progressiva introduzione dell'obbligatorietà della metodologia BIM per l'edilizia e le infrastrutture<sup>47</sup>. È da sottolineare però che il crescente utilizzo del BIM deriva altresì da una maturazione della procedura, degli standard e dei software disponibili, dalla crescita culturale che sta avvenendo, da un incremento della conoscenza di questa metodologia e della consapevolezza dei vantaggi offerti dal suo utilizzo. A conferma di ciò il rapporto dell'OICE evidenzia come dei 560 bandi del 2020, il 65,4% si colloca nel mercato delle gare sopra soglia, ed è perciò coerente con quanto richiesto dal D.M. 560/17, mentre la restante parte è costituita da gare in cui le stazioni appaltanti hanno comunque fatto riferimento agli strumenti di modellazione elettronica, però in modo completamente volontario.

Per quanto riguarda la distribuzione geografica per macroregioni dei bandi BIM rilevati nel 2020 vede per la prima volta le regioni del Centro con un ruolo preponderante con 200 bandi (con un incremento del 65,3% rispetto al 2019), seguite dal meridione con 168 bandi, dal Nord-Ovest con 84 e dal Nord-Est con 67 bandi (con una riduzione del numero di bandi rispetto all'anno precedente del 28,7%), e infine dalle isole con 41 bandi<sup>48</sup>.

Dei bandi di gara effettuati, inoltre, l'80,4% ha riguardato le opere puntuali, in particolare di edilizia direzionale e per uffici, di edilizia scolastica e sanitaria, e il 19,6% alle opere lineari. Infine, la maggior parte di tali bandi (il 53,0%) ha trattato interventi di ristrutturazione su manufatti edilizi esistenti.

## 2.5 Il contesto normativo italiano

Nel 2016 il Governo italiano ha emanato il Decreto Legislativo n.50, che recepisce la normativa europea e attua le direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE. Quest'ultimo, comunemente conosciuto come "Codice dei Contratti Pubblici", aggiornato con modifiche nel 2022, disciplina i contratti di appalto e di concessione pubblici ed introduce, per la prima volta, la possibilità per le stazioni appaltanti di richiedere "per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi" l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici che utilizzino "piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari".

Successivamente, con l'adozione del cosiddetto "Decreto BIM", il D.M. n. 560 del 1° dicembre 2017, il Ministero ha sancito il passaggio da un sistema basato sull'utilizzo di elaborati grafici su supporto cartaceo ad un sistema a modelli informativi elettronici, tipico del BIM.

Il decreto BIM definisce le modalità e i tempi della progressiva introduzione dell'obbligatorietà di metodi e strumenti elettronici specifici, "quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture", sulla base degli intervalli di importi posti a base di gara e della natura di complessità dei lavori (Art. 6), specificando, inoltre, che l'utilizzo degli stessi si estende a tutte le fasi del processo edilizio, dalla progettazione, alla costruzione e, infine, alla gestione, ivi comprese le attività di verifica.

Nello specifico le tempistiche per l'introduzione del BIM prevedono l'obbligatorietà:

- dal 1° gennaio 2019, per i lavori complessi di opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro;
- dal 2020, per lavori complessi di opere di importo pari o superiore a 50 milioni di euro;
- dal 2021 per lavori complessi di opere di importo pari o superiore a 15 milioni di euro;
- dal 2022 per le opere di importo pari o superiore alla soglia di rilevanza comunitaria;
- dal 2023 per le opere di importo pari o superiore a 1 milione di euro;
- dal 2025 per le opere di importo inferiore a 1 milione di euro.

Il decreto stabilisce, inoltre, che le stazioni appaltanti devono utilizzare piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari e che i contenuti informativi, opportunamente relazionati ai modelli tridimensionali *object-oriented*, devono poter essere richiamati in qualunque fase e da ogni attore del processo.

All'inizio del 2017, come aggiornamento dell'originaria UNI 11337:2009 in cui sono stati introdotti i concetti di BIM e di digitalizzazione del settore delle costruzioni, è stata istituita ed approvata in via definitiva la UNI 11337:2017 denominata "Edilizia e opere in ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni"<sup>49</sup>.

La UNI costituisce la prima norma tecnica italiana sul BIM ed ha come fine quello di normare l'utilizzo dei processi BIM e di guidare la transizione digitale.

Questa normativa volontaria è strutturata in dodici parti di cui alcune in corso di pubblicazione<sup>50</sup>. Ad oggi sono state pubblicate le parti 1-4-5-6, risalenti all'inizio del 2017, che si sono aggiunte alla già esistente parte 3 del 2009, rimasta in vigore dal precedente impianto normativo e aggiornata nel 2015, mentre nel 2018 è stata pubblicata la parte 7<sup>51</sup>.

La parte 1 denominata "Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi", tratta e definisce gli "aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel settore delle costruzioni", fra cui: la struttura dei veicoli informativi; la struttura informativa del processo; la struttura informativa del prodotto.

La norma è applicabile a qualsiasi tipologia di prodotto, sia esso un edificio o una infrastruttura, di nuova costruzione o esistente, e a qualsiasi tipologia di processo, dall'ideazione, alla produzione o all'esercizio.

In questa parte vengono analizzate le due modalità di trasmissione di dati e informazioni nel settore delle costruzioni che sono: gli elaborati

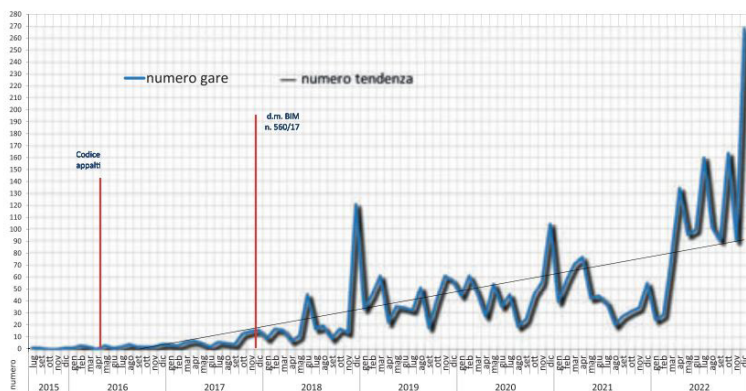


Fig. 12. Andamento del numero dei bandi BIM in Italia. (Fonte: Rilevazione OICE gare BIM 2022).

Anno	Bandi BIM		Totale bandi per S.A.I.		% dei bandi BIM	
	numero	importo	numero	importo	numero	importo
2017	83	30.471.303	6.042	1.196.242.013	1,4%	2,5%
2018	302	291.526.814	5.890	1.250.230.624	5,1%	23,3%
2019	478	296.317.150	5.938	1.501.921.653	8,0%	19,7%
2020	560	711.615.642	5.335	4.421.786.501	10,5%	16,1%
2021	534	360.031.600	5.927	2.133.780.556	9,0%	16,9%
2022	1.003	2.103.672.026	5.335	4.421.786.501	18,8%	47,6%
Confronti percentuali						
2021/2020	-4,6%	-49,4%	-7,9%	-11,6%	-	-
2022/2021	87,8%	484,3%	-10,0%	107,2%	-	-

Fig. 13. Numero di bandi BIM in Italia sul totale. (Fonte: Rilevazione OICE gare BIM 2022).

informativi (digitali e non) intesi come veicoli di rappresentazione e i modelli informativi digitali, intesi come veicoli di virtualizzazione. Nella parte 1 sono definiti, inoltre, gli ambienti di condivisione e conservazione organizzata di dati e documenti, quali:

- l'ACDat, ambiente di condivisione dati digitale, luogo in cui vengono raccolti i modelli, gli oggetti e gli elaborati informativi, digitali riferiti a una sola opera o a un singolo complesso di opere;
- l'ACDoc, concepito come un ambiente fisico di conservazione e condivisione dei documenti non digitali, quali ad esempio gli originali cartacei di precedenti documentazioni, e le eventuali riproduzioni su supporto non digitale di elaborati, anche estratti dai modelli informativi.

Al fine di rendere più efficiente il flusso informativo, però la norma afferma che deve preferirsi l'impiego di modelli informativi. A tale scopo sono definiti i livelli di maturità informativa digitale italiani in base all'utilizzo di diverse tipologie di contenuti informativi; questi livelli sono quattro e partono dal livello 0, costituito da elaborati informativi non digitali, fino ad arrivare al livello 4 definito "ottimale", costituito interamente da modelli eventualmente accompagnati da elaborati informativi estrapolati dagli stessi.

La parte 3 "Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione", pubblicata

Macroregioni *	2019		2020		Differenza % 2020/2019
	numero	%	numero	%	
Nord - Ovest	74	15,5%	84	15,0%	13,5%
Nord - Est	94	19,7%	67	12,0%	-28,7%
Centro	121	25,3%	200	35,7%	65,3%
Meridione	128	26,7%	168	30,0%	31,3%
Isole	61	12,8%	41	7,3%	-32,8%
Totale	478	100,0%	560	100,0%	17,2%

\* Nord - Ovest: Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Lombardia  
 Nord - Est: Trentino AA, Veneto, Friuli V. Giulia, Emilia Romagna  
 Centro: Toscana, Umbria, Marche, Lazio  
 Meridione: Abruzzo, Molise, Campania, Basilicata, Puglia, Calabria  
 Isole: Sicilia, Sardegna

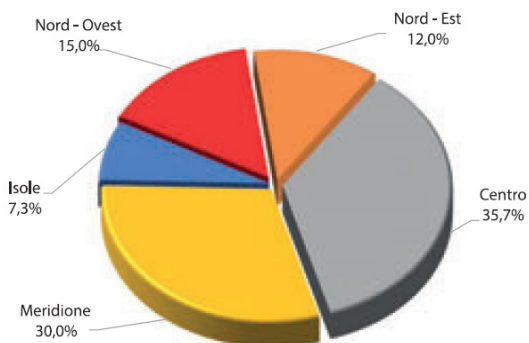


Fig. 14. Bandi BIM del 2020 suddivisi per macroregioni. (Fonte: indagine OICE sul BIM 2020).

come specifica tecnica nel 2015 ed ora in via di revisione, ha lo scopo di definire le schede informative per raccogliere e archiviare i dati e le informazioni tecniche riguardanti i prodotti da costruzione.

La parte 4 “Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti”, interessa gli aspetti qualitativi e quantitativi dei contenuti informativi del processo edilizio che supportano la fase decisionale, con il fine definire standard comuni inerenti ai livelli di sviluppo informativo degli oggetti digitali (LoD) in base alle fasi del processo, agli obiettivi informativi e agli usi dei modelli. I LoD, richiesti dal committente del capitolato informativo, definiscono la qualità e la quantità dei dati e delle informazioni collegate all’oggetto digitale e sono funzionali al raggiungimento degli obiettivi informativi richiesti al modello.

I livelli di sviluppo degli oggetti definiti dalla UNI sono costituiti dal Livello di sviluppo degli attributi grafici, geometrici (LoG), e dal livello di sviluppo degli attributi non grafici, informativi (LOI), e sono misurati in una scala di classificazione alfabetica che va dal LoD A (oggetto simbolico) al LOD G (oggetto aggiornato); il passaggio da un LOD al successivo corrisponde ad un incremento delle informazioni e della loro qualità. Infine, sempre nella parte 4, sono definiti gli stati di lavorazione e di approvazione del contenuto informativo, entrambi suddivisi in quattro livelli.

La parte 5 “Flussi informativi nei processi digitalizzati”, si occupa



di definire i ruoli, le regole ed i flussi necessari per la gestione del processo utilizzando la metodologia BIM e introduce i concetti di Capitolato Informativo (CI), offerta di Gestione Informativa (oGI) e piano di Gestione Informativa (pGI)<sup>52</sup>.

La parte quinta, inoltre, definisce le modalità e i livelli di coordinamento dei modelli, le procedure di analisi e di risoluzione delle interferenze (*clash detection*) e incoerenze (*BIM validation, model e code checking*) tra i modelli disciplinari e i livelli di verifica dei dati, delle informazioni e dei contenuti informativi degli stessi.

La parte 6 contiene le linee guida per la redazione del capitolato informativo, introdotto nella parte 5, con le indicazioni procedurali e uno schema generale per favorirne l'introduzione e l'uso da parte delle committenze in base alle loro finalità.

La parte 7 tratta i "Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa". Quest'ultima parte, pubblicata nel 2018, si occupa di identificare le quattro nuove figure professionali necessarie per la gestione digitale dei processi edilizi e di definire le competenze e le mansioni di ogni figura. Le parti 2, 8, 9 e 10 sono invece ancora in via di pubblicazione e tratteranno rispettivamente: i criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi; la definizione delle linee guida di applicazione del BIM ai processi di settore; la definizione delle regole per la costruzione e l'utilizzo delle piattaforme di collaborazione e per la creazione del "Fascicolo del Costruito" digitale; la gestione amministrativa e la manutenzione digitale.

La norma UNI 11337 è la prima norma italiana a definire delle procedure per normare e facilitare l'utilizzo del BIM all'interno del processo edilizio, analizzando il contesto internazionale e adattando queste normative e best practice esistenti alle specifiche esigenze del contesto nazionale<sup>53</sup>.

Tra le nuove normative BIM pubblicate c'è lo standard internazionale UNI EN ISO 19650:2019 – "Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modeling (BIM) - Gestione delle informazioni mediante il Building Information Modeling" -, di cui la UNI si distingue come complementare, che segue il recepimento da parte del CEN delle norme EN ISO 19650-1, EN 19650-2, EN ISO 19650-3 e EN ISO:19650-5.

La norma sarà composta da 5 parti: di queste le parti 1,2,3 e 5 sono già state pubblicate e trattano rispettivamente i concetti e principi per la gestione delle informazioni in uno stadio di maturità denominato "Building Information Modeling (BIM) secondo la serie ISO 19650", la fase di consegna e quella di gestione dei cespiti immobiliari e i principi e i requisiti finalizzati alla sicurezza della gestione informativa alla fase di maturità BIM. Tale fase è identificata nello Stadio di maturità 2, cioè quello in cui si utilizzano una combinazione dei processi di gestione manuali e automatizzati delle informazioni per realizzare un modello informativo federato o aggregato che include al suo interno tutte le informazioni necessarie per gestire un bene o una commessa. Lo standard si applica all'intero ciclo di vita di un manufatto, inclusa

la pianificazione strategica, la progettazione iniziale, l'ingegneria, lo sviluppo, la preparazione della documentazione per gli incarichi e la costruzione, il funzionamento operativo quotidiano, la manutenzione, il rinnovamento, la riparazione e la fine del ciclo di vita.

Tra le innovazioni di questa norma vi è il trattamento del BIM come protocollo di scambio delle informazioni basato sulla produzione collaborativa delle stesse e sulla definizione degli specifici requisiti informativi, non solo dell'immobile ma anche della commessa.

Nel capitolo 5 della ISO 19650-1, infatti, con il fine di realizzare un flusso di lavoro e di scambio delle informazioni più consapevoli, vengono introdotti dei nuovi documenti regolatori (tratti dalle PAS 1192-2:2013 e PAS 1192-3:2014) e viene stabilita una gerarchia dei requisiti informativi.

Il processo è suddiviso in tre livelli: Organizzazione, Project o commessa, e Asset. Per ognuno di questi livelli è prevista la redazione di un documento inerente ai requisiti informativi specifici:

- requisiti informativi dell'organizzazione – OIR;
- requisiti informativi della commessa – PIR;
- requisiti informativi del cespite immobile – AIR;
- requisiti di scambio delle informazioni – EIR.

A questi si aggiunge il piano di consegna delle informazioni - l'IPD mentre i prodotti finali del flusso informativo sono:

- il modello informativo relativo alla fase di consegna – PIM;
- il modello relativo alla fase gestionale – AIM.

Questi ultimi affiancheranno il Capitolato Informativo, l'offerta e il piano di gestione informativa, definiti nella UNI 11337 – 5 e 6, e contribuiranno a determinare le specifiche tecniche necessarie per completare il flusso informativo. Una delle introduzioni più significative della norma, inoltre, è l'introduzione dei livelli di fabbisogno informativo, ovvero i LOIN - *Level of Information Need* - (ISO 19650 – 1 cap 11.2) che dovranno essere rispettati da ogni elemento del modello e che sostituiranno i precedenti LOD, ovvero livelli di sviluppo informativo, - definiti in Italia dalla UNI 11337-4:2017 – con il fine di garantire maggior flessibilità ed efficacia nei processi<sup>54</sup>.

La norma sottolinea che il livello di fabbisogno informativo dovrebbe essere determinato dalla quantità minima di informazioni necessarie in base al suo scopo, con il fine di “rispondere a ciascun requisito rilevante, incluse le informazioni richieste dagli altri soggetti incaricati e non di più”; tutto quello che va oltre questo minimo contenuto informativo è considerato spreco. Lo scopo della definizione di questo livello di fabbisogno informativo è quindi quello di evitare la sovrabbondanza di informazioni non necessarie che incide negativamente sullo sviluppo del progetto e sulla fluidità dei flussi di scambio informativi<sup>55</sup>.

Fra le più recenti normative vi è la prassi di riferimento UNI/PDR 74 pubblicata nel 2019, denominata “Sistema di gestione BIM – Requisiti”, il cui fine è quello di definire i requisiti di un sistema di gestione BIM (SGBIM) che un'organizzazione deve attuare per rendere più efficiente il processo di programmazione, progettazione, produzione, esercizio ed eventuale dismissione. Questi requisiti sono redatti in coerenza con la norma UNI EN ISO 9001:2015 e

rappresentano i presupposti per la certificazione del sistema di gestione per la qualità BIM.

A questo framework normativo si unisce la UNI EN 17412-1: 2021, pubblicata a gennaio 2021, denominata “Building Information Modelling - Livello di fabbisogno informativo - Parte 1: Concetti e principi”, che riguarda i concetti e i principi per la definizione del livello di fabbisogno Informativo (LOIN), già introdotto in via generica dalla ISO 19650, e per la consegna delle informazioni in modo coerente in ambito BIM.

Il fine della norma è quello di ottimizzare la qualità dello scambio informativo tra committente ed affidatario, strutturando con una maggiore chiarezza le specifiche dei prerequisiti informativi all'interno di una commessa.

La definizione dettagliata dei prerequisiti risulta fondamentale per ottenere dei processi digitali più efficaci.

La determinazione delle informazioni necessarie, delle scadenze entro cui devono essere fornite, dei responsabili della produzione e del controllo delle stesse e degli elementi a cui devono essere associate, infatti, consente di migliorare la flessibilità e l'efficacia dei processi BIM, riducendo, inoltre, le difficoltà inerenti al soddisfacimento di livelli di sviluppo prestabiliti e alla libera interpretazione dei requisiti. Infine, si aggiunge il nuovo decreto MIMS del 2 agosto 2021 n. 312. Quest'ultimo si inserisce nel panorama di normative volte ad incoraggiare la ripresa economica a seguito della paralisi dovuta alla pandemia, snellendo e semplificando le procedure di affidamento. Il decreto, nato per attuare l'art. 48 comma 6 del Decreto Semplificazioni Bis (convertito in legge nel 2021), introduce delle modifiche alla graduale obbligatorietà di introduzione del BIM negli appalti pubblici, al fine di ridurre il divario tra la normativa e la reale situazione attuale.

In particolare, il nuovo decreto prevede l'obbligo:

- “per le opere di nuova costruzione, ed interventi su costruzioni esistenti, fatta eccezione per le opere di ordinaria e straordinaria manutenzione di importo a base di gara pari o superiore alla soglia di cui all'articolo 35 del codice dei contratti pubblici a decorrere dal 1° gennaio 2023;
- per le opere di nuova costruzione, ed interventi su costruzioni esistenti, fatta eccezione per le opere di ordinaria e straordinaria manutenzione di importo a base di gara pari o superiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2025;
- per le opere di importo a base di gara inferiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2025.”

Il ritardo nell'obbligatorietà viene però compensato dall'introduzione del BIM tra i punteggi premiali nell'ambito dei criteri di aggiudicazione delle offerte.

## **2.6 Linee avanzate di ricerca e questioni aperte**

In conclusione, nonostante le difficoltà che l'adozione e l'esteso utilizzo di questa metodologia comportano per gli operatori, dovute

agli importanti cambiamenti nelle procedure, pratiche e flussi di lavoro, ormai consolidati da tempo, e agli investimenti iniziali rilevanti - in termini di costi, formazione, implementazione e dotazione di beni strumentali - che ne stanno parzialmente rallentando l'introduzione, è indiscutibile che il BIM sia uno strumento prezioso per la rappresentazione e la gestione informativa dei manufatti. Dallo studio del contesto attuale, infatti, emerge un panorama BIM in costante crescita, non solo sotto il profilo dei numeri ma anche delle competenze, delineando una curva di introduzione e utilizzo tendenziale sostanzialmente positiva<sup>56</sup>. Tale andamento, legato alla maturità dei processi, degli strumenti e della mentalità, è certamente dipendente in larga parte dalle numerose normative vigenti, Italiane ed Europee, che ne testimoniano, inoltre, l'importanza assunta all'interno del settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle imprese, sia per quanto riguarda gli edifici di nuova costruzione che il costruito storico (il cosiddetto HBIM, ossia *Historic Building Information Modeling*).

Il livello di maturità raggiunto nell'utilizzo dei processi BIM, sta spingendo sempre di più verso l'integrazione di tali ambienti con software esterni al fine di ampliare gli utilizzi del BIM e i benefici derivanti dal suo impiego anche a nuove tematiche.

Tra le più recenti linee di ricerca vi è l'integrazione tra il BIM e il GIS per la modellazione informativa multiscalare, che consente la documentazione dei beni passando da una scala urbanistica ad una architettonica, permettendo di raggiungere in questo modo una comprensione più profonda del manufatto<sup>57</sup>.

Il *Geographical Information System* (GIS), nato per la documentazione, la gestione e l'analisi di dati spaziali relativi ad ambienti urbani e territoriali, si fonda sull'associazione dei dati a precise posizioni geografiche basate su mappe. Gli ultimi sviluppi hanno portato alla creazione dei sistemi 3D GIS, che consentono il collegamento delle informazioni direttamente agli oggetti tridimensionali e l'organizzazione delle stesse in database relazionali, con notevoli miglioramenti nella gestione, nell'analisi e nella visualizzazione dei dati sugli edifici e sul territorio<sup>58</sup>.

L'integrazione di BIM e GIS potrebbe quindi rappresentare un'opportunità per integrare la conoscenza architettonica con le caratteristiche del contesto circostante e fornire la possibilità di creare progetti più efficienti e sostenibili<sup>59</sup>.

A questo filone di ricerca si aggiungono le sperimentazioni relative all'integrazione tra BIM e le tecniche di *Virtual Reality* (VR) e *Augmented Reality* (AR), e le piattaforme cloud per la fruizione e la collaborazione tra i diversi operatori.

Le odierne tecnologie di accesso da remoto alle informazioni contenute nel modello BIM, infatti, si stanno rivelando una interessante opportunità di sviluppo nell'ambito della gestione delle opere edilizie. La visualizzazione dei dati tramite la condivisione del modello, che può essere fruito in maniera interattiva anche in sito, offre la possibilità di potenziare ancora di più l'aspetto collaborativo già in sito nel processo BIM, evitando possibili inconsistenze.

L'opportunità di lavorare con applicazioni mobili connesse al modello BIM in cloud favorisce l'interazione tra i diversi operatori, compreso il personale tecnico operante in sito. Quest'ultimo, opportunamente formato, può navigare il modello, visualizzare le informazioni, prendere note direttamente nella piattaforma e comunicare in tempo reale con le altre figure professionali che fanno parte del team di lavoro<sup>60</sup>.

In particolar modo, la possibilità di condividere modelli e informazioni tramite piattaforme cloud consente la collaborazione anche con utenti non esperti, i quali possono accedere alle stesse mediante un'interfaccia semplificata, anche senza conoscere i software BIM. La condivisione attraverso l'utilizzo di queste piattaforme permette inoltre di soddisfare il duplice fine di comunicazione e collaborazione: l'accesso ai modelli e alle informazioni può infatti essere graduato mediante la creazione di chiavi di accesso che consentono di stabilire quali informazioni rendere visibili e quali modificabili, a seconda dei fini e delle competenze degli utenti.

Infine, tra le applicazioni più recenti vi è l'integrazione tra BIM e il *Computational Design*, e in particolare la programmazione visuale (*Visual Programming Language -VPL*) al fine di implementare la capacità di gestire grandi quantità di dati in modo gerarchico e semantico, di automatizzare parte dei processi di compilazione e analisi, e di facilitare il dialogo tra il software di Building Information Modelling e applicazioni esterne, quali ad esempio Excel o SQL per ampliare il database del modello BIM collegandolo a database esterni, garantendo l'interoperabilità e lo scambio bidirezionale delle informazioni.

## Note

1. V. ZACCHEI, *Building information modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione*, Ariccia, Aracne, 2010.
2. C. EASTMAN, *An Outline of the Building Description System*, in «Research report no. 50», Pittsburgh, Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University, 1974.
3. C. EASTMAN, *The Use of Computers Instead of Drawings*, in «AIA Journal», 63, 1975, pp. 46-50.
4. A. PAVAN, C. MIRARCHI, M. GIANI (a cura di), *BIM: Metodi e Strumenti; Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*, Milano, Tecniche Nuove, 2017; S. GARAGNANI, S. CINTI LUCIANI, R. MINGUCCI, *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, in «DISEGNARECON», 4, 2011, pp. 5-19.
5. NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, *United States National Building Information Modeling Standard. Version 1 - Part 1: Overview, Principles, and Methodologies. Transforming the Building Supply Chain Through Open and Interoperable Information Exchanges*, Washington DC, National Institute of Building Sciences, 2007.
6. F. FATIGUSO, S. BRUNO, A. MUSICCO, *HBIM nei progetti di recupero e restauro: gestione informativa e automatizzata dei processi di*

- diagnostica*, 2020. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/25830-hbim-nei-progetti-di-recupero-e-restauro-gestione-informativa-e-automatizzata-dei-processi-di-diagnostica> [17 dicembre 2022].
7. C. EASTMAN, P. TEICHOLZ, R. SACKS, K. LISTON, *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, Hoboken, John Wiley & Sons, 2008.
  8. Questa collaborazione è resa possibile grazie all'interoperabilità garantita dal BIM, mediante l'utilizzo di formati standard internazionali, quali ad esempio l'*Industry Foundation Classes*.
  9. E. SATTANINO, *I LOD nelle scale di LOD USA, UK, ITA*, 2018. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/18926-i-loi-nelle-scale-di-lod-usa-uk-ita> [27 novembre 2022]
  10. BIM FORUM, *Level of Development Specification*, 2013. Disponibile in: [https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum\\_LOD\\_2013\\_reprint.pdf](https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2013_reprint.pdf) [21 dicembre 2022]; BIM FORUM, *Level of Development (LOD) Specification Part I & commentary*, 2020. Disponibile in: <https://bimforum.org/resources/Documents/LOD%20Spec%202020%20Part%20I%202020-12-31.pdf> [27 novembre 2022].
  11. M. BOLPAGNI, *The Many Faces of 'LOD'*, 2016. Disponibile in: <http://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html> [26 settembre 2022]; A. CIRIBINI, *Level of Detail e Level of Development: i processi di committenza e l'Information Modelling*, in «TECHNE», 6, 2013, pp. 90-99.
  12. La software house nel 2004 ha sviluppato il *Model Progression Specification* (MPS) con il fine di facilitare l'organizzazione e la gestione delle informazioni da inserire all'interno dei modelli BIM, mediante l'identificazione dei LOD (*Level of Detail*). Questi ultimi intesi come il quantitativo di informazioni conosciute in uno specifico momento del processo di progettazione, in termini di geometria, tempo e costi.
  13. AIA Document E202TM-2008, *Building Information Modeling Protocol Exhibit*.
  14. AIA Document E203TM-2013, *Building Information Modeling and Digital Data Exhibit*; AIA Document G201TM-2013, *Project Digital Data Protocol Form*; AIA Document G202TM-2013, *Project Building Information Modeling Protocol Form*.
  15. AIA, DOCUMENT G202, *Project Building Information Modeling Protocol Form*, 2013. Disponibile in: <https://content.aia.org/sites/default/files/2016-09/AIA-G202-2013-Free-SamplePreview.pdf> [21 dicembre 2022].
  16. BIM FORUM, *Level of Development Specification*, 2013. Disponibile in: [https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum\\_LOD\\_2013\\_reprint.pdf](https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2013_reprint.pdf) [21 dicembre 2021]; BIM FORUM, *Level of Development (LOD) Specification Part I & commentary*, 2020. Disponibile in: <https://bimforum.org/resources/Documents/LOD%20Spec%202020%20Part%20I%202020-12-31.pdf> [27 novembre 2021].
  17. La decisione di non considerare il LOD 500 all'interno delle specifiche deriva dalla considerazione che tale livello di sviluppo non indica una progressione a un livello informativo maggiore, ma si riferisce alla verifica sul campo delle informazioni già inserite all'interno degli oggetti digitali.

18. L. NISSIM, *La specifica LOD della AIA: un approfondimento*, 2015. Disponibile in: <https://www.ibimi.it/la-specifica-lod-della-aia-un-approfondimento/> [5 dicembre 2022].
19. AEC (UK) BIM Standard, *A practical & pragmatic BIM standard for the Architectural, Engineering and Construction industry in the UK*, Version 1, 2009; AEC (UK) BIM Protocol, *Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry*, Version 2, 2012.
20. Norma volontaria UNI 11337-4: 2017, “*Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti*”.
21. Rispettivamente la prassi di riferimento PAS 1192-2:2013 e le linee guida definite dal BIMForum-AIA.
22. Si veda il paragrafo 3.2 “La procedura HBIM”.
23. UNI EN 17412-1: 2021, “*Building Information Modelling - Livello di fabbisogno informativo - Parte 1: Concetti e principi*”.
24. Per granularità dell’informazione si intende la progressiva riduzione di oggetti sviluppati con un LOD omogeneo, a un insieme di elementi informativi sempre più piccoli e tendenzialmente indipendenti ed eterogenei.
25. A. PAVAN, *Obbligo dei formati aperti, uso cosciente*, 2018. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/21171-obbligo-dei-formati-aperiti-per-la-modellazione-digitale-uso-cosciente> [5 dicembre 2022].
26. La realizzazione di un intero progetto mediante l’utilizzo, da parte di tutte le parti interessate, dello stesso software BIM, o di software appartenenti alla stessa casa produttrice è detto “*closed BIM*”, o “*lonely BIM*”.
27. La struttura e l’organizzazione delle informazioni orientate agli oggetti è stata definita dalla norma UNI EN ISO 16739-1:2020; BUILDINGSMART, *International Industry Foundation Classes - Version 4 - Addendum 1*, 2020. Disponibile in: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD1/HTML/> [26 novembre 2022]; BUILDINGSMART, *What is openBIM?*, 2021. Disponibile in: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/> [27 novembre 2022].
28. Alcuni software consentono piccole modifiche che però non alterano il contenuto dei modelli, permettendo di coordinare e controllare il flusso informativo e le responsabilità dei vari soggetti, rispettando inoltre la proprietà intellettuale dei modelli.
29. L’acronimo XML sta per “*eXtensible Markup Language*” ed è un tipo di linguaggio scritto per computer che consente ai software che lo utilizzano di scambiare tra loro informazioni con poca o nessuna interazione umana.
30. H. BOURG, *Le relazioni nel formato IFC*, 2020. Disponibile in: <https://blog.archicad.it/bim/le-relazioni-nel-formato-ifc-focus> [26 novembre 2022]; A. BORRMANN, J. BEETZ, C. KOCH, T. LIEBICH, S. MUHIC, *Industry Foundation Classes: A standardized data model for the vendor-neutral exchange of digital building models*, in *Building information modelling*, a cura di A. Borrmann, M. König, C. Koch, J. Beetz, Cham, Springer, 2018, pp. 81-126.

31. Data la moltitudine di stati e le scarse informazioni ufficiali riguardo al grado di adozione del BIM in molti dei paesi a livello mondiale, si è scelto di riportare all'interno del paragrafo solo quelli in cui le informazioni disponibili e reperite possono ritenersi attendibili, e il BIM è a uno stadio di maturità più avanzato o in cui, nonostante siano assenti normative statali, il suo utilizzo è ormai entrato a far parte dei processi quotidiani.
32. C. EASTMAN, *An Outline of the Building Description System*, in «Research report no. 50», Pittsburgh, Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University, 1974.
33. Tra i principali documenti troviamo: le *BIM Guides*, pubblicate dalla *General Services (GSA)*, a supporto del programma nazionale per lo sviluppo del 3D-4D-BIM; le linee guida rilasciate dal *National Institute of Building Sciences (NIBS)* nel 2007, che definiscono il *BIM Execution Planning Guide (BEP)* e il *BIM Guidelines di New York*; l'*US National BIM Standard*, del 2017, che stabilisce gli standard per l'uso del BIM nei progetti del settore pubblico e privato; il protocollo *E202™-2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit*, rilasciato dall'*AIA National Documents Committee* nel 2008, in cui sono stati introdotti i cinque "*Levels of Development*", ripresi e aggiornati nel 2013; i *Level of Development Specification* del 2008, che hanno ripreso e sviluppato il concetto di LoD introdotto dall'AIA nel 2008.
34. MCGRAW GILL CONSTRUCTION, *Il valore aziendale del BIM per la costruzione nei maggiori mercati globali*, New York, McGraw-Hill, 2013.
35. Detta norma si limitava a prevedere una possibilità di richiedere l'utilizzo di strumenti elettronici senza renderli obbligatori. Nella direttiva in lingua inglese si parla esplicitamente di Building Information Modelling o strumenti simili (art. 22, c. 4); la versione italiana, invece, rimane più generica e nella traduzione sono stati eliminati gli espressi riferimenti alla modellazione e al BIM.
36. A. O' MALLEY, *BIM adoption in Europe: 7 countries compared*, 2021. Disponibile in: <https://www.planradar.com/gb/bim-adoption-in-europe/> [27 novembre 2022]
37. EUROPEAN CONSTRUCTION SECTOR OBSERVATORY, *ECSO Report*, 2021.
38. Tra questi report vi è l'ECSO REPORT, report della società di software Plan Radar che ha condotto nel 2021 uno studio sul grado di adozione del BIM in Europa analizzando il quadro normativo in vigore nei diversi paesi, la presenza di standard e l'obbligatorietà del BIM a livello normativo, la percentuale di utilizzo dello stesso e il livello di maturità raggiunto all'interno delle società di costruzione.
39. NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, *10<sup>th</sup> Annual BIM Report*, 2020.
40. Nonostante il Regno Unito sia uscito oggi ufficialmente dall'Unione Europea, si è ritenuto opportuno inserirlo all'interno della panoramica europea dal momento che risulta essere ad oggi ancora lo stato trainante per quanto riguarda la transizione digitale di tutti gli Stati Europei, e le sue normative sono utilizzate come base da molti degli altri stati dell'Unione. Uno degli esempi è la UNI EN



ISO 19650 del 2019 che modifica il panorama normativo europeo e nazionale adottando ed utilizzando come base la PAS 1192 del 2013, introducendo a livello internazionale i documenti previsti dalla normativa inglese.

41. A partire dal 2013 il Regno Unito ha sviluppato standard, procedure e protocolli per far fronte a tutti gli aspetti dell'implementazione BIM.

La strategia britannica si appoggia su normative fondamentali, denominate gli otto pilastri del BIM, che sono:

1. La PAS 1192-2:2013 - definisce come debba essere condotto il processo edilizio mediante l'utilizzo della metodologia BIM per le fasi di progettazione e costruzione dell'opera;
2. La PAS 1192-3:2014 - completa la PAS 1192-2 regolando la gestione delle informazioni durante la fase d'uso dell'opera;
3. La BS 1192-4:2014 - regola lo scambio delle informazioni attraverso l'utilizzo del formato standard aperto COBie;
4. I *BIM Protocol* - documento contrattuale rivolto alla modellazione informativa per la gestione degli aspetti contrattuali;
5. Il *Government Soft Landings* (GSL) - insieme di documenti pubblicati nel 2013 dal BIM Task Group con il fine di garantire l'individuazione e la presa in carico, sin dalla prima fase di concepimento dell'opera, dei requisiti e dei bisogni dell'utilizzatore finale;
6. Il *Digital Plan Of Works* - strumento per la pianificazione, l'organizzazione e la codifica del processo;
7. Le *Classification* - affinché i dati possano essere letti correttamente e in modo efficiente dai sistemi software, la classificazione dei dati è un processo critico. L'Uniclass 2015 è uno standard di classificazione sviluppato da NBS, specifico per l'industria delle costruzioni;
8. La PAS 1192-5:2015 - tratta la sicurezza digitale e il BIM.

Infine, l'ultima modifica a livello normativo è stata la pubblicazione dello standard internazionale EN ISO 19650 per la gestione delle informazioni attraverso l'intero ciclo di vita del cespite mediante l'utilizzo del BIM, che aggiorna il panorama normativo inglese e mondiale. Le ISO contengono gli stessi principi dei requisiti stabiliti dalle otto normative appena elencate e sostituiscono e ritirano le BS 1192 e la PS PAS 1192-2, i cui principi sono stati assorbiti nel corpo della ISO.

42. I principali documenti introdotti dalle norme inglesi per la gestione degli appalti in BIM sono l'Employer's Information Requirements (EIR) e il BIM Execution Plan (BEP). Il primo è redatto dal committente o dalla stazione appaltante e contiene tutti i requisiti, le specifiche e le necessità che il progetto o l'offerta devono soddisfare. Il secondo costituisce l'offerta all'appalto e contiene nel dettaglio tutto quello che sarà prodotto e consegnato al committente, in risposta a quanto definito dallo stesso nell'EIR. Quest'ultimo è suddiviso in BEP pre-contract, per la fase di offerta, e il BEP post-contract, che è il BEP vero e proprio redatto, dettagliato e aggiornato in seguito all'aggiudicazione.

43. M. CARRADORI, *The Road to IBIM: Il BIM Nel Regno Unito*, 2017. Disponibile in: <http://www.bis-lab.eu/2017/04/23/the-road-to-ibim-il-bim-nel-regno-unito/> [27 novembre 2022]; tali livelli di maturità

sono stati aggiornati in ultimo nel 2019 con la pubblicazione del nuovo standard internazionale UNI EN ISO 19650, che sostituisce alcuni degli standard precedenti, tra cui la PAS 1192-2. La ISO, in particolare, ripropone e aggiorna il triangolo di Bew-Richards e il concetto di maturità del BIM con uno schema matriciale, articolato in tre stadi di maturità (stages) e in livelli progressivi (layer), in cui vengono identificati i benefici derivanti dalla digitalizzazione dei processi e dall'incremento della collaborazione tra le diverse figure professionali.

44. A. SAGL (2015). *Il BIM in Italia: un quadro della situazione. BIM Report 2015*. Disponibile in: [https://www.impresedilnews.it/files/2016/12/Italian\\_Bim\\_Report\\_2015\\_Anafyo\\_TecnicheNuove.pdf](https://www.impresedilnews.it/files/2016/12/Italian_Bim_Report_2015_Anafyo_TecnicheNuove.pdf) [21 dicembre 2022]; OICE - ASSOCIAZIONE DELLE ORGANIZZAZIONI DI INGEGNERIA, DI ARCHITETTURA E DI CONSULENZA TECNICO-ECONOMICA (2021). *Rapporto sulle gare BIM 2020 per opere pubbliche. Analisi del mercato e delle gare*. Disponibile in: <https://www.bimportale.com/rapporto-bim-oice-2020/> [5 dicembre 2022]; A. MORENO (2016). *BIM, Ance: "Italia in ritardo; necessaria una strategia nazionale"*. Disponibile in: <http://www.ibimi.it/bim-ance-italia-in-ritardo-necessaria-una-strategia-nazionale/> [26 settembre 2022].
45. Il campione scelto è costituito da professionisti di varia natura che include: studi di progettazione, società di engineering, imprese di costruzioni e manutenzioni, società di servizi IT, committenza pubblica e privata, produttori di materiali e componenti, enti della Pubblica Amministrazione, Università e Centri di ricerca (ASSOBIM Report 2020). Tale campione di professionisti è stato scelto con il fine di riflettere nelle caratteristiche essenziali la scala delle realtà professionali italiane e di ottenere quindi, dagli esiti di tale questionario, un quadro emergente particolarmente fedele.
46. OICE - ASSOCIAZIONE DELLE ORGANIZZAZIONI DI INGEGNERIA, DI ARCHITETTURA E DI CONSULENZA TECNICO-ECONOMICA, *Rapporto sulle gare BIM 2019 per opere pubbliche. Analisi del mercato e delle gare*, 2020. Disponibile in: <https://www.oice.it/638197/rapporto-sulle-gare-bim-2019> [5 dicembre 2022]; OICE - ASSOCIAZIONE DELLE ORGANIZZAZIONI DI INGEGNERIA, DI ARCHITETTURA E DI CONSULENZA TECNICO-ECONOMICA, *Rapporto sulla digitalizzazione e sulle gare BIM 2022. Analisi delle gare pubbliche e del mercato*, 2023. Disponibile in: <https://www.oice.it/796795/iscrizioni-aperte-presentazione-6-rapporto-sulla-digitalizzazione-e-sulle-gare-bim-2022> [20 marzo 2023].
47. Il percorso di introduzione graduale dell'obbligatorietà del BIM negli appalti pubblici è entrato in vigore già a partire dal 2019 e procederà per step progressivi fino al 2025. Il calendario dell'obbligatorietà dal 2022 al 2025 è stato modificato e rallentato dal nuovo decreto BIM n. 312 2021.
48. Nei bandi precedenti le regioni con un ruolo preponderante sono sempre state quelle del meridione, normalmente seguite dal centro, dalle regioni del Nord-Est, da quelle del Nord-Ovest e, infine, dalle isole.
49. A. PAVAN, C. MIRARCHI, *La nuova norma UNI 11337, gestione digitale delle costruzioni*, in «Costruire in Laterizio», 167, 2016, pp. 64-67.

50. Le ultime due parti della norma sono state aggiunte solo recentemente e sono ad oggi in lavorazione. La parte 11 tratterà la sicurezza dei dati, il block-chain e i diritti d'autore, mentre la parte 12 si occuperà della qualificazione delle organizzazioni, una volta valutato l'impatto sul mercato della UNI/PdR 74:2019.
51. La norma è in fase di aggiornamento per renderla coerente con la UNI EN ISO 19650:2017, che costituisce oggi la norma di riferimento, e con le evoluzioni degli ultimi anni. Nello specifico le parti ad oggi già pubblicate (1-4-3-5-6-7) sono ad oggi in fase di revisione, invece, le norme non ancora pubblicate saranno direttamente rese conformi con la 19650.
52. In accordo con la PAS 1192-2:2013 il Capitolato Informativo corrisponde all'*Employer Information Requirement* - EIR (oggi modificato in *Exchange Information Requirement* dalla UNI EN ISO 19650:2019). La novità dell'EIR è che non vengono concordati e condivisi solo i termini dello scambio informativo tra i professionisti, ma vengono sviluppati nel dettaglio i contenuti partendo dagli obiettivi del Committente e del progetto, fino alle specifiche tecniche.
- L'offerta e il Piano Di Gestione Informativa, invece, dettagliano le due fasi del *BIM Execution Plan* (BEP), introdotto dalla PAS e confermato dalla UNI EN ISO 19650:2019.
53. A. VERSOLATO, *BIM: il quadro normativo*, 2018. Disponibile in: <https://www.appaltiecontratti.it/2018/05/21/bim-il-quadro-normativo/> [26 novembre 2022].
54. M. DE GREGORIO, *BIM: la normazione nel futuro dell'edilizia*, in «U&C», 8, 2018, pp.19-34; A. PAVAN, C. MIRARCHI, D. CAVALLI, M. DE GREGORIO, *Standard BIM, il mondo dopo la ISO 19650*, 2019. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/26765-standard-bim-ilmondo-dopo-la-iso-19650#:~:text=Nel%20dicembre%202018%20viene%20adottata,-membro%20nel%20corso%20del%202019> [27 gennaio 2023].
55. M. BOLPAGNI, *Nuova norma UNI EN 17412-1: dai LOD al Livello di Fabbisogno Informativo*, 2021. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/29519-nuova-norma-uni-en-17412-1-dai-lod-al-livello-di-fabbisogno-informativo> [26 novembre 2022].
56. CNAPPC, CRESME, *Circolare "BIM-MONITORING". L'innovazione e il mercato in Italia*, 2019. Disponibile in: [http://ordinearchitetti.fe.it/ordine/wp-content/uploads/2019/02/Circ.14\\_164\\_2019-BIM-e-CRESME.pdf](http://ordinearchitetti.fe.it/ordine/wp-content/uploads/2019/02/Circ.14_164_2019-BIM-e-CRESME.pdf) [4 dicembre 2022]; ASSOBIM - ASSOCIAZIONE BIM ITALIANA, *BIM Report 2020: l'analisi sul mercato del Building Information Modeling in Italia*, 2020. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/29037-bim-report-2020-lanalisi-sul-mercato-del-building-information-modeling-in-italia-a-cura-di-assobim> [26 novembre 2022].
57. M. WANG, Y. DENG, J. WOND, J.C.P. CHENGE, *An integrated underground utility management and decision support based on BIM and GIS*, in «Automation en Construction», 107, 2019, pp. 1-22.
58. C. DORE, M. MURPHY, *Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling*, Digital Documentation International Conference (Edinburgh, 22-23 October 2012), 2012.

59. A. OSELLO, M. DEL GIUDICE, N. RAPETTI, F. SEMERARO, *Il BIM per la gestione dei dati alla scala edilizia e urbana*, in «Costruire in laterizio», 167, 2016, pp. 74-79; A. BAIK, R. YAAGOUBI, J. BOEHM, *Integration of Jeddah historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 40 (5/W7), 2015, pp. 29-34.
60. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Building Information Modelling per la gestione e manutenzione di "L'Aquila - Smart Tunnel"*, in *3D Modeling & BIM Nuove frontiere*, a cura di T. Empler, G. M. Valenti, Roma, Dei Tipografia del Genio Civile S.r.l., 2018, pp. 272-283.

### 3. L'H-Building Information Modeling

Il Building Information Modeling, attraverso una modellazione semantica orientata agli oggetti, arricchita da informazioni eterogenee, permette l'integrazione di tutti gli aspetti del processo edilizio in un unico ambiente interoperabile. Il metodo di lavoro, basato su un database integrato e interattivo, visualizzabile attraverso un modello tridimensionale e complesso, offre vantaggi e potenzialità di grande interesse per la documentazione del patrimonio architettonico.

L'estensione del processo BIM agli edifici storici, tuttavia, è ancora oggi una questione aperta. L'approccio BIM, infatti, pensato per il progetto di nuovi edifici, difficilmente si coniuga con le esigenze specifiche della documentazione del patrimonio architettonico.

In letteratura sono stati utilizzati diversi acronimi, riferiti ai differenti approcci metodologici relativi all'applicazione del BIM al costruito storico:

- HBIM (*Historic o Heritage Building Information Modeling*) per la modellazione complessa ed informativa degli edifici storici;
- BHIM (*Built Heritage Information Modeling*) per la gestione delle informazioni durante le attività di indagine e restauro e per la strutturazione del database<sup>1</sup>;
- HBIMM (*Historic Building Information Modeling/Management*) per intendere l'utilizzo del BIM per la modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio esistente<sup>2</sup>;
- AHBIM (*Architectural Heritage Building Information Modeling*) focalizzato sulla documentazione del patrimonio architettonico che prenda in considerazione sia la modellazione di geometrie complesse che la gestione delle informazioni<sup>3</sup>;
- eBIM (*Existing BIM*) per la gestione degli interventi sul costruito esistente<sup>4</sup>.

Ad oggi il più diffuso è HBIM, riferito in generale all'estensione dell'applicazione della metodologia BIM al costruito storico. Tale acronimo, inteso come Historic BIM, è stato coniato ed utilizzato per la prima volta nel 2009 per indicare un nuovo sistema di modellazione multidisciplinare per l'edificato, in cui le componenti architettoniche vengono rappresentate sulla base di dati storici a partire dai dati derivanti dal rilievo<sup>5</sup>.

In particolare, la "H" dell'acronimo ha assunto nel tempo anche il significato di Heritage, come rimando specifico all'estensione della procedura BIM al patrimonio architettonico. Tale distinzione ultima-

mente non appare fondamentale, in quanto ad oggi con il concetto di Historic BIM si fa riferimento alla procedura BIM per tutto il costruito, che sia esso storico o no, o che sia esso caratterizzato da particolari caratteristiche e qualità architettoniche, o no. In tal senso i termini Historic e Heritage BIM appaiono oggi come interscambiabili.

### 3.1 Stato dell'arte

Nella letteratura è possibile trovare diverse review sullo stato dell'arte dell'HBIM<sup>6</sup>.

La prima in questo ambito risale al 2013<sup>7</sup>. In questo studio gli autori realizzano un'indagine della letteratura scientifica esistente al fine di identificare le tematiche di maggior interesse e le lacune presenti nella ricerca, e infine determinare le maggiori sfide affrontate, le potenzialità e le future necessità per un'implementazione del BIM applicato al costruito storico.

Nel 2015 Logothetis et al. hanno pubblicato una breve indagine sull'evoluzione dello stato dell'arte sull'uso dell'HBIM per la documentazione, analizzando gli sviluppi e gli avanzamenti metodologici e tecnologici in tale campo, con un'analisi e confronto dei principali software open source BIM e delle principali BIM platforms. Infine hanno effettuato una breve analisi delle principali applicazioni del BIM al patrimonio storico<sup>8</sup>. Nel 2016, García-Valldecabres et al. hanno pubblicato una review con l'intento di approfondire lo stato dell'arte dell'HBIM, di identificarne le criticità e di proporre un metodo di gestione del patrimonio architettonico mediante il suo utilizzo<sup>9</sup>.

Nella loro review, a seguito di un'analisi qualitativa e quantitativa degli articoli selezionati, hanno identificato cinque principali linee di ricerca: l'HBIM; lo Scan-to-BIM; il BIM per la gestione (BIM Management); l'integrazione tra l'Information Communication Technology (ICT) e il BIM; e l'aspetto sociale del BIM. Per ognuna di queste linee di ricerca hanno individuato e studiato gli articoli principali, da cui sono poi state tratte le conclusioni sullo stato di sviluppo scientifico di ciascun ambito. Nel 2017 Dore e Murphy hanno realizzato uno studio sul corrente stato dell'arte per la realizzazione dei modelli HBIM a partire dal rilievo e dalle nuvole di punti e, per ogni fase di questo processo<sup>10</sup>, hanno analizzato le metodologie e le tecnologie esistenti per effettuarlo. L'aspetto di particolare interesse di questa review è che risulta essere la prima a considerare una fase successiva alla realizzazione del modello HBIM, consistente nel controllo della qualità del modello stesso per assicurarne l'accuratezza. Infine, nel 2018 García et al. hanno pubblicato una review sullo stato dell'arte relativo all'utilizzo dei modelli HBIM, concentrandosi sui loro usi e sulle loro finalità. Gli autori, dopo aver individuato i paper di maggior interesse, hanno realizzato un'analisi degli articoli selezionati, al fine di identificare le tematiche e le prospettive principali<sup>11</sup>. Da questo studio sono emersi due filoni dominanti: la realizzazione di modelli HBIM come strumento per la gestione

e la salvaguardia del patrimonio architettonico; il loro utilizzo per la comunicazione dei valori dell'architettura storica, attraverso l'utilizzo di tour virtuali (VR) e applicazioni di realtà aumentata (AR). Certamente l'applicazione del BIM agli edifici storici presenta ancora numerose criticità dovute alle particolari caratteristiche e alle specifiche esigenze del patrimonio architettonico, alquanto distanti da quelle proprie degli edifici di nuova costruzione.

In particolare, le attuali tecnologie di acquisizione massiva dei dati<sup>12</sup> consentono di raccogliere in modo più speditivo dati di rilievo accurati, che devono poi essere analizzati, scomposti semanticamente, e successivamente tradotti in modelli digitali HBIM. La realizzazione di tali modelli, per la singolarità e complessità geometrica dei beni architettonici - queste ultime rese ancora più peculiari dai processi di degrado, danno e alterazione e modificazione nel tempo, che le rendono difficilmente riconducibili alla logica standardizzata del BIM per il nuovo - ad oggi, è una questione aperta e un importante tematica di ricerca.

L'importanza del tema della modellazione nell'ambito dell'applicazione del BIM alle architetture storiche è dimostrata dai numerosi studi al riguardo, che hanno rilevato diverse problematiche e hanno messo a punto e sperimentato nuove procedure per tentare di risolverle.

Le metodologie per la modellazione complessa di queste geometrie sono principalmente due: la prima persegue il tentativo di riprodurre fedelmente i componenti, i quali vengono tradotti dal rilievo in oggetti intelligenti, integrando le metodologie BIM con strumenti di modellazione esterni (quali ad esempio l'utilizzo di NURBS, *Non Uniform Rational Basis-Splines*, e mesh); la seconda riguarda invece la semplificazione e l'astrazione dei componenti, che vengono modellati e parametrizzati completamente in ambiente BIM, all'interno delle famiglie previste dal programma utilizzato.

Per quanto riguarda il primo filone di ricerca, tra gli studi principali vi è quello di Garagnani che, al fine di superare il gap tra la fase di acquisizione dei dati derivanti dal rilievo e la fase di modellazione, ha sviluppato uno specifico plug-in nelle API (*Application Programming Interface*) del software Autodesk Revit, denominato Green Spider<sup>13</sup>. Questo plug-in ha la capacità di identificare i punti di discontinuità degli elementi analizzati, importandoli in ambiente BIM, e trasformandoli in punti di riferimento nativi del software, utili per il riconoscimento delle superfici dei componenti, traducibili perciò in oggetti parametrici.

Oreni et al. trattano la rappresentazione di forme complesse e irregolari utilizzando non solo le operazioni booleane (cioè semplici estrusioni e rivoluzioni su generative assi), ma anche NURBS, cioè superfici che nascono da una rete di punti di controllo e che esercitano sulla superficie un'attrazione che determina la deformazione di tale griglia<sup>14</sup>.

Infine, Apollonio et al. propongono la combinazione di tecniche di acquisizione automatica dei dati fotogrammetrici a basso costo con oggetti BIM parametrici fondati su trattati di architettura e una sintassi che consente il passaggio dall'archetipo al tipo<sup>15</sup>; mentre Quattrini et al. costruiscono il modello HBIM sulla base di generatrici ideali. In

entrambi questi due ultimi casi, al termine del processo di modellazione viene valutata l'accuratezza del modello As-Built tramite l'analisi dello scostamento tra il modello ideale e i dati derivanti dal rilievo<sup>16</sup>.

Il secondo filone, invece, tratta la modellazione parametrica semanticizzata mediante la creazione di nuovi oggetti all'interno delle famiglie presenti nei software BIM<sup>17</sup>.

A questa tematica si aggiunge l'assenza di librerie di oggetti parametrici predefiniti adatti all'edificio esistente e storico. Le librerie esistenti nei software BIM, infatti, nate per il progetto di edifici di nuova costruzione, sono costituite da oggetti basati su logiche standardizzate e presentano evidenti carenze per la rappresentazione parametrica dei componenti architettonici del costruito, come volte, archi, ecc. Sulla base di questo, numerosi studi si sono dedicati alla creazione di librerie personalizzate specifiche per il costruito<sup>18</sup>.

Con l'intento di rispondere alla crescente domanda di linee guida e standard nel campo della conservazione dei beni culturali per creare e gestire modelli 3D semantici in grado di includere tutte le informazioni riguardanti edifici storici, Chiabrando et al. creano una libreria di oggetti parametrici per edifici storici riutilizzabili (H-BOM - *Historical-Building Object Modeling*) testando un flusso di lavoro basato sull'utilizzo di modelli *Structure from Motion* (SfM) e sull'analisi degli elementi al fine di trovare le caratteristiche comuni (invarianti) e non comuni (varianti) in termini di identificazione delle parti architettoniche e delle loro relazioni, regole geometriche e proprietà<sup>19</sup>. L'obiettivo è quello di modellare forme archetipiche da cui è possibile per ricavare tutte le variazioni di stile.

Oreni et al. in un articolo precedente studiano l'utilizzo del BIM per la costruzione di una libreria di componenti architettoniche (nello specifico volte e solai) che consenta quindi la creazione un abaco degli elementi costruttivi locali<sup>20</sup>. Capone e Lanzara definiscono una metodologia ibrida che utilizza la modellazione algoritmica al fine di creare una libreria di cupole parametriche a partire dai dati storici e dal rilievo, basandosi su regole geometriche derivanti da trattati<sup>21</sup>.

Murphy et al. propongono un progetto per la realizzazione di librerie parametriche di elementi architettonici classici europei da primitive CAD 3D utilizzando regole basate sull'aggiornamento delle shape grammars sviluppate in studi precedenti<sup>22</sup>. Nel caso degli esempi di architettura classica discussi nello studio, il disegno degli oggetti parametrici è costruito a partire dai trattati delle opere di Vitruvio e Palladio, nonché da modelli architettonici del XVIII secolo. La generazione di oggetti 3D per la ricostruzione virtuale si avvale quindi dell'applicazione di algoritmi informatici e regole introdotte dall'utente per generare oggetti, edifici e spazi da una grammatica e un vocabolario di forme.

Questo divario tra i dati acquisiti e la restituzione mediante la creazione di modelli tridimensionali HBIM, accentuato dalla complessità del patrimonio costruito e dall'aspetto semantico ed informativo del BIM, ha portato numerosi studiosi a sperimentare metodi alternativi per automatizzare, anche solo parzialmente, il processo di restituzione, al fine di renderlo più rapido e sbrigativo.



Per velocizzare e facilitare il processo di traduzione delle nuvole in modelli, esistono alcuni plug-in basati su algoritmi di riconoscimento dei componenti costruttivi che includono anche l'estrazione delle informazioni relazionali e semantiche, che permettono di creare oggetti tridimensionali direttamente a partire dalle geometrie dalla nuvola di punti<sup>23</sup>.

Una delle linee di ricerca consiste nella conversione dei dati prodotti dalle scansioni laser e dalla fotogrammetria digitale in modelli tridimensionali HBIM mediante la messa a punto di processi scan-to-BIM, o scan-to-HBIM. Nel processo generativo messo a punto da Brumana et al. e successivamente ripreso e sviluppato da Banfi, l'integrazione tra i dati derivanti dal rilievo e il modello HBIM avviene tramite la generazione di 'nuovi' oggetti 3D in grado di seguire la logica costruttiva del manufatto rilevato<sup>24</sup>. Tale approccio pone al centro del processo generativo il concetto di 'qualità' del modello, introducendo per ogni elemento, accanto al LoD, dei Gradi di Generazione (GOG) e di accuratezza (GOA).

Dore e Murphy utilizzano oggetti presenti in una libreria parametrica personalizzata, progettata sulla base di manoscritti storici e pattern books, e tecniche di modellazione procedurale per automatizzare la fase di modellazione delle facciate di edifici costruiti<sup>25</sup>. Per mezzo del reverse engineering gli oggetti parametrici, appartenenti alle librerie, vengono mappati su dati di rilievo laser o fotogrammetrici, e successivamente combinati in modo semi-automatico, sulla base di regole e proporzioni architettoniche, al fine di generare modelli parametrici HBIM. Le facciate così realizzate, così come i singoli elementi, possono poi essere modificate, attraverso un editing grafico, per adattarsi ai dati di rilievo.

Particolarmente interessante, infine, è la sperimentazione di Bortoluzzi et al. che hanno creato un processo automatizzato che utilizza disegni CAD 2D per generare modelli BIM semantici specifici per il Facility Management, e con una geometria adeguata alla simulazione energetica<sup>26</sup>. Il loro approccio si basa su un'automazione suddivisa in più step, realizzata mediante l'utilizzo della programmazione visuale. Il workflow è costituito: da una fase di pre-processing, dedicata alla pulizia dei file CAD, fondamentale per facilitare la lettura automatica dei segni da parte dell'algoritmo; da una fase di creazione automatica dei locali e dal loro arricchimento informativo; dalla modellazione semi-automatica dell'involucro; dal posizionamento automatico delle aperture; ed infine da una fase di analisi e validazione critica della procedura.

Per testare e validare la procedura sono stati realizzati, utilizzando questo metodo, diciotto edifici differenti.

Nonostante l'importanza di tale filone di ricerca e i rapidi progressi negli strumenti e nelle procedure che consentono risultati sempre più promettenti, è però necessario evidenziare che dai vari studi emergono delle importanti limitazioni inerenti, in primo luogo, alla complessità delle geometrie dei beni o degli elementi tridimensionali che deve essere limitata per consentire il riconoscimento e la modellazione automatica. In secondo luogo, normalmente tali procedure

si basano sul riconoscimento di elementi e geometrie caratteristiche che, per poter essere identificabili dai software, si impernano sulla logica della standardizzazione, fondata su trattati e manuali, che conduce, quindi, alla modellazione di geometrie ideali e semplificate, spesso alquanto distanti dalla realtà. Infine, molti di questi studi trattano la generazione dei componenti solo da un punto di vista geometrico e non considerano ancora l'aspetto semantico ed informativo che risulta essere fondamentale all'interno dei modelli BIM. Accanto al tema della morfologia delle componenti architettoniche si aggiunge la questione delle informazioni, fondamentale nel processo BIM.

La tematica del contenuto informativo è caratterizzata da due diversi aspetti: da un lato, la necessità di gestire una grande mole di dati eterogenei non sempre supportata dalle attuali piattaforme BIM; dall'altro la questione della disponibilità o meno di informazioni riguardanti i vari temi (tecniche costruttive, fasi e informazioni storiche, ecc.) e la loro interpretazione.

A differenza degli edifici di nuova costruzione, infatti, la conoscenza negli edifici storici è spesso parziale, derivante da fonti dirette o indirette, a volte indagabili, se necessario, grazie a prove in cantiere, a volte semplicemente assenti, quali ad esempio le informazioni storiche. Questa conoscenza inoltre proviene da un grande numero di informazioni di varia natura derivanti dal rilievo e dalle ricerche bibliografiche ed archivistiche - documenti cartacei, fotografie storiche, dati di monitoraggio, informazioni strutturali, disegni bidimensionali, stato di conservazione - che per essere collegate agli oggetti digitali devono essere prima digitalizzate<sup>27</sup>. Queste informazioni per essere incluse in un modello HBIM richiedono un ampliamento del database<sup>28</sup>.

Esistono molti approcci per studiare e sperimentare nuove modalità di ampliamento del database BIM e di gestione delle informazioni per la documentazione del patrimonio architettonico.

Tra quelli più diffusi vi è quello fondato sulle ontologie, attraverso cui costituire un dominio di conoscenza definendo classi, proprietà e relazioni<sup>29</sup>. Quattrini, et al. abbinano l'utilizzo di ontologie alle applicazioni web sulla base di una strutturazione ontologica delle informazioni e di un arricchimento di dati del modello BIM, mediante la creazione di parametri condivisi<sup>30</sup>. L'utilizzo di tecnologie di semantic-web favorisce l'accesso al database, consentendo agli utenti di esplorare il modello tridimensionale e i dati semantici ad esso collegati, tramite la formulazione di query. L'uso di applicazioni di semantic-web è motivato dalla volontà di svincolarsi dai software proprietari evitando, così, eventuali perdite di dati causate da trasferimenti tra diverse piattaforme, al fine di raggiungere, almeno nella condivisione di dati, una effettiva interoperabilità tra le diverse figure professionali<sup>31</sup>.

Bruno e Roncella, con l'obiettivo di superare i limiti dei database integrati con le attuali piattaforme BIM e le problematiche di interoperabilità tra i diversi software commerciali, e per garantire la facile fruibilità delle informazioni per utenti esperti e non, creano un database relazionale appositamente strutturato, autonomo rispetto

al modello BIM a cui, tuttavia, quest'ultimo risulta collegato attraverso il codice identificativo assegnato a ciascun elemento digitale<sup>32</sup>. L'ampliamento del database può essere effettuato anche con plug-in di collegamento tra più software: in particolare, l'utilizzo del plug-in DbLink o di strumenti di programmazione visuale, consentono il collegamento bidirezionale tra i modelli BIM e uno o più database relazionali esterni<sup>33</sup>.

Al fine di consentire una documentazione esaustiva degli edifici esistenti, di facilitare la collaborazione tra le diverse figure professionali (tecniche e non) e la sincronizzazione dei database storici con i modelli HBIM, Palomar et al. sviluppano una piattaforma di lavoro online, denominata *BIMLegacy*, che rappresenta il nuovo CDE per il costruito storico<sup>34</sup>. Quest'ultima connette il database HBIM intrinseco con database documentali esterni implementando le funzionalità dei software BIM e consentendo di migliorare il flusso di lavoro e di scambio dei dati. Il workflow è basato sull'utilizzo di Autodesk Revit e su database esterni relazionali SQL; il collegamento tra i due e la piattaforma on-line per la sincronizzazione dei dati, avviene mediante la creazione di un plug-in e la programmazione delle API di Revit.

In merito alla documentazione, di particolare interesse, infine, è il progetto NUBES sviluppato da De Luca et al., che consiste in un sistema informativo a scala architettonica che considera le relazioni che intercorrono tra la rappresentazione tridimensionale del bene (tra cui la forma, la dimensione, lo stato di conservazione e la restituzione ipotetica delle sue trasformazioni nel tempo) e le informazioni eterogenee raccolte durante l'analisi degli edifici (tecniche, documentali e storiche)<sup>35</sup>.

Tale piattaforma integrata si fonda sull'utilizzo di tecnologie web per gestire la rappresentazione multipla dei manufatti, sulla base delle informazioni e dei dati ad essi collegati in modo strutturato e semantico, al fine di consentire la descrizione, la documentazione e l'analisi.

### 3.2 La procedura HBIM

La procedura HBIM differisce da quella tradizionale BIM, nata per le nuove costruzioni in quanto si fonda su un diverso approccio teorico-metodologico, riconducibile alle tematiche e alle problematiche proprie del rilievo architettonico.

Il processo BIM, infatti, parte da un concept di progetto e si sviluppa secondo step di definizione progressivi. Il modello è "predittivo" e si sviluppa durante tutte le fasi del processo, a partire dalla fase di pianificazione, secondo una procedura lineare di arricchimento informativo degli oggetti digitali. Il culmine di tale arricchimento si raggiunge normalmente al termine della fase costruttiva, fase in cui la conoscenza è completa, dettagliata, completamente derivante da fonti dirette ed affidabili (come i documenti di progetto), ed omogenea in tutti i suoi componenti, che risultano sviluppati fino ai più alti livelli di sviluppo, sia geometrici che informativi. In questo caso,

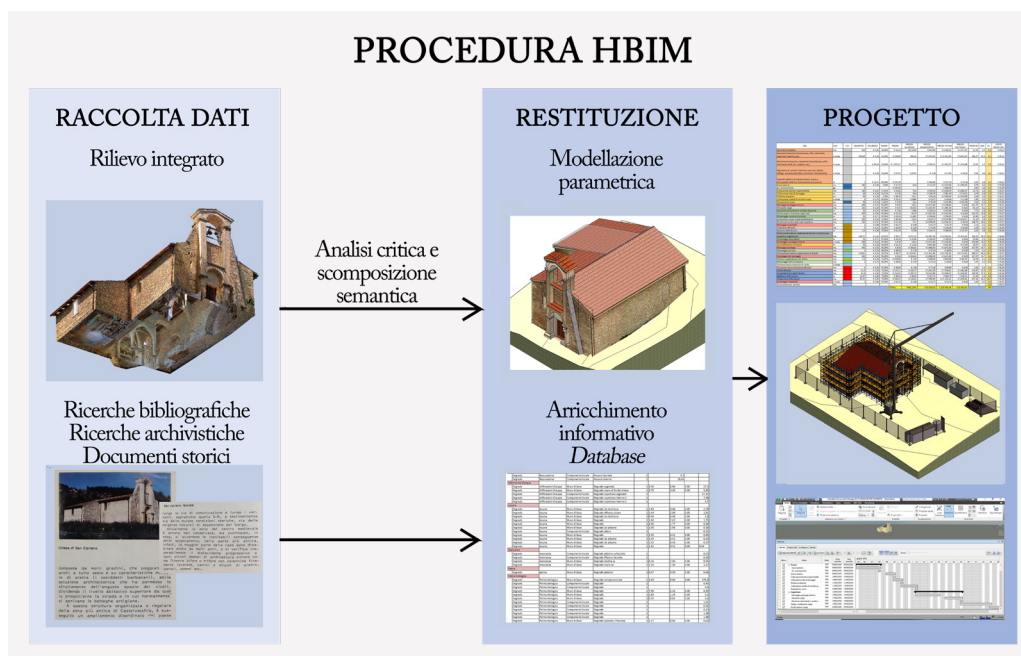


Fig. 15. Schema della procedura HBIM.

la semantizzazione è ex ante, e al termine del processo il modello include al suo interno tutte le informazioni dettagliate ed aggiornate relative al progetto e alla costruzione.

Al contrario, il processo HBIM segue una procedura fondamentalmente riconducibile all'operatività propria delle discipline del rilievo e del restauro architettonico, fondate su di un processo aperto di conoscenza storico-critica, dove il progetto trova riferimento nel modello interpretativo restitutivo dei valori storici ed architettonici del manufatto.

Il percorso di conoscenza prende le mosse dal rilievo, che deve essere analizzato, compreso criticamente e successivamente semantizzato, e porta alla sua restituzione attraverso la realizzazione del modello HBIM<sup>36</sup>. Il modello, quindi, non è più uno strumento di solo progetto, come nel caso del nuovo, ma diviene uno strumento critico di analisi e conoscenza, interpretazione e rappresentazione.

Nella procedura HBIM è pertanto possibile distinguere in quattro fasi:

- raccolta dati e rilievo
- modellazione HBIM
- arricchimento informativo
- valutazione e validazione del modello

La procedura HBIM è costituita quindi da una prima fase di conoscenza composta da analisi e ricerche storiche, e dal rilievo integrato. Le tecniche di rilevamento disponibili oggi per l'acquisizione dei dati necessari all'analisi e alla comprensione dei manufatti utili per la realizzazione dei modelli HBIM sono molteplici. Si distinguono due tipologie fondamentali: il rilievo diretto, manuale, e il rilievo indiretto, strumentale o fotogrammetrico.



Fig. 16. Nuvola di punti della chiesa di San Menna (AQ) acquisita con il laser scanner: pianta con individuazione dei punti di stazione. (Immagine elaborata durante il corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura, DICEAA, UnivAq, A.A. 2019-20. Studenti: A. Agrusti, R. Battista, G. Ciuca, F. Miconi, D. Serpetti, S. Zonfa. Docente: Ilaria Trizio Tutor: A. Tata, A. Ruggieri).

Mentre il primo comporta operazioni di misurazione diretta dei manufatti da documentare, nel secondo caso le misure vengono prese mediante l'utilizzo di diversi tipi di strumenti.

Per il rilievo architettonico le strumentazioni attualmente utilizzate sono classificabili in *range-based* (laser scanner, scanner a luce strutturata, radar, stazione totale, ecc.) e *image-based* (tecnica fotogrammetrica, teodolite, tacheometro, ecc.). I sistemi *range-based* impiegano strumenti dotati di sensori ottici attivi in grado di emettere e registrare una luce codificata emessa da un sensore, che serve per raccogliere informazioni sugli oggetti che si stanno rilevando, misurando la distanza dal sensore stesso. Quelli *image-based*, invece, impiegano strumenti dotati di sensori ottici passivi che sfruttano la luce naturale presente nell'ambiente per acquisire immagini da cui estrarre informazioni dell'oggetto ripreso<sup>37</sup>.

Tra i sistemi più diffusi vi sono le tecnologie laser scanner, appartenenti al primo tipo, e le tecniche di fotogrammetria digitale, appartenenti al secondo.

I laser scanner sono strumenti in grado di acquisire ad altissima velocità le coordinate spaziali di un grande numero di punti delle superfici misurate. Si distinguono in due famiglie principali: gli scanner a misura diretta della distanza (*ranging scanners*), suddivisi in scanner "a tempo di volo", che calcolano la distanza in funzione del tempo di ritorno del segnale laser, e scanner a differenza di fase, che misurano la distanza sulla base della variazione della lunghezza d'onda del raggio laser tra la sua emissione e ricezione; gli scanner a triangolazione (*triangulation scanners*), in cui il dispositivo di emissione e quello di ricezione sono separati da una distanza fissa e calibrata e la posizione di ogni punto nello spazio viene misurata sulla base di un calcolo trigonometrico.

La fotogrammetria digitale è basata sull'uso di immagini che inquadrano da diverse angolazioni e da diversi punti di vista l'oggetto tridimensionale. Il principio tradizionale è basato sulla triangolazione

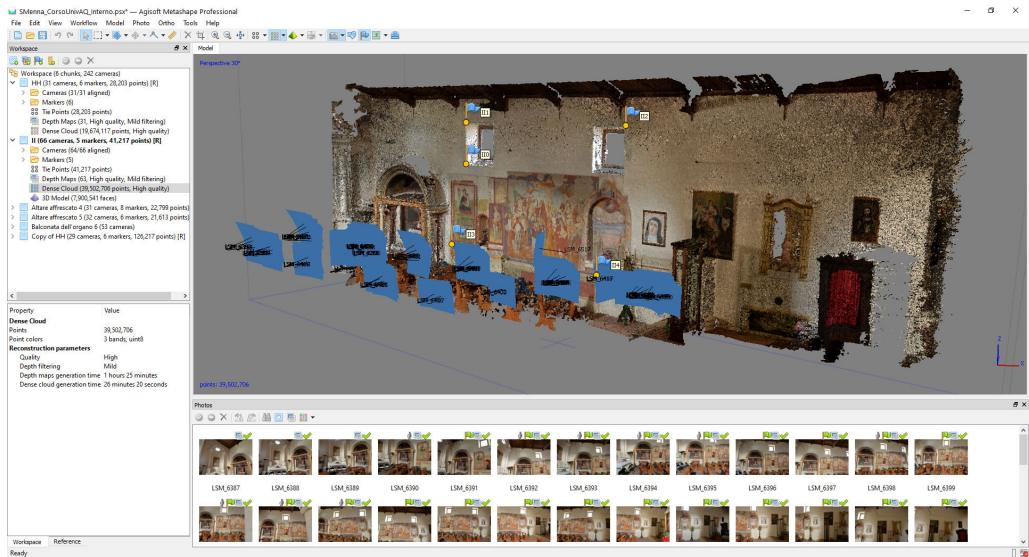


Fig. 17. Chiesa di San Menna (AQ). Nuvola di punti dell'interno derivante dal rilievo fotogrammetrico. (Immagine elaborata durante il corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura, DICEAA, UnivAq, A.A. 2019-20. Studenti: A. Agrusti, R. Battista, G. Ciuca, F. Miconi, D. Serpetti, S. Zonfa. Docente: Ilaria Trizio Tutor: A. Tata, A. Ruggieri).

e sull'identificazione di punti omologhi che consentono la sovrapposizione delle immagini e l'acquisizione di informazioni metriche sulle dimensioni, la forma e la posizione dei beni rilevati.

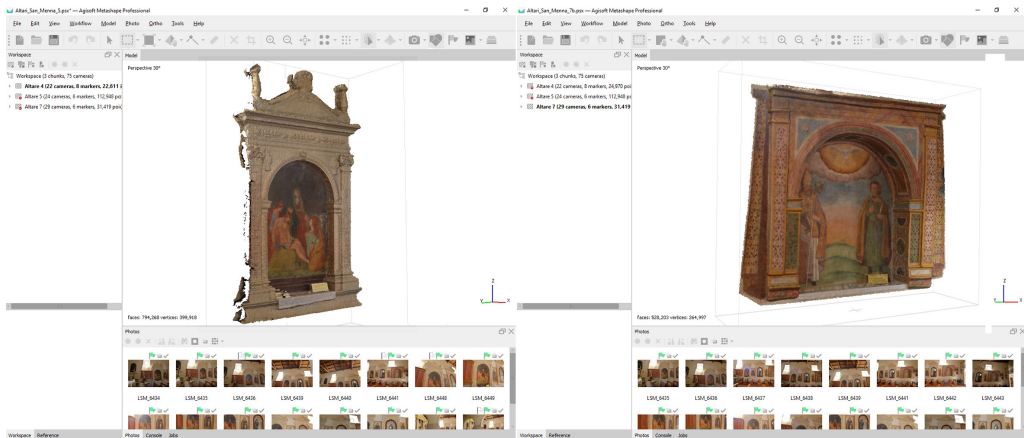
In entrambi i casi il risultato è un modello discreto e tridimensionale della realtà, restituito sotto forma di nuvola di punti delle geometrie dei manufatti rilevati.

Il processo di rilievo si articola in tre momenti distinti: il progetto di rilievo; l'acquisizione dei dati, o presa delle misure; la restituzione e rappresentazione del rilievo, volta alla traduzione di quanto rilevato in modelli grafici cartacei o informatici.

Nonostante sia il rilievo diretto che quello strumentale prevedano una fase di studio iniziale necessario per la predisposizione di un progetto di rilievo, il rilievo strumentale mediante l'acquisizione massiva di dati comporta un'inversione parziale della procedura rispetto all'approccio tradizionale, riducendo l'apporto critico del rilevatore nella prima fase e demandando una più profonda analisi critica alla fase successiva di post-processing dei dati.

Nel rilievo basato sull'approccio tradizionale, infatti, la fase critica di analisi del bene avviene in anticipo rispetto alla fase di rilevamento: il rilevatore effettua uno studio precedente, identifica gli elementi significativi da rilevare, definisce il livello di dettaglio che dovrà avere il rilievo, e decide ciò che invece può essere tralasciato. Questa fase implica un vero e proprio studio preliminare nel quale vengono riconosciute le caratteristiche architettoniche dell'edificio che dovranno poi essere misurate e rappresentate.

Nel rilievo mediante l'utilizzo di laser scanner o nel rilievo fotogrammetrico, invece, la fase iniziale si riduce ad un progetto di presa, inteso come definizione della posizione e del numero delle stazioni, e alla determinazione delle scelte relative alla risoluzione e all'accuratezza



delle scansioni; la fase critica di comprensione e analisi viene posposta alla fase di acquisizione dei dati. Quest'ultima, infatti, avviene in modo speditivo e acritico: tutti gli elementi vengono rilevati con lo stesso livello di dettaglio senza una particolare distinzione. La fase di comprensione e conoscenza avviene solo in seguito al rilevamento, quando viene criticamente analizzato quanto rilevato, e vengono identificati gli elementi significativi che compongono il manufatto. La scelta del metodo e dello strumento con cui operare dipendono in primo luogo dalle caratteristiche dell'oggetto da rilevare (dimensione, geometria, complessità, posizione, materiale, ecc.) e, in secondo luogo, dai fini del rilievo.

In seguito alla fase di rilievo, si procede con la traduzione digitale del manufatto in una sua riproduzione virtuale, mediante l'integrazione tra diverse tecniche di rilievo e l'utilizzo dei dati risultanti (cioè nuvole di punti) come base di partenza per la realizzazione del modello digitale<sup>38</sup>. Il processo di modellazione in questo caso costituisce l'atto critico di restituzione del modello, fondato sulla comprensione di quanto rilevato, sulla scomposizione semantica ed infine sulla realizzazione del modello HBIM.

Nonostante la fase dell'acquisizione dello stato di fatto, soprattutto dal punto di vista geometrico, sia caratterizzata da una rapidità e accuratezza elevate, grazie all'utilizzo di strumentazioni e tecnologie capaci di generare un vero e proprio clone della realtà in ambiente digitale, vi è un divario tra i dati acquisiti e la restituzione mediante la creazione di modelli tridimensionali HBIM. A tale complessità, acuita dall'aspetto semantico ed informativo del BIM, si aggiungono le questioni dette in precedenza sulla peculiarità del patrimonio storico e la sua parziale incompatibilità con i software e le procedure BIM ideate per le nuove costruzioni, che rendono il processo di restituzione mediante realizzazione del modello HBIM, particolarmente dispendioso in termini di costo e tempo.

Le nuvole di punti derivanti dal rilievo vengono quindi utilizzate come guida nella modellazione o mediante l'estrazione e l'importazione di

Fig 18. Modelli mesh dei due altari interni della chiesa di San Menna (AQ) realizzati tramite fotogrammetria. Screenshot del software Meshmixer. (Immagine elaborata durante il corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura, DICEAA, UnivAq, A.A. 2019-20. Studenti: A. Agrusti, R. Battista, G. Ciuca, F. Miconi, D. Serpetti, S. Zonfa. Docente: Ilaria Trizio Tutor: A. Tata, A. Ruggieri).

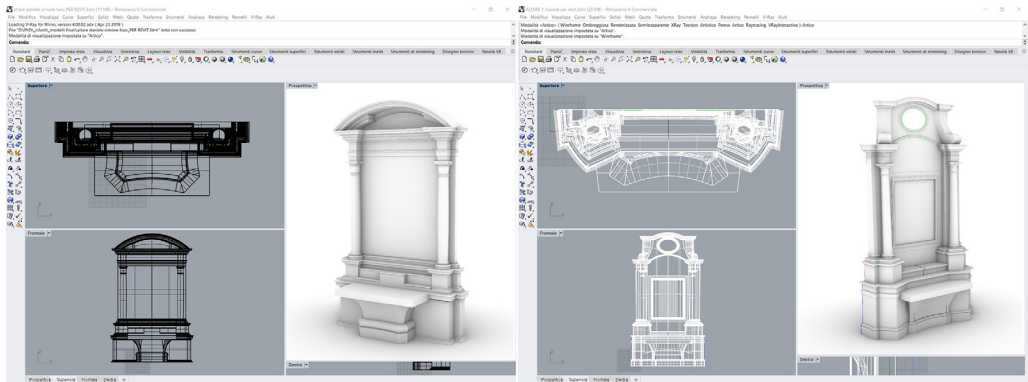


Fig. 19. Modelli Nurbs dei due altari della chiesa di San Menna (AQ): screenshot del programma Rhinoceros con cui sono stati modellati. (Immagine elaborata durante il corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura, DICEAA, UnivAq, A.A. 2019-20. Studenti: A. Agrusti, R. Battista, G. Ciuca, F. Miconi, D. Serpetti, S. Zonfa. Docente: Ilaria Trizio Tutor: A. Tata, A. Ruggieri).

slices o tramite importazione direttamente all'interno dell'ambiente di modellazione, delle nuvole complete o di porzioni delle stesse, per esempio tramite una suddivisione previa in componenti architettoniche<sup>39</sup>.

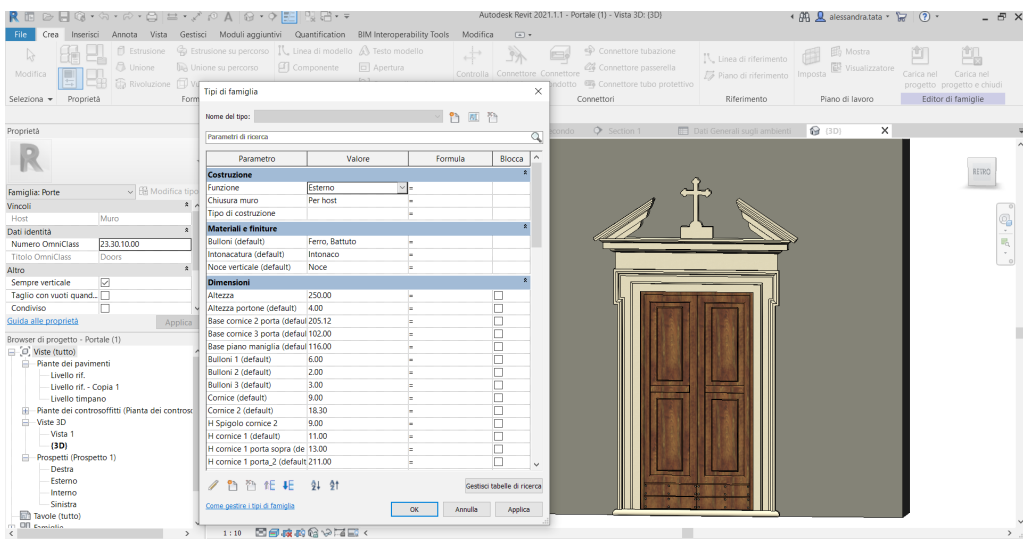
Il processo di modellazione può essere svolto o attraverso l'integrazione, più o meno spinta, tra software BIM e tecniche di modellazione esterne (importazione di modelli mesh, NURBS, ecc.), o per mezzo di una modellazione parametrica realizzata completamente in ambiente BIM, o mediante l'ampliamento delle possibilità del software BIM tramite l'utilizzo di tecniche di modellazione visuale. La modellazione tramite l'integrazione di più tecniche si fonda sull'intento di creare modelli fedeli alla realtà, con un elevato livello di accuratezza. La maggior accuratezza geometrica e la maggior velocità di modellazione vanno però, a volte, a scapito della parametrizzazione e della corretta semantizzazione degli oggetti tridimensionali.

La modellazione parametrica realizzata completamente in ambiente BIM, invece, può essere effettuata attraverso l'utilizzo di metodologie differenti a seconda:

- della tipologia di elemento;
- dell'unicità o della ripetitività dell'elemento;
- dei fini della modellazione;
- del livello di dettaglio a cui si intende (ed è opportuno) arrivare dal punto di vista geometrico, e che è possibile raggiungere dal punto di vista informativo;
- dal grado di parametrizzazione e riproducibilità che si intende conferire all'oggetto modellato.

In questo caso, ridurre gli elementi architettonici dell'edificio a oggetti tipizzati porta, invece, a mettere da parte le peculiarità dell'oggetto storico. A questo metodo di modellazione, infatti, conseguono vari livelli di semplificazione e astrazione dei componenti che potrebbero discostarsi non poco dall'oggetto reale. A un processo di modellazione più lungo e difficoltoso, proporzionale al livello di dettaglio e di parametrizzazione che si vuole raggiungere, causato dai vincoli presenti nei software BIM, si contrappongono però i benefici derivanti da un flusso di lavoro più efficiente e, a lungo termine, vantaggioso anche per quanto riguarda il tempo. Lo sforzo iniziale maggiore - in





termini di tempo, lavoro e costo - nella parametrizzazione di nuove famiglie adatte al costruito storico è motivato infatti dai benefici derivanti dal loro riutilizzo, non solo all'interno dello stesso modello, ma anche in più modelli. Dal punto di vista geometrico, infatti, non è sempre produttivo e vantaggioso modellare l'elemento HBIM in tutti i suoi singoli dettagli. In una logica di efficienza, tipica del BIM, infatti, è spesso preferibile un compromesso nella modellazione, con il fine di creare elementi meno dettagliati che però possano far parte di una libreria condivisa e che siano quindi adattabili e riutilizzabili. Ulteriori dettagli possono poi essere aggiunti tramite documenti di corredo di varia natura: disegni di dettaglio 2D in dwg; documenti e fotografie storiche o elaborati di cantiere sotto forma di pdf o img; video; modelli 3D più dettagliati o parti di essi (ad esempio nurbs o mesh), web links; nuvole di punti derivanti dal rilievo, ecc. Queste informazioni possono essere inserite all'interno del database e sono collegabili ai modelli attraverso l'utilizzo e la creazione di parametri. La scelta di un metodo di modellazione a scapito di un altro, dipende esclusivamente dai fini e dagli usi del modello, e, in caso di necessità, i metodi possono essere integrati, in modo da includere i vantaggi di entrambi gli approcci.

Il processo BIM si fonda sull'integrazione, all'interno dello stesso modello, di contenuti geometrici e informativi. Nell'HBIM, in particolare, l'aspetto informativo assume un ruolo fondamentale e necessario per rendere il modello uno strumento di documentazione e conoscenza, utile per l'analisi, la valorizzazione e per lo sviluppo di progetti di riqualificazione e restauro.

L'informatizzazione dei modelli avviene mediante la creazione e l'utilizzo di parametri, direttamente collegati agli oggetti BIM, che permettono di collegare agli oggetti tridimensionali informazioni sia qualitative che quantitative (materiale, resistenza al fuoco, produttore, costo, ecc.).

Fig. 20. Modello parametrico del portale della chiesa di San Menna. Screenshot del software Revit 2021. (Immagine elaborata durante il corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura, DICEAA, UnivAq, A.A. 2019-20. Studenti: A. Agrusti, R. Battista, G. Ciua, F. Miconi, D. Serpetti, S. Zonfa. Docente: Ilaria Trizio Tutor: A. Tata, A. Ruggieri).



Fig. 21. Modello HBIM della chiesa di San Menna (AQ) costituito da famiglie parametriche BIM, oggetti nurbs ed elementi mesh. (Immagine elaborata durante il corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura, DICEAA, UnivAq, A.A. 2019-20. Studenti: A. Agrusti, R. Battista, G. Ciuca, F. Miconi, D. Serpetti, S. Zonfa. Docente: Ilaria Trizio Tutor: A. Tata, A. Ruggieri).

Esistono molti metodi differenti per ampliare i database BIM, predisposti per ricevere dati e informazioni standard normalmente utili per il progetto e per il cantiere.

La scelta del metodo più appropriato dipende:

- dalla quantità e tipologia di dati;
- dalla possibile necessità di riutilizzo dei parametri;
- dai software utilizzati;
- dai fini dell'ampliamento.

Da questi ultimi due in particolare dipende anche la scelta della tipologia di informatizzazione: completamente interna al modello HBIM, completamente esterna allo stesso, o ibrida (in parte all'interno dell'ambiente BIM e in parte su database esterni, sempre collegati al modello stesso). In caso di informatizzazione ibrida, infine, sempre in base agli obiettivi, è necessario definire quali dati inserire all'interno dei modelli HBIM e quali no.

Da un punto di vista del BIM per il nuovo, la gestione dei dati parzialmente esterna è normalmente una scelta dipendente dall'intento di realizzare un modello complesso ed informatizzato, che però sia efficiente da un punto di vista del flusso di lavoro. Nel caso dell'HBIM, invece, la gestione ibrida è quasi una necessità. Nell'edificio storico, infatti, la documentazione è costituita da un sistema complesso di informazioni eterogenee composte da dati storici, culturali, spaziali, ecc. (dati di rilievo, documenti e foto storiche, disegni 2d, ecc.), aggiuntivi rispetto a quelli necessari per documentare il progetto del nuovo, e per tale motivo non pienamente supportati dai software BIM. Questi dati per poter essere inclusi nei modelli HBIM richiedono un ampliamento del database.

Tale ampliamento, quindi, può essere realizzato: tramite la creazione e l'utilizzo di parametri condivisi, esterni ai file di modella-

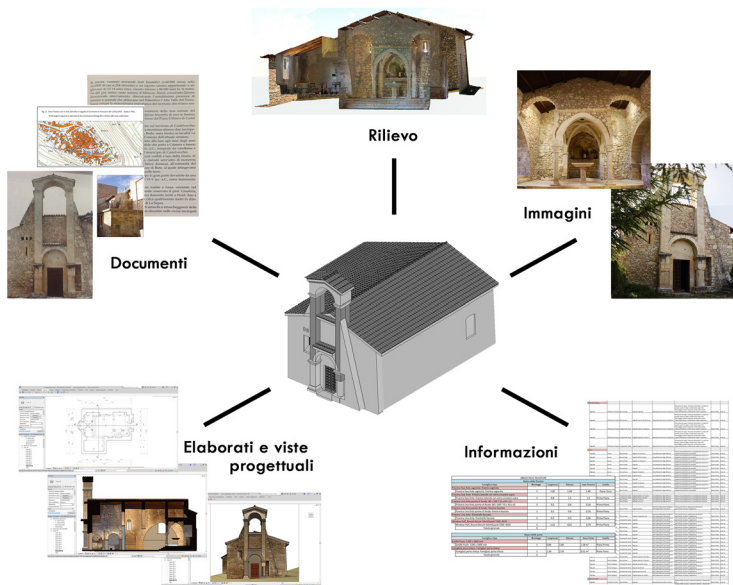


Fig. 22. Schema del database HBIM.

zione, che consentono il loro riutilizzo semplicemente ricaricando il file di parametri in nuovi progetti<sup>40</sup>; in caso di applicazioni specifiche, che non richiedano il collegamento a veri e propri database esterni, è possibile effettuare l'ampliamento mediante il collegamento con fogli Excel<sup>41</sup>; in caso di grandi quantità di informazioni eterogenee, invece, è possibile creare database esterni relazionali, collegandoli direttamente al modello HBIM, e agli oggetti che lo compongono, mediante l'utilizzo di plug-in<sup>42</sup>. I database relazionali, in particolare, consentono di strutturare ed organizzare i dati secondo logiche semantiche, gerarchiche e parametriche che permettono la loro gestione in modo coerente, evitando la ridondanza e la perdita degli stessi, e consentendo allo stesso tempo una rapida visualizzazione delle informazioni, che possono essere richiamate in molti modi diversi mediante la scrittura di query specifiche.

A questi metodi si aggiunge l'utilizzo di strumenti parametrici come il computational design che consente di organizzare, gestire e manipolare in modo strutturato una grande quantità di dati, collegandoli direttamente al modello HBIM e consentendo difatti una reale espansione del database BIM.

Al termine del processo di modellazione e di informatizzazione del modello, infine, sono fondamentali la valutazione e validazione dello stesso e delle informazioni in esso inserite, sottolineati anche dalle normative che regolamentano l'utilizzo del BIM e che legano, infatti, il concetto di livello di sviluppo non solo alla quantità ma anche alla qualità delle informazioni.

Tali aspetti, in particolare interessano l'edificato storico, in cui la conoscenza degli edifici esistenti è spesso incompleta e lacunosa, e la

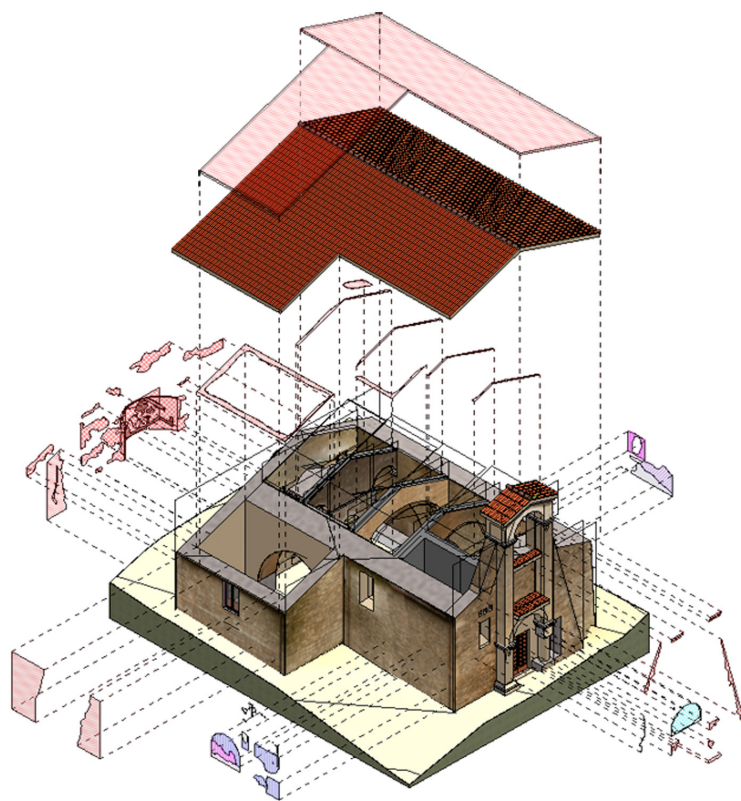


Fig. 23. Modello HBIM dello stato di fatto della chiesa di San Cipriano (AQ) con i degradi esplosi.

natura interpretativa del modello è amplificata<sup>43</sup>. A questo si aggiunge la criticità derivante dal passaggio da disegni bidimensionali a modelli tridimensionali, in cui i gradi di complessità interpretativa sono moltiplicati, e la creazione dell'oggetto digitale richiede una sintesi geometrico-dimensionale ed informativa estesa al suo intero continuum. Va posta in evidenza, quindi, l'importanza della trasparenza scientifica, intesa come l'identificazione, la valutazione e la documentazione delle fonti utilizzate per assicurare l'integrità intellettuale dei metodi e dei risultati della visualizzazione digitale<sup>44</sup>.

La possibilità di ricostruire filologicamente il processo interpretativo alla base della modellazione BIM, assieme alla dichiarazione delle fonti, costituiscono quindi aspetti imprescindibili per una valida applicazione della procedura HBIM<sup>45</sup>. La valutazione dell'affidabilità delle informazioni utilizzate per la modellazione informativa, infine, dovrebbe trattare non solo l'aspetto geometrico<sup>46</sup>, fondamentale per esempio per documentare lo stato di conservazione del bene o per garantire l'affidabilità delle analisi e delle simulazioni svolte sul modello stesso, ma anche gli aspetti informativi per i quali dovrebbero quindi essere valutate e dichiarate più reliabilities e sub-reliabilities.

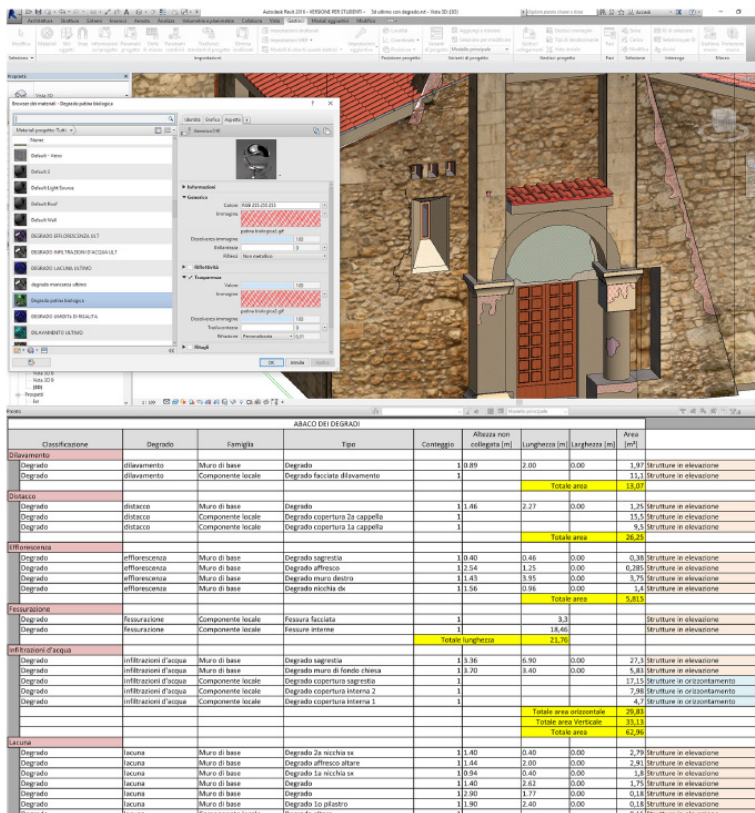


Fig. 24. Modellazione e rappresentazione del degrado delle superfici all'interno del modello HBIM. Screenshot della facciata della chiesa di San Cipriano e abaco BIM delle superfici di degrado con il calcolo delle quantità.

### 3.3 Livello di sviluppo e livello di fabbisogno informativo

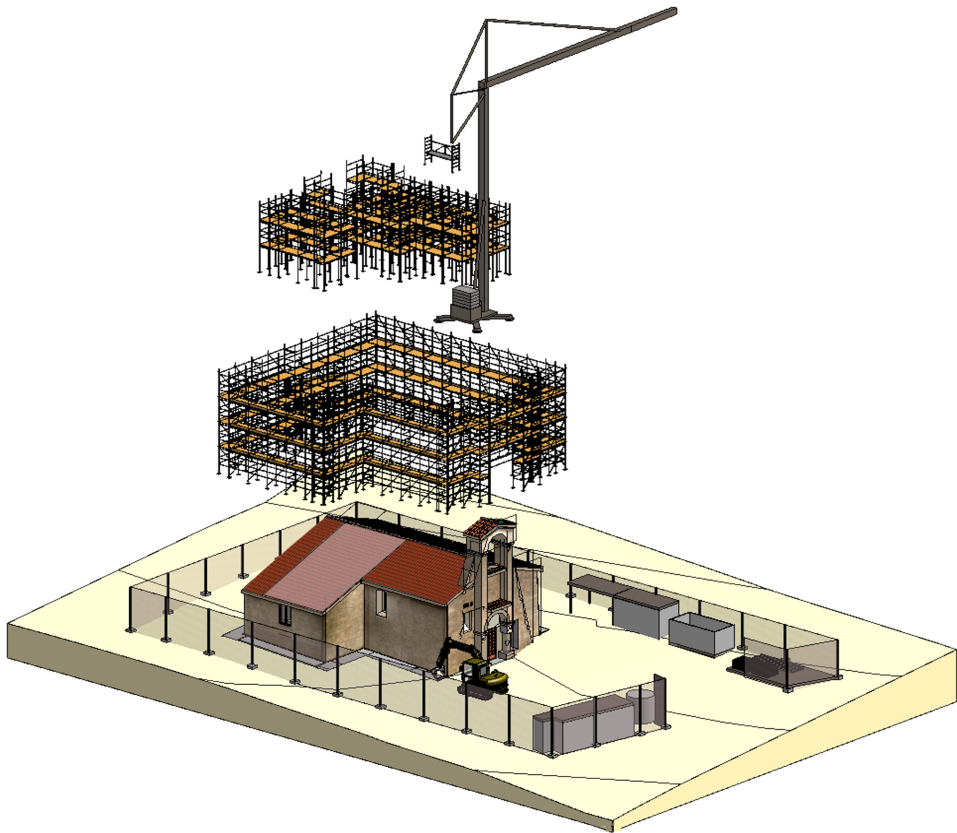
La parte quarta della norma UNI 11337:2017 definisce il Livello di Sviluppo (LoD) degli oggetti digitali che compongono i modelli come una misura della “natura, quantità, qualità e stabilità dei dati e delle informazioni” associata a ciascun elemento tridimensionale che compone il modello. Il passaggio da un LoD al successivo comporta un grado evolutivo maggiore e un oggetto più dettagliato, basato su informazioni più affidabili, sia da un punto di vista geometrico (LOG – Livello di sviluppo geometrico) che informativo (LoI – livello di sviluppo degli attributi non grafici)<sup>47</sup>.

La UNI introduce per la prima volta il BIM per il costruito storico e determina una scala di LoD specifica per gli interventi di restauro, raccomandando per questi ultimi il massimo livello di sviluppo –sia LoG che LoI–. Infatti, nella scala proposta, la UNI considera come LOD rilevanti per gli interventi di restauro i LOD F e G, che rispettivamente esprimono la virtualizzazione dello stato esistente (*As-Built*) e la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto dei singoli elementi architettonici. Quest’ultima in particolare costituisce la rappresentazione storicizzata del componente, aggiornata di

tutti gli interventi di restauro, gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione subiti dallo stesso nel tempo, nonché di tutte le eventuali forme di degrado presenti. I LOD da A a E, invece, sono considerati dalla norma come non significativi per gli interventi di restauro, ad eccezione di alcune particolari semplificazioni nei modelli di natura specialistica.

La UNI considera il LoD come un attributo del singolo elemento, consentendo, quindi, anche LoD diversificati all'interno del modello complessivo. Tuttavia, va evidenziata una sostanziale difformità tra il processo BIM e quello HBIM: se nel primo la differenza tra i LoD è legata alla fase di progettazione, al termine della quale ci sarà uniformità e tutti gli oggetti saranno sviluppati con un livello di sviluppo massimo; lo stesso non si può dire per i processi HBIM per il patrimonio costruito, per i quali, anche a conclusione del processo conoscitivo, è molto probabile che gli oggetti che compongono i modelli abbiano LoD differenti a causa della disomogeneità delle informazioni disponibili. Da un punto di vista informativo, infatti, il modello HBIM si basa su una conoscenza puntuale, più o meno approfondita e nella maggior parte dei casi non esaustiva, in cui

Fig. 25. Modello HBIM esploso del cantiere di restauro della chiesa di San Cipriano (AQ).



spesso non tutte le informazioni sono disponibili e, mentre alcune (fisiche) possono essere indagate attraverso diagnostiche e rilievi, altre (ad esempio le informazioni storiche) possono essere semplicemente assenti perché non documentate o andate perse negli anni<sup>48</sup>. Esiste quindi una difficoltà nello stabilire un livello di sviluppo (LoD) appropriato da raggiungere all'interno degli elementi dei modelli HBIM sulla base della scala prestabilita dalla UNI per le nuove costruzioni, e nel riuscire a soddisfarlo.

L'approccio di estensione della scala dei livelli di sviluppo al patrimonio, prevedendo per lo stesso dei LOD massimi "in quanto singolarità eventualmente ininfluenti per singole attività tecniche possono assumere rilevanza decisiva per altre scelte progettuali"<sup>49</sup> risulta essere corretto da un punto di vista ideale, ma propone un semplicistico trasferimento della procedura BIM agli edifici storici, poiché questi ultimi derivano da modificazioni e stratificazioni avvenute nel tempo, che testimoniano le culture costruttive succedutesi nel corso dei secoli, caratterizzate da un grado di complessità elevato e da una conoscenza lacunosa.

Per sopperire dunque all'assenza di standard specifici per il costruito storico, sono stati introdotti nel tempo, all'interno di varie sperimentazioni, dei nuovi livelli per definire e valutare il livello di sviluppo e di affidabilità degli oggetti HBIM.

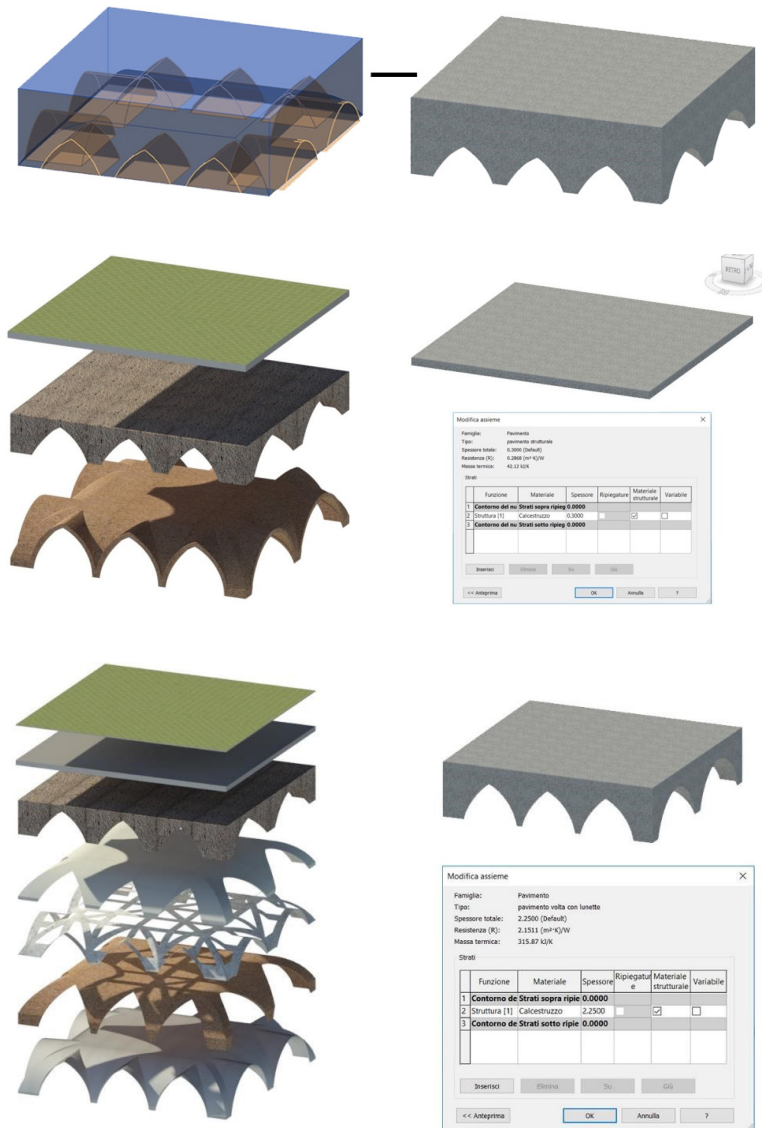
Tra questi vi è l'introduzione del Level of Knowledge (LK), tratto dal LK definito all'interno degli standard tecnici delle costruzioni italiani (NTC 2009), che contiene i dati riguardanti la conoscenza degli oggetti digitali. Il Level of Knowledge è suddiviso in geometrico, strutturale e materiale, ed è costituito da quattro livelli: LK0, livello di conoscenza supposta; LK1, livello di conoscenza limitata; LK2, livello di conoscenza appropriata; LK4, livello di conoscenza accurato<sup>50</sup>.

In un altro studio, Brumana et al. introducono due nuovi livelli, che non sostituiscono i LOD ma si affiancano ad essi, e che sono il Grado di Generazione (GOG) ed il Grado di Accuratezza (GoA) degli oggetti digitali<sup>51</sup>. Il primo ha come scopo quello di descrivere il processo di modellazione; il secondo valuta e dichiara, invece, il dettaglio e l'accuratezza dei modelli in funzione della scala virtuale scelta in relazione con i fini e degli obiettivi del modello. Una scelta trasparente dell'accuratezza consente di definire il LoG e di adottare un GoG corretto tra le varie opzioni (GOG1-10) in funzione delle nuvole di punti e della scala scelta.

Infine, l'introduzione di un livello di sviluppo specifico per le informazioni storiche che non trovano posto negli attuali software e database BIM: il Level of History (LOH)<sup>52</sup>.

In questo contesto l'introduzione del livello di fabbisogno informativo (LOIN –Level of Information Need), da parte della nuova norma internazionale UNI EN ISO 19650 del 2019, può aiutare a superare alcuni dei limiti derivanti dall'estensione della procedura BIM agli edifici storici. I LOIN, infatti, che vanno a sostituire i LOD, sono strettamente dipendenti dal tipo di utilizzo e dalle esigenze, ovvero dalle caratteristiche del patrimonio e della finalità del modello HBIM, e devono essere rispettati da ogni elemento del modello<sup>53</sup>.

Questo rende la definizione dei contenuti da inserire all'interno dei modelli, flessibile e adattabile al costruito storico, per cui, invece di cercare di raggiungere e soddisfare specifici LoD classificati e definiti per le nuove costruzioni, è possibile stabilire a priori, in base alle finalità del modello, quali informazioni devono essere inserite all'interno degli elementi e tralasciare quelle che invece non sono necessarie. Di quelle necessarie, infine, nel caso di edifici storici è necessario distinguere quali sono indagabili, e quindi reperibili in caso di necessità (per esempio le informazioni riguardanti l'apparecchiatura costruttiva





dei componenti architettonici), e quali, invece, sono semplicemente disponibili o assenti (per esempio quelle storiche derivanti da ricerche archivistiche e bibliografiche).

### 3.4 Trasparenza, affidabilità e coerenza del modello

La trasparenza è un concetto nato in principio nel settore dell'archeologia che per prima ha investigato sulla rappresentazione digitale come metodo di ricerca. I riferimenti fondamentali aventi come oggetto la trasparenza, intesa come la dichiarazione delle fonti e la documentazione del processo interpretativo eseguito sulle loro basi, sono stati sviluppati per l'archeologia e sono la Carta di Londra (2009) e i Principi di Siviglia (2012)<sup>34</sup>.

La Carta di Londra ha il fine di fissare una serie di principi che assicurino che l'integrità e affidabilità intellettuale della visualizzazione digitale del patrimonio culturale. Nello specifico, per garantire l'integrità intellettuale della rappresentazione digitale devono essere identificate e valutate, in maniera documentata e strutturata, le fonti rilevanti della ricerca; queste ultime sono intese come tutte le informazioni, digitali e non digitali, prese in considerazione durante la creazione della rappresentazione.

I Principi di Siviglia stabiliscono i criteri necessari per misurare la qualità dei progetti realizzati nel campo dell'archeologia virtuale con il fine di incrementare le condizioni di applicabilità della Carta

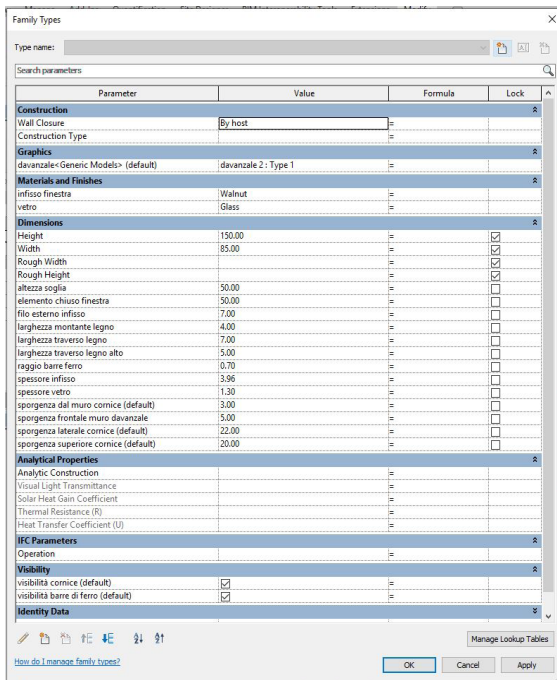


Fig. 27. Scheda dei parametri di tipo di una famiglia BIM.

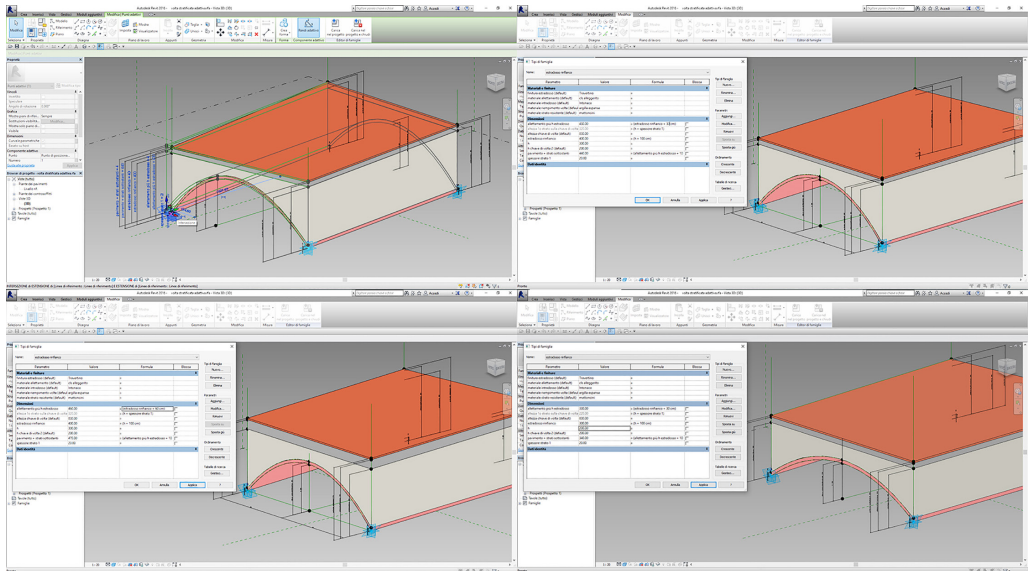


Fig. 28. Modello parametrico BIM di una volta a botte stratificata realizzato creando una famiglia metrica adattiva all'interno del software Autodesk Revit 2021.

di Londra, in modo tale da favorirne l'impiego. I principi introducono la "trasparenza scientifica" evidenziando come per raggiungere il rigore scientifico e accademico nelle visualizzazioni digitali è essenziale documentare in modo chiaro e conciso, e presentare in modo trasparente, l'intero processo di lavoro: obiettivi, metodologia, tecniche, ragionamento, origine e caratteristiche delle fonti di ricerca, risultati e conclusioni.

Tutte le informazioni emerse nel processo di studio e di ricerca scientifica convergono quindi in un modello "di conoscenza" dell'oggetto di studio che si configura come una sintesi dei dati raccolti attraverso uno studio sistematico, tracciabile ed il più possibile trasparente<sup>55</sup>. L'importanza del concetto di trasparenza è stata confermata anche nel campo architettonico<sup>56</sup>. Gli edifici storici, infatti, presentano caratteristiche particolari rispetto alle altre tipologie di patrimonio costruito, per quanto riguarda i materiali, gli aspetti costruttivi e storici, gli spazi, gli usi e la documentazione disponibile. Ogni rappresentazione, che sia essa di edifici nella loro configurazione attuale o passata, o di edifici non più esistenti, è frutto di un'interpretazione critica di materiali eterogenei, spesso parziali ed incompleti, derivanti da fonti dirette o indirette (ricerche archivistiche e documentali e dal rilievo). La trasparenza scientifica, intesa come raccolta e presentazione trasparente di tutto il processo di modellazione, a partire dalla dichiarazione delle fonti delle informazioni utilizzate per la modellazione, è quindi una premessa indispensabile per la restituzione digitale anche in ambito architettonico.

La modellazione BIM è costituita dal duplice aspetto geometrico e informativo. Il modello BIM, quindi, non può essere una sola rappresentazione geometrico-dimensionale ma deve contenere al suo interno anche tutte le informazioni relative ai materiali,

all'apparecchiatura costruttiva, alle caratteristiche storiche, strutturali, ecc. La trasparenza e l'affidabilità della ricostruzione virtuale, quindi, non possono solo essere riferite all'aspetto geometrico-dimensionale, ma anche alle tematiche inerenti alla conoscenza.

Per quanto riguarda l'affidabilità geometrica, essa è verificata sulla base del rilievo, mediante la misurazione dello scostamento tra il modello tridimensionale e la nuvola di punti: maggiore è la distanza tra i due, più il modello risulta essere vicino a un modello ideale, semplificato e realizzato sulla base di generatrici e direttrici ideali; minore è la distanza, più il modello è accurato e vicino all'oggetto reale (modello As-Built)<sup>57</sup>.

Quattrini et al. per garantire l'accuratezza, l'aderenza e la qualità della rappresentazione dei modelli HBIM sviluppano due casi studio in cui creano modelli semanticamente strutturati partendo dalle nuvole di punti, con il fine di minimizzare gli step ed evitare l'eccessiva semplificazione e la conseguente perdita di informazioni. Infine, validano l'accuratezza geometrica dei modelli, effettuando sia un controllo qualitativo inerente alla deviazione complessiva, che dei controlli puntuali sui singoli elementi, riuscendo a raggiungere un errore massimo di 9 cm con una deviazione inferiore a 3 cm per l'86% del modello<sup>58</sup>. Bianchini e Nicastro con l'obiettivo di misurare ed esplicitare il livello di affidabilità degli oggetti digitali, introducono e codificano un nuovo parametro, the Level of Reliability (LOR), sempre associato agli elementi del modello tridimensionale<sup>59</sup>. Il LOR è il risultato di una media ponderata, che va da 0 fino a 10, tra fattori, più o meno influenti, che tengono conto sia della rispondenza geometrica che dell'affidabilità ontologica del modello rispetto alla realtà. Per una visualizzazione più immediata della reliability del modello, inoltre, la scala numerica del LOR è espressa in una scala cromatica semplificata con tre livelli di affidabilità (bassa, media e alta).

Brumana et al. sottolineano l'importanza di definire delle specifiche e dei protocolli, ad oggi assenti, con il fine di raggiungere un linguaggio comune per la modellazione del patrimonio costruito<sup>60</sup>. Nel loro paper propongono e adattano alla modellazione HBIM le specifiche convenzionalmente adottate per il rilievo in termini di dettaglio ed accuratezza, introducendo i Grade of Accuracy (GoA) che dovrebbero essere rispettati nella fase di modellazione tridimensionale in funzione della scala virtuale scelta in base ai fini e agli obiettivi del modello. I GoA non sostituiscono i LoD ma li affiancano e hanno il fine principale di descrivere come è avvenuta la modellazione degli oggetti a partire dal rilievo.

L'U.S. Institute of Building Documentation ha pubblicato la terza versione delle linee guida per consentire a professionisti nel settore dell'architettura, ingegneria, costruzione, proprietario (AEEO) di specificare con chiarezza l'accuratezza con cui rappresentare e documentare lo stato di fatto degli edifici. Il framework da loro definito prevede diversi livelli di accuratezza geometrica/spaziale in termini di deviazione standard; ogni livello (LoA) è costituito da un range di accuratezza specifico ed è relativo ai singoli elementi costituenti l'edificio. Le linee guida definiscono sia l'accuratezza

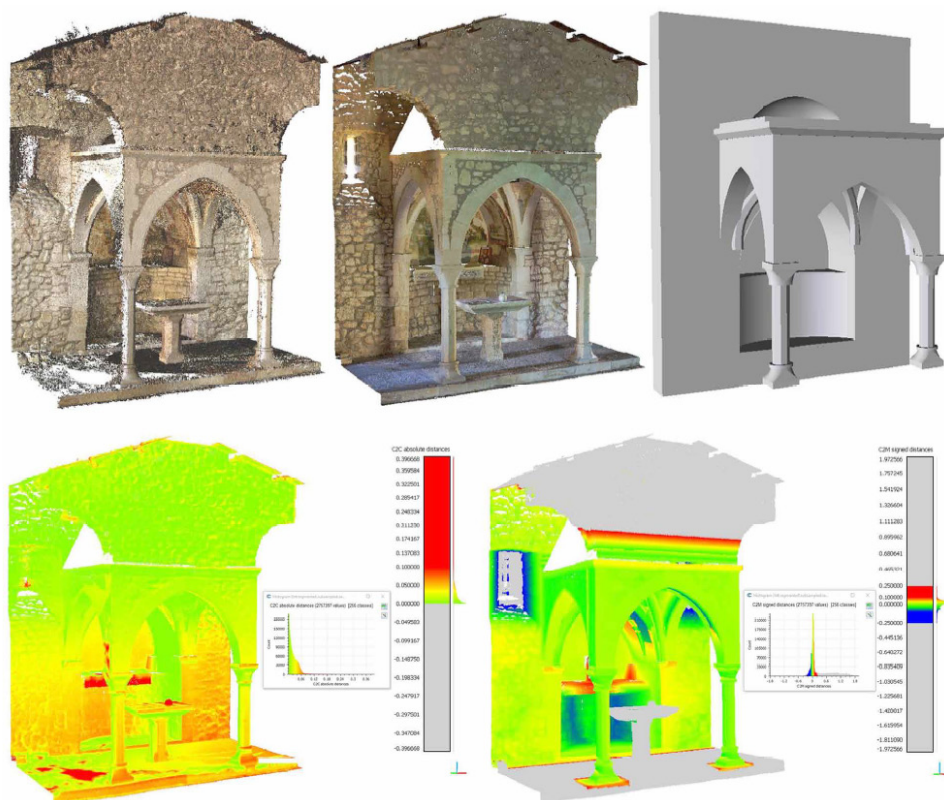


Fig. 29. Chiesa di San Cipriano (AQ). Nuvole di punti e modello dell'area absidale della chiesa: valutazione della deviazione tra le nuvole SfM e TLS e il modello restitutivo HBIM.

misurata, cioè relativa al dato, sia quella rappresentata, cioè relativa alla restituzione<sup>61</sup>.

Con il fine di realizzare un framework flessibile, progettato per assistere e aiutare gli studiosi nella scelta dei corretti LoA da applicare o da richiedere in base ai fini del progetto, Le USIBD, inoltre, definiscono una scheda guida, contenente i LoA suggeriti a seconda che il framework sia standard o applicato al patrimonio, che può essere utilizzata ed adattata in base alle specifiche esigenze.

Maiezza, infine, evidenzia come le problematiche relative alla trasparenza e all'affidabilità della visualizzazione digitale costituiscono un tema di primaria importanza, in particolar modo nell'HBIM in cui la reliability non è solo relativa alla relazione tra il modello e la misura ma anche alle altre informazioni tra cui, per esempio, l'apparecchiatura costruttiva<sup>62</sup>. Nel suo articolo propone degli standard per valutare e dichiarare l'affidabilità geometrica (LoA, Level of Accuracy), e l'affidabilità informativa (LoQ, Level of Quality) associate ai singoli oggetti. L'importanza dell'affidabilità degli altri contenuti informativi nell'ambito della restituzione attraverso la realizzazione di un modello 3D è sottolineata da numerosi studi incentrati sulla dichiarazione delle fonti utilizzate nel tentativo di garantire una ricostruzione tridimensionale scientificamente rigorosa.

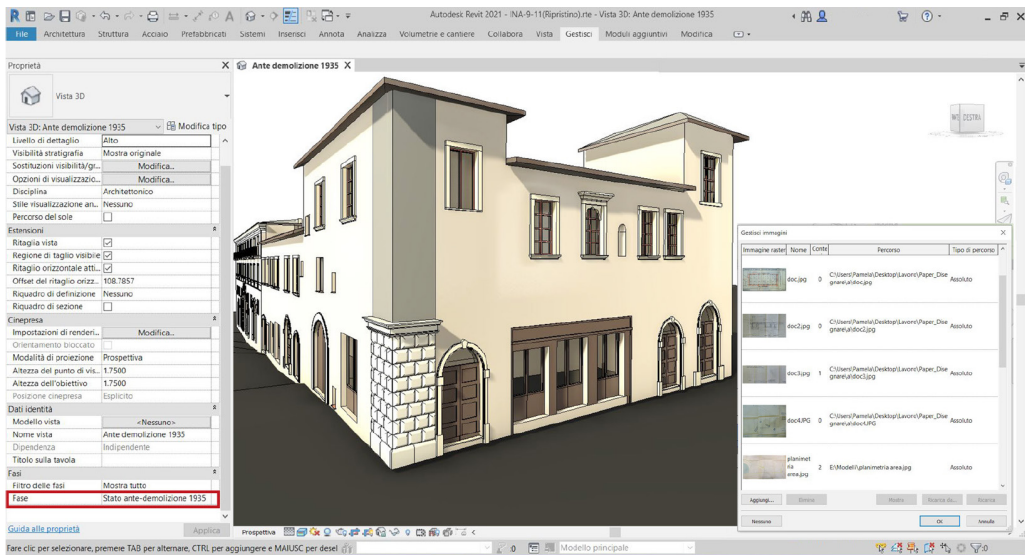


Fig. 30. Ricostruzione digitale dell'angolo Quattro Cantoni a L'Aquila prima delle demolizioni del 1935. In ambiente BIM, le informazioni storiche sono parte il Level of History, specificamente proposto come Livello di Sviluppo integrativo per il patrimonio architettonico.

Borra presenta un modo per esprimere la coerenza dell'anastilosi virtuale, considerando il modello come un'interfaccia per comunicare la metodologia di lavoro, e proponendo quattro livelli di coerenza della forma del modello: la reliability secondo dati oggettivi, anche derivata da informazioni documentali; la reliability secondo l'analisi costruttiva; la coerenza agli stili architettonici; l'ipotesi interpretativa<sup>63</sup>.

Stefani et al. sottolineano come la conoscenza di un sito storico sia spesso contraddittoria e incerta, caratterizzata dallo studio di documenti eterogenei, spesso incompleti e dubbi. Nel loro articolo si concentrano sui problemi di visualizzazione delle trasformazioni storiche dell'edificio. Sottolineano inoltre come la semantizzazione e la granularità del modello 3D consentano la rappresentazione delle incertezze spaziali e temporali<sup>64</sup>.

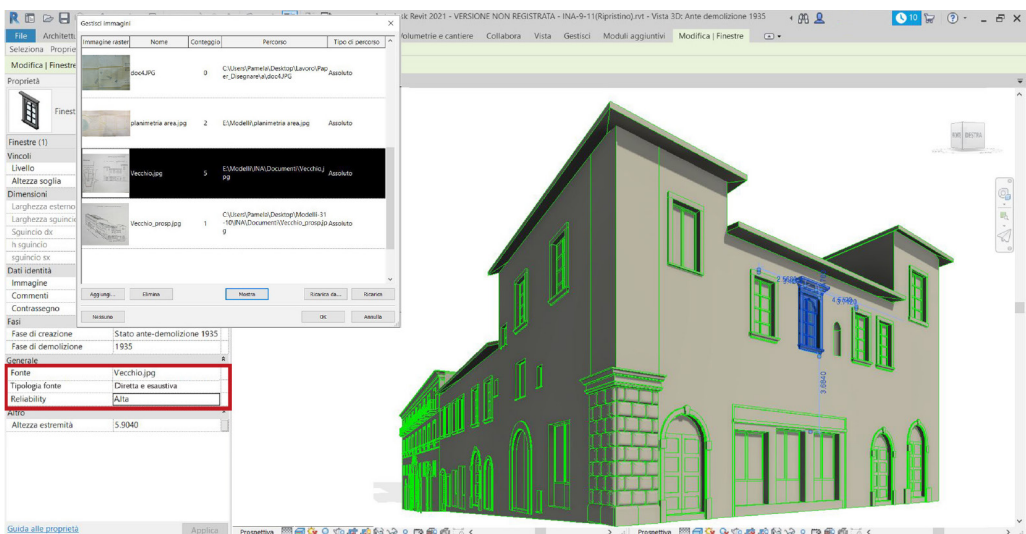
De Luca et al. propongono una piattaforma semantica per gestire le rappresentazioni digitali del patrimonio architettonico per l'analisi e la documentazione. Il grado di incertezza viene espresso utilizzando differenti colori riguardanti indeterminatezze spaziali (forma o posizione) e temporali<sup>65</sup>. Per quanto riguarda le trasformazioni degli edifici, gli autori descrivono i cambiamenti utilizzando un sistema di annotazione grafica (creazione, distruzione, alterazione, unione, divisione, ricostruzione). Per l'entità geometrica vengono definiti quattro livelli a seconda del metodo di ricostruzione: basato sull'acquisizione dei dati di rilievo; su immagini in proiezione conica o cilindrica; su immagini in pseudo-prospettiva, pseudo-assonometria o schizzi; senza supporto iconografico o dati di rilievo. Inoltre, associano al modello un parametro di trasparenza per differenziare le forme ipotetiche (esistenti o distrutte), di cui si conoscono le fonti iconografiche, e le varie supposizioni.

Infine, studiando diversi tipi di patrimonio architettonico, Apollonio e Giovannini presentano una metodologia per l'elaborazione dei dati, con l'obiettivo di descrivere la creazione del modello 3D tenendo traccia dell'intero processo di modellazione<sup>66</sup>. Nel loro articolo propongono l'uso di una scala di colori per rappresentare l'affidabilità relativa a diverse fonti: rilievo laser scanner; disegno originale del rilievo; schizzi originali e disegni di rilievo incompleti; riferimento a progetti coevi; dati dedotti dai livelli precedenti; riferimenti mancanti.

### 3.5 Specificità nella modellazione dell'apparecchiatura costruttiva storica

Il rilievo, inteso come fondamentale strumento di conoscenza dell'organismo architettonico, si configura come atto iniziale del processo HBIM. Per garantire la buona conservazione e la tutela, tanto dei valori di immagine, quanto di quella struttura, è indispensabile rilevare "in profondità, oltre 'la pelle dell'edificio'"<sup>67</sup>. Le tematiche del rilievo e della rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva storica sono quindi essenziali nel processo di conoscenza storico critica dei manufatti architettonici, e costituiscono estensione e parte integrante del rilievo architettonico. Si tratta del cosiddetto "rilievo anatomico" citato da Centofanti, che rappresenta "una condizione imprescindibile per la definizione di un modello grafico restitutivo, in grado di restituire una lettura che vada aldilà del visibile, ma soprattutto che esprima compiutamente e sostanzialmente la realtà materiale e costruttiva, costitutiva della architettura"<sup>68</sup>. Nella tradizione delle esperienze italiane, dalla fine degli anni Ottanta il tema del rilievo dell'apparecchiatura costruttiva è stato oggetto di specifici approfondimenti da parte delle discipline rivolte al

Fig. 31. Valutazione dell'affidabilità della ricostruzione storica all'interno dell'ambiente BIM: la visualizzazione in verde dei vari elementi architettonici indica a alta LoQH dovuta alla disponibilità di fonti dirette ed esaustive.



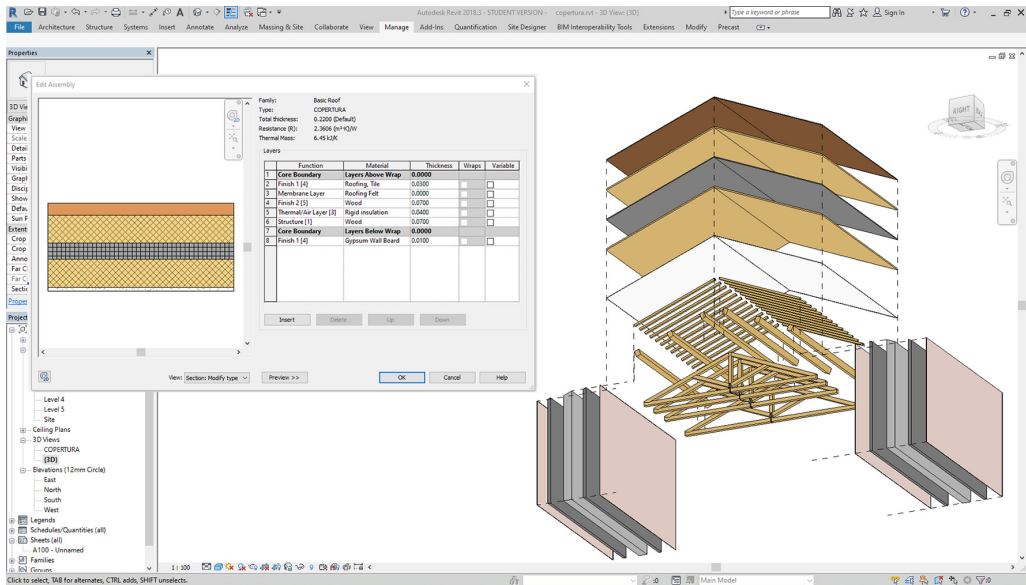


Fig. 32. Modellazione HBIM di una copertura lignea con capriate, arcarecci e travicelli, realizzata sulla base di disegni derivanti da rilievo.

cosiddetto “Built Heritage”. In particolare, le esperienze dei “Manuali”, dei “Codici di Pratica”, e degli “Atlanti” fanno riferimento ad una linea di studio dedicata ai centri storici, svolta con una specifica attenzione ai centri minori e all’architettura tradizionale, spostando l’interesse dal monumentale – seppur correlato al suo contesto – ad un approccio inclusivo, a diverse scale di approfondimento<sup>69</sup>.

Lo studio, il rilievo e la rappresentazione dell’apparecchiatura costruttiva storica trovano specifici approfondimenti soprattutto nell’ambito delle discipline del Restauro Architettonico, del Disegno, e dell’Archeologia, quest’ultima con particolare riferimento alle tecniche murarie, tanto antiche che medievali<sup>70</sup>.

Il tema del rilievo dell’apparecchiatura costruttiva storica è stato opportunamente affrontato nell’ambito dei principali manuali di rilevamento architettonico<sup>71</sup>. La rappresentazione è tradizionalmente condotta con piante e sezioni alle varie scale, ma anche con spaccati ed esplosi assometrici, utili ad illustrare l’articolazione dei differenti componenti e le loro relazioni<sup>72</sup>.

La restituzione del rilievo mediante l’utilizzo di nuove tecnologie avanzate per la realizzazione del modello rappresentativo virtuale consente un approfondimento potenziato e multidisciplinare, in cui il modello, strutturato e complesso, viene a costituirsi allo stesso tempo sia come documento, passibile di interpretazione, che come un vero e proprio testo storico-critico<sup>73</sup>.

Nell’ambito delle tecnologie digitali dell’architettura, proprio il BIM costituisce il primo processo semanticamente fondato che contempla la gestione e modellazione informativa del sistema costruttivo.

La conoscenza dell’apparecchiatura costruttiva è perlopiù frammentaria, in genere non esaustiva, di un sistema complesso che si cela

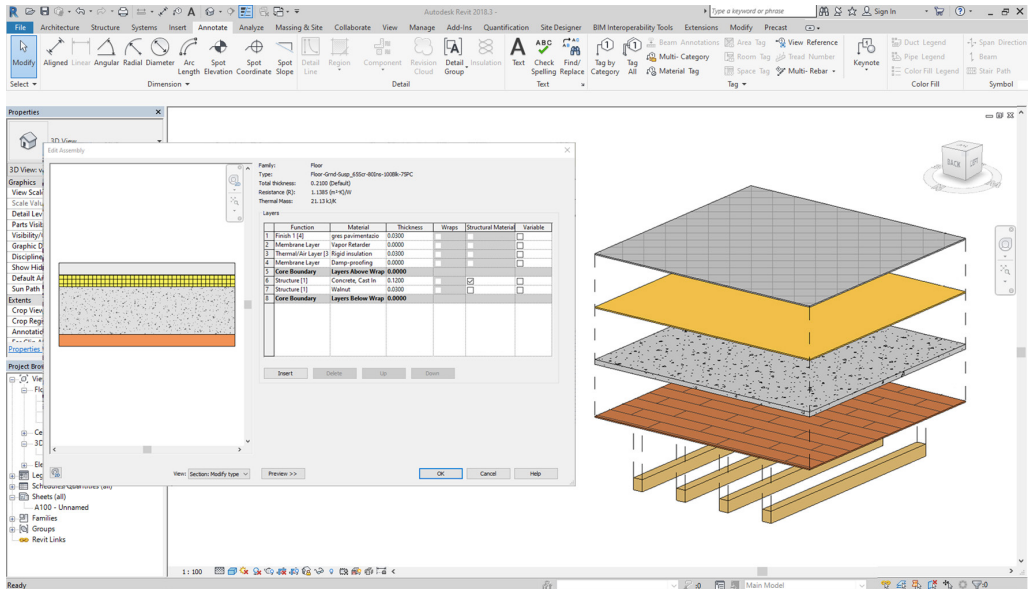


Fig. 33. Modellazione HBIM di un solaio di Palazzo Falconi a Torre di Taglio, realizzata sulla base di disegni derivanti da rilievo.

dietro la superficie. Può talvolta essere diretta e completa (almeno per alcune parti), oppure essere discreta per saggi ed introspezioni, o essere esito di indagini e informazioni indirette, quali notizie di archivio, di progetto o di cantiere, o, infine, in caso di mancanza di informazioni certe, può essere frutto di un processo critico in cui il rilevatore o il modellatore, può avanzare delle ipotesi ricostruttive, condotte sulla base dell'esperienza e cultura, oppure suggerite da studi o manualistica. Tali lacune, nella maggior parte dei casi, possono essere chiarite solo nella fase di cantiere. Pertanto, quando ci si rapporta con la rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva storica, come nel tradizionale processo di rappresentazione, proprio del disegno di progetto, si ha una conoscenza e rappresentazione per lo più ricondotta all'utilizzo di simbologie che muove verso declinazioni iconiche al diminuire della scala, cioè al crescere del livello di definizione grafico. La rappresentazione è in ogni caso, in gran parte "tipologica": per esempio, nel disegno in sezione di una muratura, nonostante nella realtà non si abbia una conoscenza puntuale della geometria di ogni elemento lapideo, questa viene disegnata con riferimento ad uno schema che rimanda alla tipologia, atto ad evidenziarne le peculiarità (tipologia degli elementi, dimensioni massime, medie e minime, modalità di posa in opera). Dunque la "frammentarietà" e "tipizzazione" della conoscenza dell'apparecchiatura costruttiva storica riconducono a modelli grafici fortemente definiti nei particolari, ma che solo in parte derivano dalla misura diretta, e che sono volti a descrivere i caratteri significativi di quanto rappresentato. Questo tipo di conoscenza potrebbe trovare nell'approccio per tipologie parametrizzate del BIM, dove i modelli, in quanto parametrici, possono essere adattati alle singolarità dei manufatti, un elemento di rappresentazione e conoscenza fondamentale.



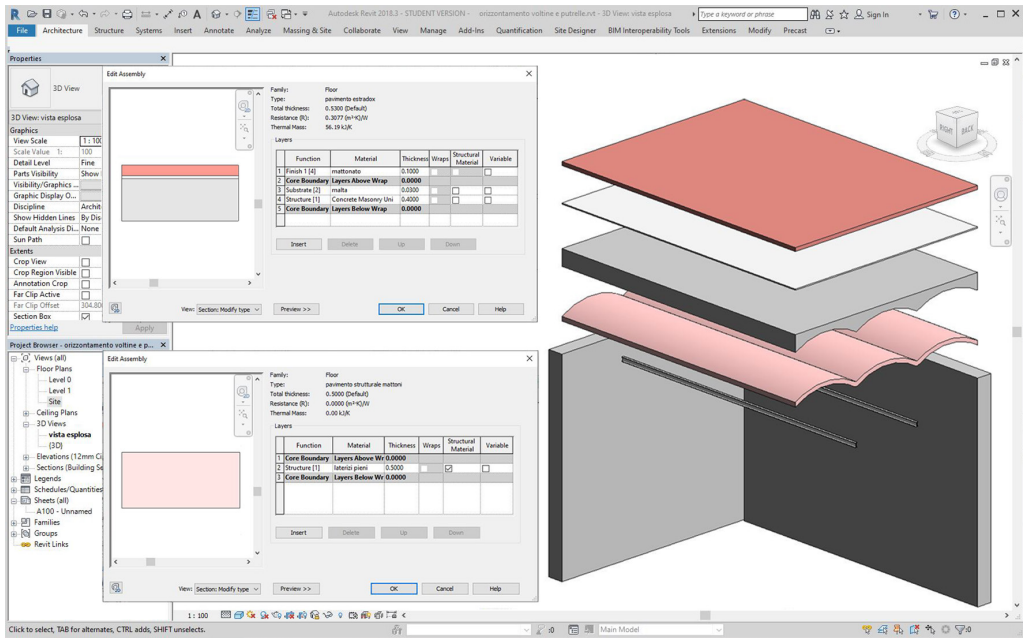


Fig. 34. Modellazione HBIM di voltine in putrelle laterizi di un edificio a Castel del Monte, realizzata sulla base di disegni derivanti da rilievo.

Nonostante la stretta relazione tra l'aspetto geometrico e quello informativo, ad oggi la maggior parte delle sperimentazioni relative all'utilizzo dell'HBIM hanno interessato principalmente le problematiche relative alla rappresentazione geometrico-dimensionale dei componenti edilizi storici o alla documentazione del patrimonio costruito. La nota aporia tra la standardizzazione del processo edilizio, fondamentale dell'approccio BIM, e l'unicità del manufatto, aspetto caratterizzante del patrimonio architettonico, derivante dall'utilizzo di processi di costruzione artigianali e soggetti a processi di degrado, danno e modificazione nel tempo, ha dato seguito a numerosi studi che, in maniera differente, hanno tentato di rispondere alle particolari caratteristiche dei beni architettonici. Tali linee di ricerca però, nonostante siano di grande interesse per quanto riguarda la rappresentazione di edifici storici, lasciano in secondo piano il tema costruttivo che, per la stessa natura del BIM, è invece essenziale e per cui però il numero di sperimentazioni risulta essere ridotto<sup>74</sup>. In tal senso il BIM è il primo processo digitale che si fonda su una rappresentazione semantica ad oggetti basata sul sistema costruttivo: es. muro, solaio, copertura, ecc. Per tale ragione, la rappresentazione e, quindi, la parametrizzazione dei componenti architettonici deve necessariamente confrontarsi anche con questa tematica. La rappresentazione BIM dell'architettura storica non può, quindi, fermarsi ai soli aspetti geometrici relativi alla superficie dei componenti, indagata attraverso i sistemi di acquisizione massiva 3D (laser scanner o fotogrammetria), ma deve comprendere anche l'apparecchiatura costruttiva. La conoscenza di quest'ultima è affidata alle



Fig. 35. Modello HBIM di una volta a crociera con stratigrafia delle componenti. Dall'alto verso il basso: pavimento in graniglia, strato autolivellante, strato di riempimento, maglia in fibra di vetro annegata in uno strato di malta, volta in laterizi, intonaco di finitura.

indagini diagnostiche, alla ricerca archivistico-documentale e alla lettura critica dell'edificio.

Il progredire delle diverse indagini condurrà ad un aumento della conoscenza e, quindi, ad un incremento del livello di sviluppo del modello (LoD). Tuttavia, anche a conclusione del percorso di analisi, è probabile che non si raggiunga un livello di conoscenza completo con LOD uniformi per tutti gli elementi. Questo perché la rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva degli edifici storici dipende dalla disponibilità, o meno, di informazioni che, nella maggior parte dei casi, sono eterogenee e non esaustive per tutti i componenti architettonici. La modellazione del sistema costruttivo di un edificio storico, dunque, è frutto di un processo critico che, sulla base delle informazioni a disposizione, porta il modellatore ad avanzare delle ipotesi interpretative, più o meno attendibili. Inoltre, a tali problematiche si aggiunge la criticità legata agli interventi subiti nel corso del tempo che, in alcuni casi, possono portare alla presenza di un'apparecchiatura costruttiva variegata all'interno di un unico oggetto semantico (ad esempio nel caso di un muro in pietra consolidato con un intervento di cuci-scuci in laterizio).

Da un punto di vista operativo, la modellazione di elementi architettonici dettagliati che contemplano anche l'apparecchiatura costruttiva, può essere effettuata mediante l'utilizzo di procedure differenti. È quindi necessario considerare attentamente, da un lato, le potenzialità offerte dalla parametrizzazione delle componenti architettoniche e, dall'altro, l'accuratezza richiesta ad un modello in base alle sue finalità (anche mediante il ricorso all'utilizzo di NURBS e mesh nel caso sia necessario un modello particolarmente dettagliato) e decidere, anche in base alla tipologia e all'unicità dell'elemento, quale metodo di modellazione scegliere, quale grado di semplificazione e di parametrizzazione fornire, e qual è il massimo scostamento ammissibile (deviazione).

Il modello HBIM, infatti, non vuole essere una virtualizzazione del reale dal punto di vista di una aderenza totale con esso (modello "as-built" con LoD elevato che rappresenta tridimensionalmente ogni dettaglio dell'oggetto): il suo fine non è quello di sostituirlo, ma di accompagnarlo come strumento euristico utile per la comprensione e per l'analisi interpretativa complessa che si estrinseca attraverso numerose modalità differenti di comunicazione e diversi livelli di simbolismo e di parametrizzazione<sup>75</sup>.

### 3.6 Proposta per un nuovo livello informativo: il *Level of History* (LoH)

Oltre alle complessità geometriche, si aggiunge la necessità di gestire una grande mole di informazioni eterogenee che va oltre le normali procedure BIM. Come detto in precedenza<sup>82</sup>, la conoscenza e la rappresentazione di un edificio storico comprendono tutta una serie di informazioni che non sono contemplate nei normali processi BIM, pensati per le nuove costruzioni.

Da queste considerazioni segue che l'Historic BIM, anche se mutuato dal più consolidato BIM, richiede un approccio teorico-metodologico differente che prenda in considerazione le peculiarità e le particolari esigenze del patrimonio architettonico. In questo senso, i tradizionali livelli utilizzati per descrivere il contenuto informativo del modello non sono sufficienti in ambito HBIM. I ben noti livelli di sviluppo degli oggetti digitali (LoD) sono costituiti sia dagli attributi grafici (attributi geometrici - LoG) sia da quelli non grafici (attributi informativi - LoI). Entrambi i livelli si riferiscono ad aspetti dell'oggetto digitale rappresentativi dell'elemento architettonico che, in una certa misura, possono essere considerati quantificabili e valutabili: ad esempio, le dimensioni o il materiale o, ancora, il costo del componente. Sono informazioni riguardanti le caratteristiche fisiche dell'elemento architettonico, o necessarie per la gestione del progetto e del cantiere. Si tratta per la maggior parte di parametri già contemplati all'interno delle piattaforme BIM che, infatti, includono, nel database connesso alla rappresentazione tridimensionale, i campi per l'inserimento delle informazioni corrispondenti.

Tali aspetti interessano anche le componenti architettoniche degli edifici storici, ma non esauriscono il campo di interesse che, nel caso del patrimonio, comprende anche tutte le informazioni di carattere più generale, (quali informazioni riguardanti l'autore dell'opera e il contesto culturale, o derivate da disegni d'archivio, immagini storiche, ecc.) che, pur fondamentali nel processo di conoscenza di un bene culturale, non sono direttamente correlate alla fisicità dell'elemento architettonico.

Poiché la rappresentazione del patrimonio architettonico richiede la gestione di informazioni che non sono considerate nelle consolidate procedure BIM, può essere utile introdurre un nuovo livello di sviluppo riguardante la conoscenza storica che, insieme ai LoG e ai LoI, contribuirebbe a una definizione più accurata dei LoD per il costruito. Tale livello è il Livello di Storia: "LoH- Level of History". Il LoH si riferisce a tutte le informazioni di carattere storico relative al processo di modificazione e stratificazione subite dall'edificio, che lo hanno portato ad acquisire la configurazione corrente (ad esempio date, autore, fasi storiche, ecc.).

Con riferimento alle definizioni offerte dalla normativa per LoD, LoG e LoI, il LoH può essere inteso come parte costitutiva del LoD, insieme alla LoG e alla LoI, riferito agli attributi di informazione storica. Tuttavia, il LoH differisce dal LoI in quanto comprende tutte quelle informazioni storiche relative agli aspetti tangibili del bene architettonico di per sé non computabili, non direttamente legate alla fisicità dell'elemento e non sempre strettamente riferibili a caratteristiche dei singoli oggetti digitali.

Poiché questo campo appare in linea di massima incommensurabile e difficilmente circoscrivibile, il LoH si intende costituito principalmente da riferimenti archivistici e bibliografici, ma anche da informazioni storiche, relative alle trasformazioni fisiche del bene.

Al fine di delimitare il campo di tali informazioni, si assume come riferimento metodologico rispetto alla più generale "storia" la nota

riflessione di Spagnesi sulla “autonomia della storia dell’architettura”: intesa come “la conoscenza dello spazio fisico costruito dall’uomo, cioè della realtà attuale”, che consiste nell’unica realmente indagabile e conoscibile e che “è l’esperienza vissuta dell’evento, come sequenza degli avvenimenti spazio-temporali, sino a quello, che tutti i precedenti riassume, della presente contemporaneità”<sup>76</sup>, pertanto, intesa come la conoscenza del processo delle azioni e trasformazioni che hanno condotto alla realtà attuale (sezioni storiche), nei suoi momenti qualificanti e determinanti, sia in termini di configurazione spaziale che materica<sup>77</sup>.

Le informazioni storiche sullo stato attuale dell’elemento possono essere raggruppate all’interno di campi quali:

- data;
- autore(i);
- descrizione delle trasformazioni subite dal bene;
- tecniche costruttive utilizzate;
- note sul cantiere;
- riferimenti documentali e bibliografici;
- documenti storici.

Per ogni campo possono essere presenti più informazioni, in base al numero di eventi che hanno portato l’edificio allo stato attuale, a quanti di questi eventi sono stati documentati e a sé questi documenti sono oggi disponibili ed esistenti.

Poiché, le informazioni riguardanti la conoscenza storica di un elemento architettonico possono essere più o meno esaustive, si può utilizzare il concetto di “livello” anche nel caso del LOH.

Si possono, quindi, ipotizzare tre livelli di conoscenza storica LoH:

- livello alto, corrispondente a una conoscenza storica esauriente;
- livello intermedio, per una conoscenza parziale;
- livello basso, in caso di assenza di conoscenza.

Pertanto, la ricchezza informativa di ogni elemento architettonico di un modello HBIM è descritta da tre Livelli: il livello di sviluppo degli attributi geometrici e il livello di sviluppo degli attributi informativi, come avviene nei consueti modelli BIM, a cui va aggiunto il Livello di Storia, specifico del patrimonio architettonico.

Mentre però gli attuali LoD trattano parametri già contemplati all’interno delle piattaforme BIM che includono, nel database connesso alla rappresentazione tridimensionale, i campi per l’inserimento delle relative informazioni, le informazioni relative al LoH sono aggiuntive rispetto a quelle attualmente gestibili in ambiente BIM e non sono pienamente supportate da tali software. Pertanto, per inserire le informazioni storiche all’interno dei modelli BIM è necessario un ampliamento degli attuali database BIM, mediante il collegamento degli stessi a database esterni in cui è possibile archiviare e gestire tutte le informazioni aggiuntive, non supportate dagli attuali software BIM, quali ad esempio: foto storiche, documenti d’archivio, ecc.

L’introduzione del LOH, infine, è compatibile anche con il nuovo livello di fabbisogno informativo (LOIN), che consente maggiore flessibilità nella definizione delle informazioni da inserire all’interno dei modelli<sup>78</sup>.

### 3.7 Proposta per uno standard sui livelli di trasparenza e reliability

La dichiarazione delle fonti e il livello “interpretativo” delle informazioni ottenute in base ai dati disponibili sono due temi essenziali nel contesto della rappresentazione del patrimonio architettonico. Per una rappresentazione scientificamente valida è infatti necessario che il processo di modellazione sia metodologicamente fondato e che questo sia reso noto, offrendo la possibilità ad altri studiosi di replicarlo<sup>79</sup>. Come evidenziato in precedenza, pertanto, le questioni di “Trasparenza” e “Affidabilità”, o reliability, diventano fondamentali, assumendo un ruolo ancora più importante nel caso dell’HBIM dove la rappresentazione geometrica è arricchita da numerosi attributi informativi eterogenei (tecnologia costruttiva, fasi storiche, ecc.). Da un punto di vista operativo è quindi necessario definire una procedura e degli standard specifici, ad oggi assenti, che possano garantire l’efficacia del processo HBIM per la documentazione e il progetto di restauro degli edifici storici.

La procedura proposta è basata sulla dichiarazione trasparente delle fonti che hanno sostenuto la modellazione e, allo stesso tempo, sulla valutazione e comunicazione dell’affidabilità della ricostruzione digitale mediante sull’introduzione di uno specifico livello che esprime la reliability del modello<sup>80</sup>.

Come è noto, la base informativa del processo BIM si riferisce alla capacità di gestire e analizzare grandi quantità di dati e informazioni all’interno di un ambiente interoperabile e interattivo. Al fine di garantire la presentazione trasparente dell’intero processo di elaborazione alla base della modellazione, la procedura si propone di utilizzare le potenzialità del BIM per offrire la possibilità di ricostruire filologicamente le scelte fatte in relazione alle fonti. In particolare, si vuole sfruttare la base informativa implicita nelle piattaforme BIM per inserire nell’ambiente digitale i documenti che, una volta analizzati ed interpretati, hanno portato all’elaborazione del modello BIM in tutti i suoi aspetti (architettonici, strutturali, storici, ecc.). Allo stesso tempo, si vuole affrontare il problema dell’affidabilità della ricostruzione virtuale, riferendosi non solo all’aspetto geometrico-dimensionale, ma anche a tutte le problematiche inerenti alla conoscenza di un edificio storico, compresa la tecnologia costruttiva. La proposta ha come fine quello di definire uno standard per la valutazione dell’affidabilità del modello, basato su una riflessione sui contenuti informativi di un modello HBIM (geometrico, informativo, storico). Poiché l’introduzione dei LoIN non è stata ancora ufficialmente determinata a livello normativo<sup>81</sup>, la definizione dei livelli di affidabilità si basa sui Livello di Sviluppo definiti e classificati dalla UNI 11337: 2017. Dato che però la classificazione articolata in sette livelli, ciascuno con una propria definizione di contenuto informativo, non è così significativa per gli edifici storici, in particolar modo quando si deve valutare l’affidabilità del modello, in questa procedura i LoD previsti dalla norma UNI sono stati raggruppati in tre categorie:

- LoD basso (LoD A, LoD B);
- LoD medio (LoD C, LoD D);
- LoD alto (LoD E, F e G).

Oltre ai LoD codificati dalla normativa (il livello di sviluppo degli attributi geometrici, LoG, e il livello di sviluppo degli attributi informativi, LoI), viene considerato, inoltre, il Level of History (LoH), per tenere conto degli attributi di informazione storica propri dell'HBIM.

La procedura proposta si basa sulla dichiarazione delle fonti di informazione, inserite nel database BIM come parametro aggiuntivo, e sull'introduzione di uno specifico livello che esprima la reliability del modello.

Questo livello (alto, medio o basso) è riferito alle singole componenti architettoniche in quanto si ritiene che un unico livello di affidabilità dell'intero modello non sarebbe significativo, poiché riunirebbe indistintamente al suo interno elementi caratterizzati da buona conoscenza con elementi di cui si ha pochissime informazioni.

Allo stesso modo si ritiene che per ogni oggetto debbano essere considerate e dichiarate più reliability, tanti quanti sono gli aspetti elaborati all'interno del Livello di sviluppo dell'oggetto.

Per questo motivo si introducono il Livello di Accuratezza (LoA) per gli attributi geometrici, LoG, e il Livello di Qualità (LoQ) per gli attributi non grafici, quest'ultimo con un diverso pedice per indicare il riferimento agli attributi informativi, LoI, o a quelli storici, LoH (Fig. 36).

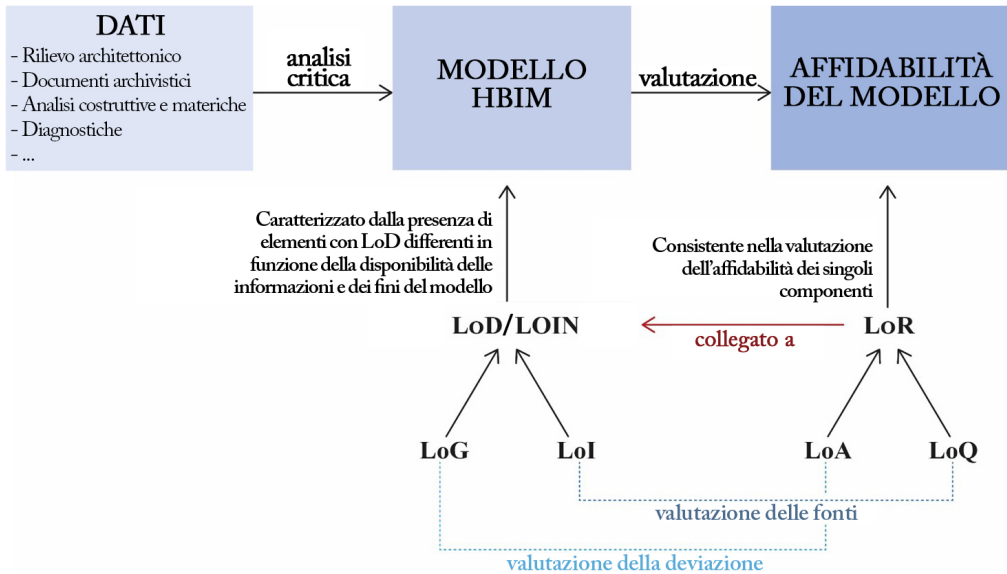
In particolare:

- l'affidabilità geometrica (LoA) esprime l'accuratezza della rappresentazione tridimensionale rispetto all'oggetto reale, valutata in termini di scostamento tra la nuvola di punti e il modello restitutivo<sup>82</sup>.
- l'affidabilità informativa (LoQ<sub>I</sub>) è relativa ai contenuti non geometrici del modello e a sua volta, è suddivisa in più sottolivelli, tante quante sono le diverse tipologie di informazioni inserite nel modello: affidabilità dell'apparecchiatura costruttiva; affidabilità del sistema impiantistico; ecc.
- l'affidabilità storica (LoQ<sub>H</sub>) che si riferisce al contenuto informativo specifico del patrimonio architettonico, cioè a tutte le informazioni storiche riguardanti il processo di formazione, stratificazione e modifica dell'edificio.

Per ogni tipo di reliability sono stati identificati tre possibili livelli: basso, medio o alto.

Il Livello di Accuratezza (LoA), dato dalla deviazione misurata sulla maggior parte dell'elemento considerato (D), dipende dal Livello di Sviluppo Geometrico (LoG) (Fig. 37):

- nel caso di LoG basso, il LoA viene valutato sulla base della deviazione calcolata sull'intera superficie dell'oggetto. A seconda dell'intervallo in cui rientra il valore - misurato, in media, sulla maggior parte della superficie - il livello di accuratezza può essere: basso ( $D > 70$  mm), medio ( $50 < D < 70$  mm) o alto ( $D < 50$  mm);
- per il LoG medio, in considerazione della maggiore attenzione alla costruzione geometrica degli elementi architettonici, il confronto si effettua sulla generatrice e sulla direttrice della



- superficie del modello. Il LoA in questo caso può essere: basso se  $D > 50$  mm; medio per  $20 < D < 50$  mm; alto se  $D < 20$  mm; nel LoG alto, invece, la deviazione viene valutata sia rispetto alla generatrice e direttrice, che all'intera superficie. In particolare, se la deviazione relativa alla generatrice e alla direttrice è maggiore di 20 mm, il LoA è considerato basso e la misurazione relativa alla superficie viene omessa. Se invece questa deviazione è inferiore a 20mm, la determinazione del LoA dipende dallo scostamento misurato rispetto alla superficie: per  $D > 50$ mm il LoA è basso; se  $20 < D < 50$ mm la LoA è medio; per  $D < 20$  mm il LoA è alto.

Il livello di Qualità (LoQ) riguarda, invece, tutti quei contenuti informativi che non possono essere ricondotti ad una forma geometrica direttamente misurabile e, quindi, non possono essere valutati in termini di scostamento tra il modello e la nuvola di punti. In tal senso, anche la stratigrafia degli elementi architettonici, la cui conoscenza è principalmente legata alla campagna diagnostica e alla ricerca archivistico-documentale<sup>83</sup>, è riconducibile ai contenuti non geometrici, la cui attendibilità è di tipo informativo (LoQ<sub>I</sub> per le tecnologie costruttive).

La reliability informativa dipende sia dal LoI che dalle fonti su cui si basa la modellazione (dirette, indirette, esaustive o meno). Quindi, per una data quantità di fonti, può essere raggiunto solo un certo livello di sviluppo delle informazioni (LoI) (inteso come livello massimo ottenibile)<sup>84</sup>, perché non avrebbe senso avere un livello di sviluppo più alto ma un'affidabilità inferiore, che quindi per quel determinato LoD non sarebbe accettabile (Fig. 38).

Fig. 36. La procedura HBIM: dalla raccolta dati alla realizzazione del modello critico e alla sua validazione attraverso la valutazione dell'affidabilità. In particolare, per misurazione dell'affidabilità del LoG, LoI e LoH, sono definiti rispettivamente il LoA (Livello di accuratezza), LoQ<sub>I</sub> (Livello di qualità) e LoQ<sub>H</sub> (Livello di qualità per dati storici informazioni).

## LIVELLO DI ACCURATEZZA (LOA) DEL LOG - VALUTAZIONE DELLA DEVIAZIONE





LIVELLO DI SVILUPPO GEOMETRICO	DEVIAZIONE VALUTATA RISPETTO A:	RANGE DI VALORI DI DEVIAZIONE (D)		LEVEL OF ACCURACY (LOA)	
LoG A } LoG B } <b>LoG basso</b>	intero elemento (muro, tetto, volta...) 	D > 70 mm		LoA basso	
		50 < D < 70 mm		LoA medio	
		D < 50 mm		LoA alto	
LoG C } LoG D } <b>LoG medio</b>	generatrice e direttrice dell'oggetto BIM 	D > 50 mm		LoA basso	
		20 < D < 50 mm		LoA medio	
		D < 20 mm		LoA alto	
LoG E } LoG F } LoG G } <b>LoG alto</b>	generatrice e direttrice dell'oggetto BIM  superficie dell'elemento 	GENERATRICE E DIRETTRICE	SUPERFICIE		
		D > 20 mm	—		LoA basso
		D < 20 mm	D > 50 mm		LoA basso
			20 < D < 50 mm		LoA medio
		D < 20 mm	LoA alto		

Fig. 37. L'affidabilità geometrica dell'elemento architettonico (LoA) viene valutata in funzione del LoG attraverso la misura dello scostamento (l'intervallo di scostamento deve essere rispettato nella maggior parte della superficie).

Pertanto, a parità di informazioni disponibili, un LOD più alto richiede più ipotesi (e quindi il livello di affidabilità è inferiore), mentre un LOD più basso garantisce una maggiore affidabilità data dal livello interpretativo più basso del modellatore.

Allo stesso modo, proprio come accade per l'affidabilità informativa, il LoQH dipende non solo dalle fonti ma anche dal Level of History stesso.

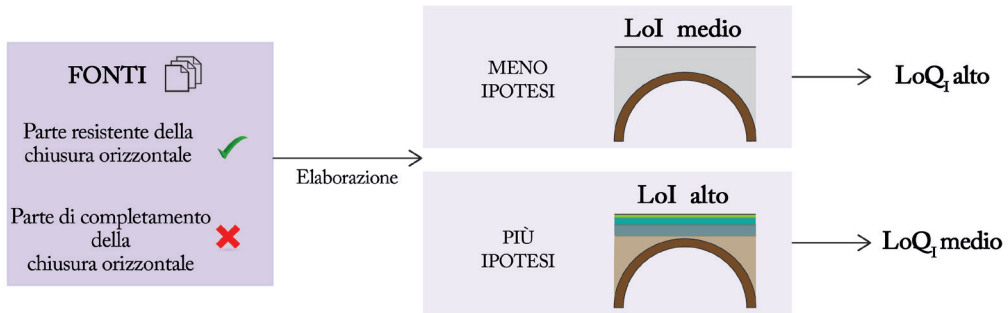
Nella valutazione del Livello di Qualità, a causa dell'assenza di attributi informativi nel livello basso, vengono considerati solo il LoI e il LoH medio e alto (Fig. 39):

- nel caso di LoI/LoH medio, l'affidabilità (LoQ) può essere bassa, media, alta, a seconda che le fonti siano, rispettivamente, indirette, dirette ma non esaustive, oppure dirette ed esaustive;
- per LoI/LoH alto: se le fonti sono dirette ma non esaustive, il LoQ è medio; se le fonti sono dirette ed esaustive, il LoQ è alto; se, invece, ci sono solo fonti indirette, un LoI/LoH elevato è considerato irraggiungibile per l'eccessiva necessità di ipotizzare.

### 3.8 L'HBIM per la gestione e la valorizzazione

L'Historic BIM è inteso come un sistema multidisciplinare consistente nella costruzione di oggetti intelligenti semanticamente riferibili al sistema costruttivo, parametrizzati sui dati derivanti dal rilievo dell'edificio.





Come evidenziato all'interno del capitolo, l'estensione della procedura BIM al patrimonio esistente è ancora caratterizzata da questioni aperte che necessitano di particolari considerazioni e attenzioni. Il modello, infatti, deriva da un processo di valutazione e restituzione critica in cui il livello di dettaglio e di affidabilità, e le conseguenti difficoltà nella fase di costruzione e informatizzazione del modello, discendono sia dalle specifiche caratteristiche e necessità del costruito storico, che differiscono da quelle delle nuove costruzioni per le quali il BIM è nato, che dalle finalità del modellatore. In funzione di queste, infatti, vengono definite le caratteristiche del modello e degli elementi architettonici che lo compongono (livello di dettaglio, grado di parametrizzazione e, conseguentemente, di semplificazione e approssimazione), e la procedura migliore per la modellazione (mediante la creazione di famiglie BIM parametriche, con superfici NURBS o mesh) e per l'arricchimento informativo del modello. Per la modellazione degli aspetti geometrici si può optare, quindi, sulla base di valutazioni critiche, tra una modellazione dettagliata e accurata, che rispetti le specifiche caratteristiche e le peculiarità dell'elemento architettonico, oppure una rappresentazione semplificata riconducibile ad oggetti standardizzati e tipizzati, tipici della logica BIM. Per l'aspetto informativo, invece, si identifica e definisce il contenuto informativo da inserire all'interno dell'ambiente BIM (in funzione delle informazioni necessarie e disponibili), distinguendo tra le informazioni da inserire all'interno del modello e quelle da tenere, invece, esterne ma collegate allo stesso. In funzione della quantità, della complessità ed eterogeneità di queste ultime, si stabiliscono in una seconda fase la modalità con cui tali informazioni dovranno essere inserite e strutturate, l'eventuale necessità di un ampliamento del database BIM e le modalità di realizzazione di tale ampliamento. Nonostante la criticità della procedura BIM applicata al costruito, in particolare quello storico, tuttavia, le potenzialità derivanti dal suo utilizzo per la gestione informativa del patrimonio, come testimoniato dai numerosi studi e applicazioni pratiche, sono molteplici. La procedura HBIM rappresenta, infatti, un'opportunità per la conoscenza, la documentazione, la conservazione e la valorizzazione dei beni architettonici.

Fig. 38. A parità di informazioni disponibili, un LOD maggiore richiede più ipotesi e quindi un minore livello di affidabilità; mentre un LOD più basso garantisce una maggiore affidabilità data dal livello interpretativo più basso del modellatore.

## LIVELLO DI QUALITÀ (LOQ) - VALUTAZIONE DELLE FONTI


LIVELLO DI SVILUPPO ATTRIBUTI NON GEOMETRICI LIVELLO INFORMATIVO   LEVEL OF HISTORY			TIPI DI FONTI 	LIVELLO DI QUALITÀ (LOQ)	
LoI A } LoI B }	LoI basso	LoH basso	—	—	—
LoI C } LoI D }	LoI medio	LoH medio	indirette	LoQ <sub>i</sub> basso	LoQ <sub>h</sub> basso
			dirette ma non esaustive	LoQ <sub>i</sub> medio	LoQ <sub>h</sub> medio
			dirette ed esaustive	LoQ <sub>i</sub> alto	LoQ <sub>h</sub> alto
LoI E } LoI F } LoI G }	LoI alto	LoH alto	dirette ma non esaustive	LoQ <sub>i</sub> medio	LoQ <sub>h</sub> medio
			dirette ed esaustive	LoQ <sub>i</sub> alto	LoQ <sub>h</sub> alto

Fig. 39. L'affidabilità informativa dell'elemento architettonico (LoQ) è valutata sulla base della tipologia di fonti (indirette, dirette ma non esaustive, dirette) e del LoI o LoH.

Per un LoI o LoH basso, non vengono fornite informazioni e l'affidabilità non viene considerata.

In relazione alle considerazioni e alle differenze tra la procedura HBIM e quella BIM, è però necessario un cambio di prospettiva, nella consapevolezza che quest'ultima non è pienamente applicabile agli edifici storici e che, per essere adattata e supportata, necessita di un diverso approccio metodologico. Solo così sarà possibile definire delle linee guida per la realizzazione di modelli HBIM utili non solo alla documentazione e conoscenza, ma anche alla manutenzione, gestione, salvaguardia, restauro e valorizzazione del patrimonio architettonico<sup>85</sup>.

### Note

1. D. SIMEONE, S. CURSI, I. TOLDO, G. CARRARA, *B(H)IM- Built Heritage Information Modelling. Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation*, Digital Heritage 1 - Volume 1 - eCAADe 32, 2014, pp. 613-622.
2. S. DELLA TORRE, *Un bilancio del Progetto HBIMM*, Convegno Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM (Politecnico di Milano, 21-22 giugno 2016), 2016.
3. S. BRUSAPORCI, I. TRIZIO, G. RUGGERI, P. MAIEZZA, A. TATA, A. GIANNANGELI, *AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica*. in «Restauro Archeologico», 26 (1), 2018, pp. 112-131.
4. M. BALZANI, L. FERRARI, F. RACO, *eBIM: Existing Building Information Modeling per edifici esistenti*, Rimini, Maggioli editore, 2021.
5. M. MURPHY, E. MCGOVERN, S. PAVIA, *Historic building information modelling (HBIM)*, in «Structural Survey», 27 (4), 2009, pp. 311-327.
6. Per ottenere una visione globale delle linee di ricerca attuali sono stati condotti un'indagine approfondita e una successiva analisi di articoli scientifici e accademici. Lo studio è stato suddiviso in 5 fasi: la prima costituita da uno studio preliminare, utile per definire le keywords e

le strategie di selezione dei contributi da prendere in esame; la seconda fase costituita da una ricerca su database indicizzati, tra cui Scopus, science Research, Elsevier, Scencedirect, attraverso l'utilizzo delle keywords definite precedentemente con il fine di trovare il più alto numero di articoli possibile; nella terza fase è stata effettuata una prima selezione, realizzata attraverso la scelta di criteri di esclusione, dei paper attraverso la lettura degli abstract e una rapida analisi; la quarta fase è stata dedicata all'integrazione dei risultati con articoli derivanti da Accademia e da ulteriori ricerche sulle basi delle bibliografie delle review e degli articoli più importanti. Di questi articoli sono state escluse le pubblicazioni in press, gli articoli particolarmente datati (e quindi con sperimentazioni superate), le pubblicazioni che non utilizzavano gli acronimi BIM o HBIM all'interno dell'abstract o delle keywords, e gli articoli non accessibili.

Al termine della terza fase sono stati selezionati 97 articoli, interessanti sia dal punto di vista dei temi approfonditi che delle sperimentazioni effettuate; con l'integrazione effettuata nella quarta fase sono stati selezionati, in totale, 114 articoli. La quinta fase è stata costituita da una lettura e analisi degli articoli selezionati in modo da poterli suddividere per temi di ricerca affini e successivamente comparare tra loro.

7. R. VOLK, J. STENGEL, F. SCHULTMANN, *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs*, in «Automation in Construction», 38, 2014, pp. 109-127.
8. S. LOGOTHETIS, A. DELINASIOU, E. STYLIANIDIS, *Building Information Modelling for cultural heritage: a review*, in «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W3, 2015, pp. 177-183.
9. J. GARCÍA-VALLDECABRES, E. PELLICER, I. JORDAN-PALOMAR, *BIM Scientific Literature Review for Existing Buildings and a Theoretical Method: Proposal for Heritage Data Management Using HBIM*, Construction Research Congress 2016, pp. 2228-2238.
10. C. DORE, M. MURPHY, *Current state of the art historic building information modelling*. «Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.», XLII-2/W5, 2017, pp. 185-192.

La procedura HBIM è stata scomposta in cinque aspetti e tematiche principali: gli standard di documentazione del patrimonio; la raccolta dati e tecniche di pre-elaborazione; i concetti di modellazione tridimensionale; l'As-Built BIM, che comprende gli aspetti relativi alle librerie parametriche, alla modellazione automatizzata, e il controllo della qualità dei modelli, quest'ultima intesa come reliability geometrica; ed infine la modellazione procedurale.

11. E.S. GARCÍA, J. GARCÍA-VALLDECABRES, M.J.V. BLASCO, *The use of hbim models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: A review*, in «International Journal of Sustainable Development and Planning», 13, 2018, pp. 96-107.
12. Tra i sistemi più diffusi vi sono le tecnologie laser scanner e le tecniche di fotogrammetria digitale.
13. S. GARAGNANI, *Building Information Modeling a real world knowledge: A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment*, in *Digital Heritage International Congress (DigitalHe-*

- ritage) (Marsiglia 28 ottobre-1 novembre 2013), 2013, pp. 489-496.
14. D. Oreni, R. Brumana, S. Della Torre, F. Banfi, L. Barazzetti, M. Previtali (2014), Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila), in «ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.», II-5, 2014, pp. 267-273.
  15. F.I. APOLLONIO, M. GAIANI, S. ZHENG, *A Reality Integrated BIM for Architectural Heritage Conservation*, in *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, a cura di A. Ippolito, Hershey, IGI Global, 2017, pp. 31-65.
  16. R. QUATTRINI, P. CLINI, R. NESPECA, L. RUGGERI. *Measurement and Historical Information Building: Challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content*, in «DISEGNARECON», 9 (16), 2016, pp. 14.1-14.11.
  17. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes*, Atti di convegno 2018 IEEE International Conference of Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo, IEEE, pp. 199-203.
  18. C. DORE, M. MURPHY, *Current state of the art historic building information modelling*, in «Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.», XLII-2/W5, 2017, pp. 185-192; A. BAIK, A. ALITANY, J. BOEHM, S. ROBSON, *Jeddah Historical Building Information Modelling "JHBIM" - Object Library*, in «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5, 2014, pp. 41-47; M. LO TURCO, C. SANTAGATI, G. D'AGOSTINO, *Populating a library of reusable H-BOMs: assessment of a feasible image based modelling workflow*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W5, 2017, pp. 627-634.
  19. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, C. SANTAGATI, *Digital invasions: from point clouds to historical building object modeling (H-Bom) of a Unesco Whl site*, in «Int Arch Photogram Rem Sens Spat Inf Sci», 42(2/W3), 2017, pp. 171-178.
  20. D. ORENI, R. BRUMANA, A. GEORGOPOULOS, B. CUCA, *HBIM for conservation and management of built heritage: towards a library of vaults and wooden beam floors*, in «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W1, 2013, pp. 215-221.
  21. M. CAPONE, E. LANZARA, *Scan-to-BIM vs 3D Ideal Model HBIM: Parametric tools to study domes geometry*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, pp. 219-226.
  22. M. MURPHY, E. MEEGAN, G.N. KEENAGHAN, A. CHENAUX, A., CORNS, S. FAI, L. CHOW, Y., ZHENG, C., DORE, S. SCANDURRA, A. TIERNEY, F. DIARA, F. RINAUDO, O. PRIZEMAN, *Shape Grammar Libraries of European Classical Architectural Elements for Historic BIM*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLVI-M-1-2021, 2021, pp. 479-486; M. MURPHY, E. MCGOVERN, S. PAVIA, *Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and*

- image based surveys of European classical architecture*, in «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», 76, 2013, pp. 89-102.
23. R. VOLK, J. STENGEL, F. SCHULTMANN, *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs*, in «Automation in Construction», 38, 2014, pp. 109-127; P. TANG, D. HUBER, B. AKINCI, R. LIPMAN, A. LYTTLE, *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques*, in «Automation in Construction», 19 (7), 2010, pp. 829-843.
  24. 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 «Appl. Geomat.», 10, 2018, pp. 545-567; F. BANFI, *HBIM Generation: Extending Geometric Primitives and BIM Modelling Tools for Heritage Structures and Complex Vaulted Systems*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W15, 2019, pp. 139-148.
  25. C. DORE, M. MURPHY, *Semi-Automatic Modelling of Building Façades with Shape Grammars Using Historic Building Information Modelling*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL-5/W1, 2014, pp. 57-64.
  26. B. BORTOLUZZI, I. EFREMOV, C. MEDINA, D. SOBIERAJ, J.J. MCARTHUR, *Automating the creation of building information models for existing buildings*, in «Automation in Construction», 105, 2019.
  27. S. FAI, K. GRAHAM, T. DUCKWORTH, N. WOOD, R. ATTAR, *Building Information Modeling and Heritage Documentation*, XXIII CIPA International Symposium (Praga 12-16 settembre 2011), 2011.
  28. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», 5, 2019, pp. 6-16.
  29. M. ACIERNO, S. CURSI, D. SIMEONE, D. FIORANI, *Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process*, in «Journal of Cultural Heritage», 24, 2017, pp. 124-133; P. PARISI M. LO TURCO, E. C. GIOVANNINI, *The Value of Knowledge Through H-BIM Models: Historic Documentation with a Semantic approach*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, pp. 581-588; T. MESSAOUDI, P. VÉRON, G. HALIN, L. DE LUCA, *An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state*, in «Journal of Cultural Heritage», 29, 2018, pp. 100-112; D. SIMEONE, S. CURSI, I., TOLDO, G. CARRARA, *BIM and knowledge management for building heritage*, in «Acadia 2014 Design Agency», 2014, pp. 681-690; P. BRUNET, L. DE LUCA, E. HYVÖNEN, A. JOFFRES, P. PLASSMEYER, M. PRONK, R. SCOPIGNO, G. SONKOLY, *Report on a European collaborative cloud for cultural heritage : ex – ante impact assessment. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation*, in «Publications Office of the European Union», 2022, pp. 48-52.

30. R. QUATTRINI, R. PIERDICCA, C. MORBIDONI, *Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web*, in «Journal of Cultural Heritage», 28, 2017, pp. 129-139.
31. F. FASSI, C. ACHILLE, A. MANDELLI, F. RECHICHI, S. PARRI, *A New Idea of BIM System for Visualization, Web Sharing and Using Huge Complex 3D Models for Facility Management*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL-5/W4, 2015, pp. 359-366.
32. N. BRUNO, R. RONCELLA, *HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling*, in «Remote Sens.», 11 (15), 2019, 1751.
33. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», 5, 2019, pp. 6-16.
34. I. J. PALOMAR, J. L. GARCÍA VALLDECABRES, P. TZORTZOPOULOS, E. PELLICER, *An online platform to unify and synchronise heritage architecture information*, in «Automation in Construction», 110, 2020, pp. 1-17.  
 Il Common Data Environment, definito dalle normative inglese BS 1192-1:2007 e PAS 1192-2:2013, è l'ambiente digitale di raccolta e gestione dati da utilizzare nei flussi di lavoro BIM. Il suo corrispondente italiano è l'ACDat, definito dalla UNI 11337:2017.
35. L. DE LUCA, C. BUSARAYAT, C. STEFANI, P. VÉRON, M. FLORENZANO, (2007). *An integrated framework to describe, analyze, document and share digital representations of architectural buildings, VAST 2007: futures technologies to empower the heritage professionals* (Brighthon 26-29 novembre 2007), a cura di D. B. Arnold, A. Chalmers, F. Niccolucci, European Association for Computer Graphics, Budapest, Archaeolingua, pp. 24-27; *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*, in «Computers & Graphics», 35 (2), 2011, pp. 227-241.
36. F. I. APOLLONIO, M. GAIANI, S. ZHENG, *Characterization of Uncertainty and Approximation in Digital Reconstruction of CH Artifacts, Heritage Architecture Landesign focus on Conservation Regeneration Innovation, Atti del convegno Le vie dei Mercanti XI Forum Internazionale di Studi*, a cura di A. Cardaci, A. Versaci, L. Fauzia, Napoli, La Scuola di Pitagora, 2013, pp. 860-869; C. DORE, M. MURPHY, *Historic Building Information Modeling (HBIM)*. In S. Brusaporci (A cura di), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, Hershey, IGI Global, 2015, pp. 239-279.
37. M. RUSSO, F. REMONDINO, G. GUIDI, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in «Archeologia e Calcolatori», 22, 2011, pp. 169-198.
38. M. RUSSO, A. MANTI, *Il reverse modeling come strumento di analisi e conoscenza all'architettura storica*, in *Materia e geometria - Sezione dottorato*, Firenze, Alinea Editrice s.r.l, 2011, pp. 143-152.
39. R. QUATTRINI, P. CLINI, R. NESPECA, L. RUGGERI, *Measurement and Historical Information Building: Challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content*, in

- «DISEGNARECON», 9 (16), 2016, pp. 14.1-14.11; F. MATRONE, *Modelli HBIM da Nuvola di Punti: La Verifica Metrica dei Dati e la Valutazione dei Risultati*, in «Bollettino della società italiana di fotogrammetria e topografia», 2, 2018, pp. 48-56.
- S. SCANDURRA, A. DI LUGGO, M. PULCRANO, S. MONACO, M. SICONOLFI, *Sistemi voltati nei processi cloud to BIM*, in *3D Modeling & BIM Nuove Frontiere*, a cura di T. Empler, G.M. Valenti, vol 2, Roma, Tipografia del genio civile, 2018, pp. 162-177.
40. D. ORENI, R. BRUMANA, A. GEORGOPOULOS, B. CUCA, *HBIM for conservation and management of built heritage: towards a library of vaults and wooden beam floors*, in «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W1, 2013, pp. 215-221.
41. S. BRUSAPORCI, A. TATA, P. MAIEZZA, *Toward a new point of view: the H-BIM procedure*, in *Chances. Practices, spaces and buildings in cities' transformationa*, cura di A. Trentin, Bologna, Alma Mater Studiorum-Università di Bologna-Dipartimento di Architettura, 2020, pp. 403-413.
42. N. BRUNO, R. RONCELLA, *HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling*, in «Remote Sens.», 11 (15), 2019, 1751; W. SOLIHIN, C. EASTMAN, L. YONG-CHEOL, Y. DONG-HOON, *A simplified relational database schema for transformation of BIM data into a query-efficient and spatially enabled database*, in «Automation in Construction», 84, 2017, pp. 367-383; M. KHAJA, J. D. SEO, J. J. MCARTHUR, *Optimizing BIM metadata manipulation using parametric tools*, in «International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Procedia Engineering», 145, 2016, pp. 259-266.
43. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Trasparenza e affidabilità dei modelli HBIM*, in *BIM Views: Esperienze e scenari*, a cura di L. M. Papa, P. D'Agostino, Fisciano, CUA, 2019, pp. 125-140.
44. S. BRUSAPORCI, *The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage*. In *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, a cura di A. Ippolito, Hershey, IGI Global, 2017, pp. 66-92.
45. P. MAIEZZA, *As-Built reliability in architectural HBIM modeling*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, pp. 461-466; C. BIANCHINI, S. NICASTRO, *La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM*, in *Atti del Convegno 3D Modeling&BIM Nuove frontiere*, a cura di T. Empler, Roma, Tipografia del genio civile, 2018, pp. 208-225.
46. Tale aspetto viene misurato in funzione dello scostamento del modello dall'oggetto reale, cioè mediante il calcolo della distanza con la nuvola di punti derivante dal rilievo.
47. All'incremento del LOD, infatti, la norma uni prevede un aumento sia della quantità di attributi detenuti dall'oggetto BIM che della loro qualità e stabilità, intese nel senso di granularità, affidabilità e consolidamento dei dati.

48. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *A Framework for Architectural Heritage HBIM Semantization and Development*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2, 2018, pp. 179-184; A. DI LUGGO, S. SCANDURRA, M. PULCRANO, C. TARANTINO, *Modellazione H-BIM e ricostruzione delle trasformazioni del costruito storico*, in *3D Modeling & BIM - Progettazione, design, proposte per la ricostruzione*, a cura di T. Emler, Roma, DEI tipografia del Genio Civile/Università di Roma La Sapienza, 2017, pp. 178-195.
49. Norma UNI 11337-4:2017, par. 5.3.2, pag. 9.
50. N. BRUNO, R. RONCELLA, *A Restoration Oriented HBIM System for Cultural Heritage Documentation: The Case Study of Parma Cathedral*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2, 2018, pp. 171-178.
51. R. BRUMANA, F. BANFI, L. CANTINI, M. PREVITALI, S. DELLA TORRE, *HBIM Level of Detail-Geometry-Accuracy and Survey analysis for architectural preservation*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W11, 2019, pp. 293-299.
52. S. BRUSAPORCI, A. TATA, P. MAIEZZA, *The “LoH - Level of History” for an Aware HBIM Process*, in *Connettere. Linguaggi Distanze Tecnologie*, Vol. 2. *Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, a cura di A. Arena, M. Arena, D. Mediatì, P. Raffa, Milano, FrancoAngeli, 2021, pp. 2110-2118.
53. M. DE GREGORIO (2018). *BIM: per la normazione nel futuro dell'edilizia*, in «U&C», 8, pp. 19-34.
54. THE LONDON CHARTER (2009). Disponibile in: [from: http://www.londoncharter.org/](http://www.londoncharter.org/) [27 novembre 2021]; PRINCIPLES OF SEVILLE (2012). Disponibile in: <http://smartheritage.com/seville-principles/seville-principles> [27 novembre 2021].
55. F. GABELLONE, *La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio N.7 della Carta di Siviglia*, in «SCIRES-IT», 2 (2), 2012, pp. 99-124.
56. S. BRUSAPORCI (a cura di), *Digital Innovations in Architectural Heritage Conservation: Emerging Research and Opportunities*, Hershey, IGI Global, 2017.
57. S. GARAGNANI, *Building Information Modeling a real world knowledge: A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment*. In *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)* (Marsiglia 28 ottobre-1 novembre 2013), 2013, pp. 489-496; F. I. APOLLONIO, M. GAIANI, S. ZHENG, *A Reality Integrated BIM for Architectural Heritage Conservation*, in *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, a cura di A. Ippolito, Hershey, IGI Global, 2017, pp. 31-65.
58. R. QUATTRINI, P. CLINI, R. NESPECA, L. RUGGERI, *Measurement and Historical Information Building: Challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content*, in «DISEGNARECON», 9 (16), 2016, pp. 14.1-14.11.



59. C. BIANCHINI, S. NICASTRO, *La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM*, in *Atti del convegno 3D Modeling&BIM Nuove frontiere*, Roma, Tipografia del genio civile, 2018, pp. 208-225.
60. R. BRUMANA, F. BANFI, L. CANTINI, M. PREVITALI, S. DELLA TORRE, *HBIM Level of Detail-Geometry-Accuracy and Survey analysis for architectural preservation*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W11, 2019, pp. 293-299.
61. Institute of Building Documentation (USIBD, 2019).
62. P. MAIEZZA, *As-Built reliability in architectural HBIM modeling*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, 461-466.
63. D. BORRA, *Sulla verità del modello 3D. Un metodo per comunicare la validità dell'anastilosi virtuale*, in *Proceeding of eArcom04 Tecnologie per comunicare l'architettura*, a cura di E.S. Malinverni, Ancona, CLUA, 2004, pp. 132-137.
64. C. STEFANI, L. DE LUCA, P. VÉRON, M. FLORENZANO, *Time indeterminacy and spatio-temporal building transformations: an approach for architectural heritage understanding*, in «International Journal on Interactive Design and Manufacturing», 4(1), 2010, pp. 61-74.
65. L. DE LUCA, C. BUSSAYARAT, C. STEFANI, F. VÉRON, M. FLORENZANO, *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*, in «Computers & Graphics», 35 (2), 2011, pp. 227-241.
66. F. I. APOLLONIO, E. C. GIOVANNINI, *A paradata documentation methodology for the uncertainty visualization in digital reconstruction of CH Artifacts*, in «SCIRES-IT», vol. 5, Issue 1, 2015, pp. 1-24.
67. G. CARBONARA, *Disegnare per il restauro*, in «Disegnare Idee Immagini», 0, 1989, p. 85.
68. M. CENTOFANTI (2010). *Della natura del modello architettonico*, in *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, a cura di S. Brusaporci, Roma, Gangemi, pp. 43-54.
69. “Manuali”, dei “Codici di Pratica” (Marconi, 1997; Marta 1989; 1991; Giuffrè, 1993), e degli “Atlanti” fanno riferimento ad una linea di studio dedicata ai centri storici (AAVV, 1981), svolta con una specifica attenzione ai centri minori e all'architettura tradizionale (Zordan, Bellicoso, De Berardinis, Di Giovanni & Morganti, 2002; Varagnoli, 2000; 2008a)
70. Delle discipline del Restauro Architettonico (Carbonara, 1990; Fiorani, 2004), del Disegno (Docci & Maestri, 2009; Bertocci & Bini, 2012; Fiorucci & Chiavoni, 2003), e dell'Archeologia, quest'ultima con particolare riferimento alle tecniche murarie, tanto antiche che medievali (Brusaporci, 2007; Varagnoli, 2008, 2009; Di Nucci, 2009).
71. M. DOCCI, D. MAESTRI (a cura di), *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Bari, Laterza, 2009.
- S. BERTOCCI, M. BINI (a cura di), *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Novara, Città Studi, 2012.

72. Normalmente i disegni di rilievo, per quanto complessi ed accurati, si incentrano sul dettaglio architettonico e non costruttivo. Così anche le rappresentazioni di ruderi di epoca classica, dove i riferimenti ai materiali spesso hanno piuttosto una funzione evocativa.
73. G. CARBONARA, M. CENTOFANTI, R. MINGUCCI, *Disegno per il restauro: oltre il rilievo*, in «DISEGNARECON», 8 (14), 2015, pp. E2-E3.
74. D. ORENI, R. BRUMANA, A. GEORGOPOULOS, B. CUCA, *HBIM for conservation and management of built heritage: towards a library of vaults and wooden beam floors*, in «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W1, 2013, pp. 215-221; C. A. LEÓN-ROBLES, J. F. REINOSO-GORDO, J. J. GONZÁLEZ-QUINONES, *Heritage Building Information Modeling (H-BIM) Applied to A Stone Bridge*, in «ISPRS Int. J. Geo-Inf.», 8(3), 2019, 121.
75. S. BRUSAPORCI, A. TATA, P. MAIEZZA, *The “LoH - Level of History” for an Aware HBIM Process*, in *Connettere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Vol. 2. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, a cura di A. Arena, M. Arena, D. Mediatì, P. Raffa, Milano, FrancoAngeli, 2021, pp. 2110-2118.
76. G. SPAGNESI, *Autonomia della Storia dell'architettura*, in *Storia e restauro dell'architettura*, a cura di G. Spagnesi, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 1984, p. 7.
77. M. CENTOFANTI, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, in «Diségno», 2, 2018, pp. 57-66.
78. UNI EN ISO 19650-1:2019. In merito ai LoD e ai LoIN si vedano il paragrafo 2.2, inerente ai livelli di sviluppo degli oggetti digitali, e 2.5 riguardante, nello specifico, il contesto normativo italiano.
79. M. CENTOFANTI, *Le dimensioni scientifiche del modello digitale*, in «Diségno», 2, 2018, pp. 57-66; C. BIANCHINI, *Survey, Modeling, Interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system*, in «SCIRES-IT», 4 (1), 2014, pp. 15-24.
80. P. MAIEZZA, A. TATA, *Standard for geometric and informative reliabilities in HBIM models*, in «DISEGNARECON», 14, 26, 2021, pp. 15.1-15.10; S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Trasparenza e affidabilità dei modelli HBIM*, in *BIM Views: Esperienze e scenari*, a cura di L. M. Papa, P. D'Agostino, Fisciano, CUA, 2019, pp. 125-140.
81. Ad oggi i LOIN, o Livello di Fabbisogno Informativo, sono stati definiti in via generica dalla UNI EN ISO 19650: 2019 e in parte dettagliati dalla UNI EN 17412: 2021, ma mancano tuttora delle specifiche operative, e delle linee guida di esempio, per consentire la reale sostituzione dei LoD definiti dalla UNI 11337, tuttora in vigore, con i LOIN.
82. È ben noto che anche le nuvole di punti sono caratterizzate da una precisione più o meno elevata, definita dall'US Institute of BUILDING DOCUMENTATION come “Accuratezza Misurata”, ovvero “l'intervallo di deviazione standard che si vuole ottenere dalle misurazioni finali effettuate indipendentemente il metodo utilizzato per acquisire tali misurazioni” (p. 9). Ai fini di questa proposta, si presume che la nuvola di punti utilizzata per la valutazione della deviazione abbia

un'accuratezza sufficiente, corrispondente a un LOA 30, o LOA 40 o LOA 50 (cioè, secondo la Guida alle specifiche del livello di accuratezza (LOA), una deviazione standard tra 5 e 15 mm, 1 e 5 mm e 0 e 1 mm, rispettivamente, con un livello di confidenza di 2 sigma, o 95%).

83. M. CENTOFANTI, *Della natura del modello architettonico*. In *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, a cura di S. Brusaporci, Roma, Gangemi, 2010, pp. 43-54.
84. Questa scelta deriva dalla definizione dei LOD da parte della normativa che prevede che all'incremento del LOD corrisponda l'aumento delle informazioni e dell'affidabilità delle stesse.
85. A. DI LUGGO, S. SCANDURRA, *La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM*, in «DISEGNARECON», 9 (16), 2016, pp. 11.1-11.8.  
S. MONACO, M. SICONOLFI, A. DI LUGGO, *Existing-Bim: Integrated Survey Procedures for The Management of Modern Architecture*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science», XLII-2/W9, 2019, pp. 495-500.



## 4. Il computational design per l'HBIM

Il *computational design* consiste nell'applicazione di strategie computazionali al processo di progettazione, e ha come fine quello di migliorare quest'ultimo identificando e codificando gli obiettivi, i vincoli e i fini del progetto, mediante l'utilizzo del computer language. Il pensiero computazionale non è semplicemente un'attività procedurale o strumentale di programmazione, ma consiste in primo luogo nell'abilità concettuale di base di formulare un procedimento operativo (algoritmo) per trovare le soluzioni ad un problema<sup>1</sup>. Il computational thinking, perciò, non consiste nell'aver competenze di programmazione, ma piuttosto nella capacità di pensare a diversi livelli di astrazione e di saper scomporre "il problema" in più parti da affrontare singolarmente, valutando infine la soluzione trovata in modo critico. La traduzione formale dell'algoritmo progettato in un codice eseguibile dal computer è detta coding, e può avvenire o mediante la scrittura in un linguaggio testuale (script) oppure attraverso un linguaggio di programmazione visuale che rende più intuitiva la costruzione dell'algoritmo.

Molti strumenti di computational design si basano oggi sull'utilizzo di applicativi di programmazione visuale (*Visual Programming Language*), in cui la programmazione avviene mediante la manipolazione di unità grafiche elementari dette "nodi", ognuna con uno specifico compito, che vengono collegate tra loro in un sistema dinamico, e in sequenza logica, attraverso l'utilizzo di "fili" che connettono gli output di un nodo con gli input del successivo. La programmazione "fluisce" da un nodo all'altro attraverso la rete di connessioni. Il risultato è una rappresentazione grafica di tutti gli step necessari per raggiungere un fine in cui la modifica di un parametro di input di uno dei nodi si propaga "a cascata" a tutti gli elementi connessi, rendendo possibili modifiche illimitate e semi-automatiche. Perché questi processi funzionino è necessaria una coerenza e organizzazione della programmazione, intesa quest'ultima come l'insieme delle relazioni tra il tutto e le parti del sistema<sup>2</sup>.

L'utilizzo del computational design presenta numerosi vantaggi, tra cui la possibilità di esplorare multiple opzioni di design<sup>3</sup>; consentire l'accesso rapido ai dati; automatizzare compiti ripetitivi; effettuare test e analisi su quanto progettato.

### 4.1 Il computational design per l'HBIM

Per quanto riguarda l'edificato storico, in particolare, l'applicazione dei sistemi BIM al costruito si scontra con molte problematiche

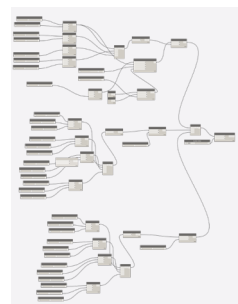


Fig. 40. Algoritmo di programmazione visuale.

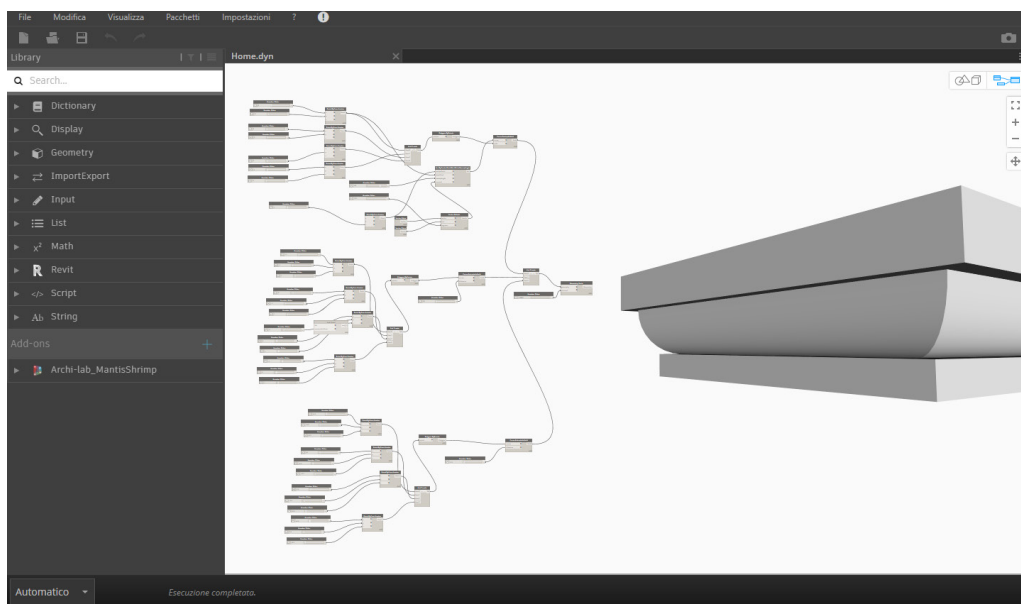


Fig. 41. Modellazione parametrica di un capitello mediante lo sviluppo di una programmazione in Autodesk Dynamo.

derivanti dalle peculiarità e dalle specifiche esigenze del patrimonio architettonico, che differiscono particolarmente da quelle proprie degli edifici di nuova costruzione<sup>4</sup>.

Tali criticità sono in primo luogo riferibili all'antinomia tra processi industrializzati e la costruzione artigianale, cioè tra parametrizzazione e singolarità, quest'ultima resa ancora più complessa dagli eventi del "secondo" tempo brandiano dell'opera d'arte che si sono succeduti negli anni e che hanno portato ad un edificio, in parte o interamente differente rispetto alla forma e alle caratteristiche iniziali<sup>5</sup>. Operativamente, oltre alla complessità delle forme geometriche, vi è inoltre la criticità di gestire e organizzare all'interno delle piattaforme BIM, il vasto contenuto informativo caratteristico della documentazione del patrimonio architettonico, che risulta non sempre completamente supportato da tali ambienti.

Infine, per la documentazione del patrimonio architettonico appaiono fondamentali le questioni di trasparenza e affidabilità, che non possono fermarsi alla sola superficie degli elementi architettonici, ma devono comprendere tutti gli aspetti informativi che concorrono alla conoscenza approfondita di un edificio storico. In particolare, la possibilità di ricostruire filologicamente il processo interpretativo alla base della modellazione BIM, assieme alla dichiarazione delle fonti, costituiscono aspetti imprescindibili per una valida applicazione della procedura HBIM<sup>6</sup>.

Una possibile evoluzione dell'applicazione del BIM al costruito storico è offerta dagli strumenti di programmazione visuale, oggi utilizzati sempre più di frequente con l'intento di superare alcuni dei limiti dell'HBIM, in particolare all'interno di numerose ricerche nei

vari ambiti della modellazione e gestione di forme geometriche complesse, tipiche del costruito storico<sup>7</sup>. L'utilizzo della VPL, infatti, offre la possibilità di ridurre sia le difficoltà che i tempi di modellazione, automatizzando, in parte, i processi di modifica e rendendo più flessibile l'utilizzo dei software BIM, nati per le nuove costruzioni<sup>8</sup>.

## 4.2 Il Visual Programming Language per le geometrie

Il patrimonio architettonico è caratterizzato dall'essere realizzato secondo processi artigianali, non industrializzati, dipendenti dall'epoca, dalla tecnologia costruttiva, dall'ubicazione del manufatto e dai materiali utilizzati. Tali caratteristiche di unicità, inoltre, sono accentuate dai processi di modificazione e stratificazione subiti nel tempo, che rendono l'edificio storico un unicum difficilmente riconducibile per aspetti geometrici e costruttivi a nessun altro manufatto, seppur simile per età e linguaggio architettonico. Questa singolarità del costruito fa sì che la sua modellazione in ambiente BIM, come noto basata sulla standardizzazione degli elementi costruttivi, sia ancora oggi una questione aperta, oggetto di numerose ricerche<sup>9</sup>. Coerentemente con la logica dei processi BIM fondata sulla costruzione di modelli sulla base di oggetti parametrizzati e standardizzati, tipicamente i software BIM sono dotati di librerie standard di oggetti parametrici. Tali librerie però, realizzate per il progetto di nuovi edifici, sono carenti di componenti tipiche del patrimonio architettonico, quali volte, archi, muri fortemente irregolari, ecc.<sup>10</sup>. Con l'obiettivo di superare questi limiti, l'uso del disegno computazionale, attraverso il quale le complesse forme geometriche dell'architettura storica possono essere gestite in modo parametrico<sup>11</sup>, inizia a farsi strada nel campo di sperimentazione dell'Historic Building Information Modeling.

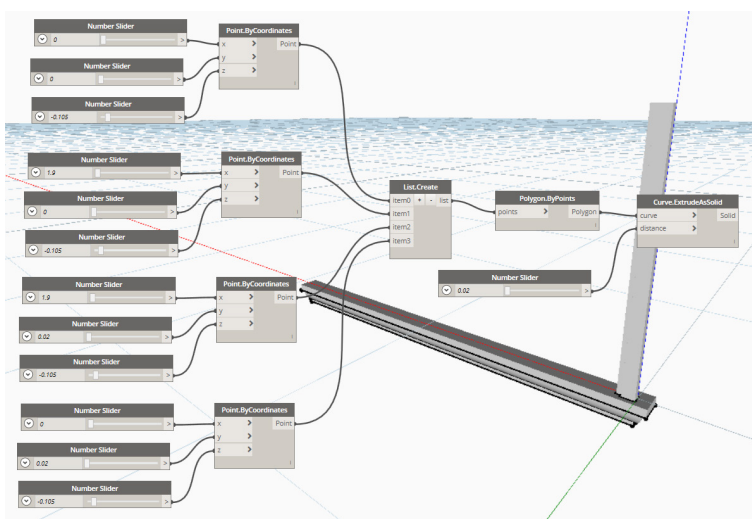


Fig. 42. Modellazione parametrica della cornice di una finestra mediante VPL in Autodesk Dynamo.

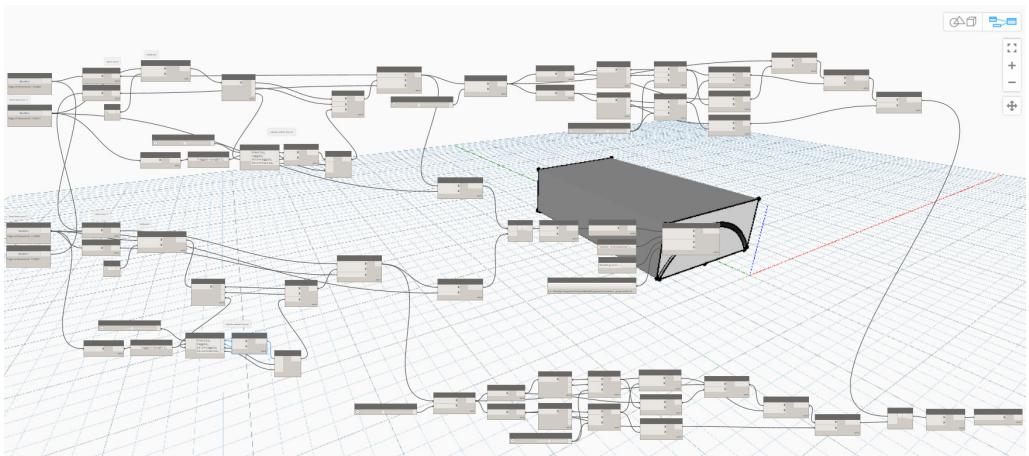
Utilizzando il disegno computazionale, Paris e Wahbeh hanno studiato una nuova modalità di modellazione basata sui dati ottenuti con tecniche di acquisizione di forme 3D. Tale approccio si articola in due fasi: la prima è di analisi della geometria dell'oggetto architettonico e di creazione del modello parametrico; la seconda è relativa all'inclusione, all'interno del modello, dei valori numerici estratti dalla nuvola di punti<sup>12</sup>.

Di Luggo et al. hanno utilizzato il linguaggio di programmazione visuale di Autodesk Dynamo per risolvere i problemi relativi alla modellazione di una volta generata da ovali diversi tra pianta e sezioni longitudinali e trasversali<sup>13</sup>.

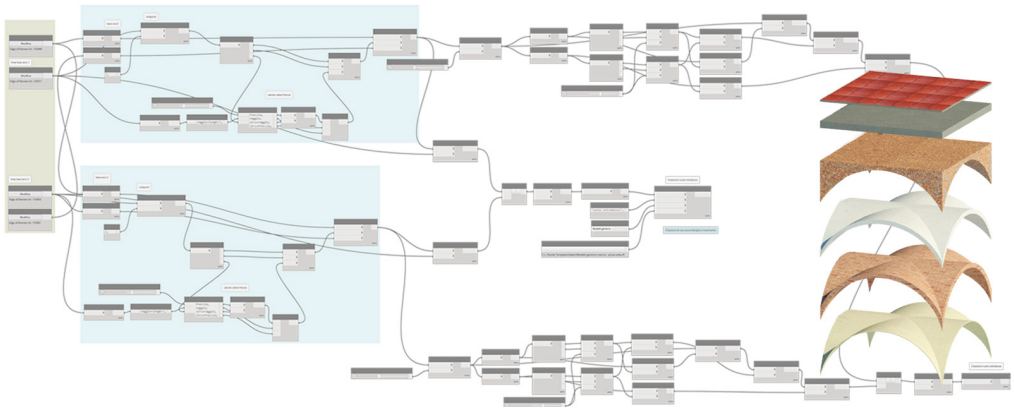
Sempre per la modellazione di sistemi voltati, Sampietro et al. hanno messo a punto algoritmi generativi con l'obiettivo di velocizzare e migliorare la realizzazione di geometrie complesse caratterizzanti l'architettura storica, automatizzando il processo di modellazione<sup>14</sup>. Bagnolo et al. presentano i primi risultati di una ricerca in cui viene utilizzata la modellazione algoritmica per consentire una semplificazione dei processi di modellazione di elementi costruttivi complessi di architetture storiche in ambiente BIM<sup>15</sup>. In particolare, la ricerca si basa sui dati acquisiti dalla modellazione fotogrammetrica digitale, e applica la VPL a diverse tipologie di colonne che, nella loro articolazione in base, fusto e capitello, offrono tre diversi livelli di complessità del processo di modellazione, consentendo di ottenere un'ampia gamma di possibili variazioni partendo da una colonna di base.

Capone e Lanzara analizzano la relazione tra rilievo, HBIM e modelli tridimensionali parametrici basati sulle regole geometriche derivanti da trattati al fine di realizzare una libreria di elementi architettonici storici ideali mediante l'utilizzo della modellazione algoritmica<sup>16</sup>. Nel loro articolo, in particolare, sperimenta le tecniche di modellazione procedurale per generare una libreria HBIM di cupole basate su tre trattati differenti.

Fig. 43. Modellazione di una volta a botte parametrica con stratigrafia tramite VPL in Autodesk Dynamo.







La soluzione per realizzare oggetti intelligenti specifici per l'edificio, attraverso la creazione di nuove famiglie, non costituisce un'operazione né immediata e né priva di criticità. La modellazione e parametrizzazione di elementi ricorrenti delle architetture storiche mediante il ricorso alla programmazione visuale può ridurre le difficoltà e i tempi di modellazione, consentendo allo stesso tempo di documentare l'intero processo.

Per la realizzazione di modelli parametrici di elementi complessi specifici del costruito, adattabili alle diverse esigenze e, quindi, riutilizzabili, è infatti necessaria in primo luogo una lettura critica operata tramite il rilievo; l'elemento viene successivamente analizzato e scomposto criticamente nelle sue parti costitutive, individuando le relazioni parametriche che le legano e identificando le generatrici e le direttrici della forma architettonica.

Questi collegamenti devono poi essere tradotti in un modello parametrico mediante la messa a punto di algoritmi che, tramite la definizione dei poligoni o profili dei componenti da utilizzare come direttrici geometriche, creano i modelli attraverso nodi specifici che consentono l'estrusione di tali profili su percorsi scelti<sup>17</sup>.

L'intera sequenza può essere resa modificabile, in tutti i suoi nodi, attraverso l'utilizzo di slider numerici che rendono l'algoritmo adattabile alle diverse tipologie appartenenti alla stessa componente architettonica. Il collegamento tra il software di VPL e quello BIM, inoltre, consente di importare direttamente quanto modellato in ambiente BIM mediante l'utilizzo di nodi specifici. Utilizzando Autodesk Dynamo, per esempio, a seconda dei fini si possono utilizzare: il nodo "*ImportInstance.ByGeometries*", per importare tutti gli elementi modellati come un'unica massa; il nodo "*ImportInstance.ByGeometry*", che permette di distinguere i singoli elementi modellati, mantenendoli così modificabili indipendentemente.

Gli oggetti modellati possono inoltre essere importati direttamente all'interno di famiglie BIM, e possono in questo modo essere salvati esternamente ai file di progetto e importati e riutilizzati più volte e in più progetti.

Fig. 44. Modellazione di una volta a botte parametrica con stratigrafia tramite vpl in Autodesk Dynamo.

Gli input parametrici sono collegabili direttamente a parametri BIM appositi, creati direttamente in ambiente di VPL, e associati agli oggetti tridimensionali. Il collegamento tra l'ambiente BIM e quello di programmazione visuale è diretto e bidirezionale, i dati così inseriti sono pertanto visualizzabili e modificabili in entrambi gli ambienti. I componenti architettonici, dunque, vengono prima parametrizzati e, solo successivamente, a seconda delle necessità, vengono poi ricondotti alla specificità dei significanti architettonici.

Il procedimento di progettazione computazionale, una volta reiterato per le componenti principali delle architetture di uno specifico contesto storico e culturale, può portare alla creazione di una libreria di oggetti per la modellazione del patrimonio tale da costituire una sorta di “manuale parametrico” degli elementi architettonici. Questo manuale dovrebbe essere caratterizzato dall'utilizzo di script aperti – cioè disponibili, utilizzabili e modificabili da chiunque – dedicati agli elementi architettonici di un determinato territorio, successivamente riconducibili dal modellatore alla specificità del bene architettonico oggetto di studio, sulla base del confronto con la nuvola di punti derivante dal rilievo dell'elemento.

#### 4.3 Il Visual Programming Language per la documentazione

L'organizzazione di dati e informazioni eterogenei all'interno di un'unica piattaforma, la cui navigazione e accessibilità è favorita dall'interfaccia grafica costituita dal modello 3D, consente l'ottimizzazione del flusso di lavoro e dell'interazione tra i diversi stakeholder. Nel settore del patrimonio architettonico, ciò rappresenta una grande opportunità per la documentazione e conservazione dei beni architettonici, i quali richiedono la gestione di una grandissima quantità di informazioni relative ai diversi aspetti dell'edificio: storiche, costruttive, conservative, ecc.

Nonostante le potenzialità di un database accessibile attraverso un modello 3D, le piattaforme BIM, strutturate per la gestione di processi edilizi per le nuove costruzioni, risultano insufficienti per il patrimonio architettonico. Da qui la necessità di studiare e sperimentare nuove modalità di gestione delle informazioni per la documentazione dei beni architettonici in ambiente BIM.

Diversi sono stati gli approcci seguiti dagli studiosi per superare tali limitazioni mediante la realizzazione di un ampliamento dei database BIM, collegato agli elementi tridimensionali, che consenta l'inserimento e l'organizzazione di tutte le informazioni derivanti dai rilievi e dalle ricerche archivistiche documentali<sup>18</sup>.

Tra le linee di ricerca più recenti vi è l'utilizzo della programmazione visuale in quanto strumento flessibile che può offrire interessanti potenzialità sia per la gestione di una grande mole di dati, che per la loro organizzazione attraverso una strutturazione di relazioni ben definite. La VPL applicata ai processi HBIM, infatti, consente di sviluppare una procedura per un ampliamento interoperabile del database BIM direttamente collegato agli elementi tridimensionali presenti

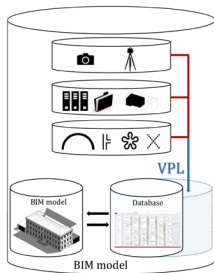
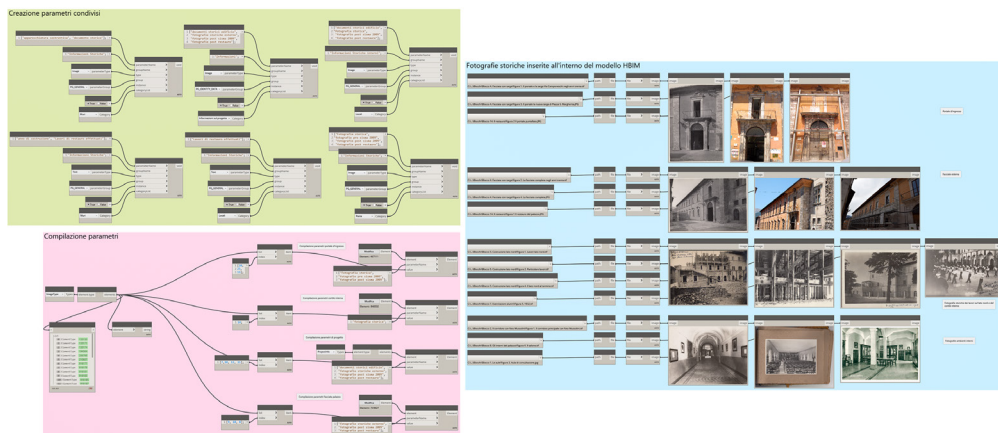


Fig. 45. Schema ampliamento del database collegato agli elementi BIM tramite VPL.



nel modello, così da consentire di documentare dati usualmente non contemplati in tali ambienti e gestire ulteriori sistemi di informazioni attraverso una strutturazione di relazioni ben definite<sup>19</sup>. La programmazione visuale, inoltre, può essere anche utilizzata come strumento di collegamento tra più software differenti. Per quanto riguarda l'ampliamento del database BIM, in particolare tale collegamento può essere utilizzato per esportare il database implementato, collegandolo in modo bidirezionale con software esterni all'ambiente BIM, quali per esempio Excel, in caso di fogli con dati specifici e in quantità discrete, o i database relazionali esterni, quali ad esempio l'SQL<sup>20</sup>, in caso di database interi e strutturati.

L'ampliamento del database può essere utile per inserire informazioni aggiuntive non previste negli attuali software BIM, quali, per esempio, le informazioni storiche contenute all'interno del LOH<sup>21</sup>. Per realizzare questi ampliamenti è possibile utilizzare metodi differenti a seconda dei fini e delle necessità. In particolare, l'aggiunta di nuove informazioni può avvenire mediante la creazione di nuovi parametri o di parametri condivisi. Quest'ultimo metodo è particolarmente utile nel caso di parametri aggiuntivi che possono essere riutilizzati più volte, all'interno dello stesso progetto o in più progetti. La creazione di tali parametri e la loro compilazione può avvenire sia in ambiente BIM che all'interno del software di VPL. L'utilizzo di quest'ultimo però è particolarmente utile per avere una visione complessiva di tutte le informazioni, che possono essere raggruppate ed interrogate in molti modi differenti a seconda dei fini e delle necessità. L'ampliamento mediante la scrittura di codici, inoltre, conferisce maggior flessibilità e adattabilità per l'organizzazione e la strutturazione delle informazioni e dei parametri. La possibilità di costruire l'intero algoritmo, nodo per nodo, infatti, permette di definire puntualmente vincoli, relazioni e regole, consentendo un maggior controllo sui dati inseriti, sulla loro allocazione, correttezza e coerenza. A differenza dell'informatizzazione direttamente in ambiente BIM, che richiede lo svolgimento di ogni passaggio singolarmente

Fig. 46.  
Programmazione VPL per l'ampliamento del database per inserire le informazioni storiche (LoH).

## BIM Model

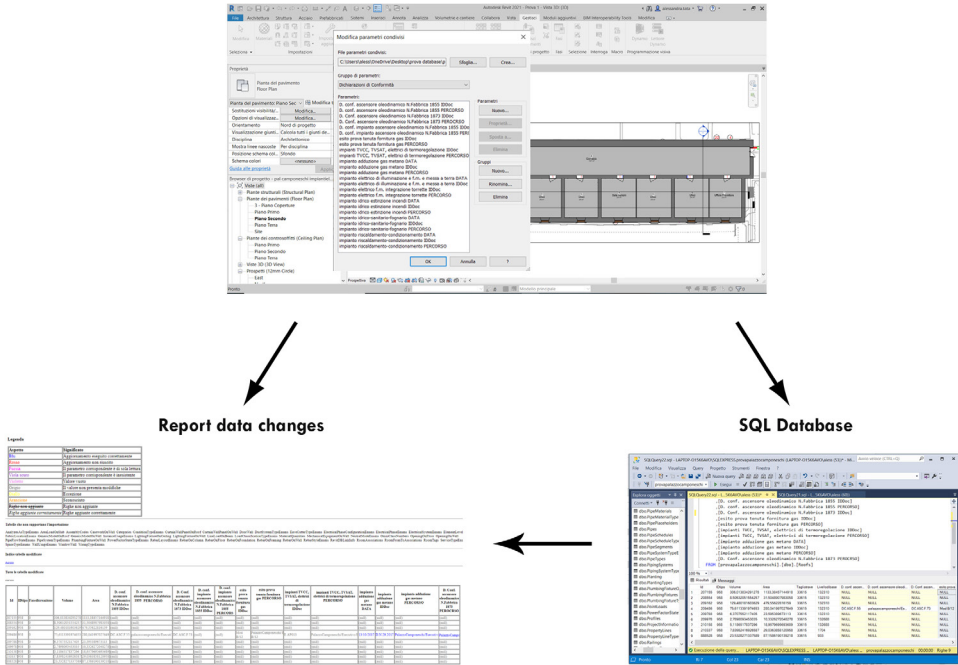
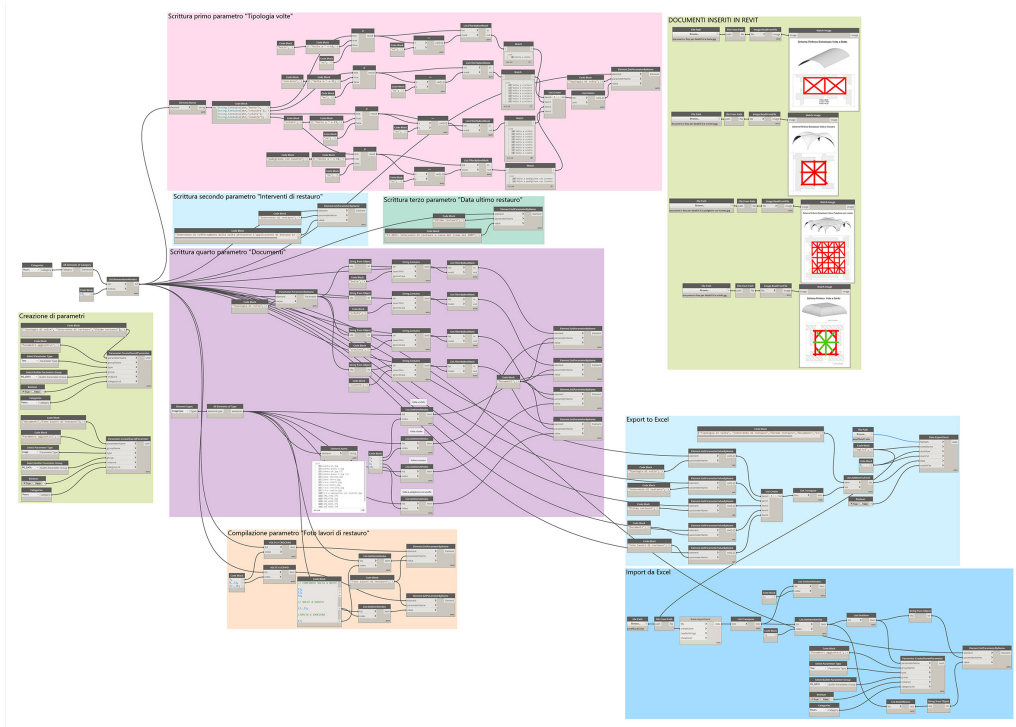


Fig. 47. Ampliamento bidirezionale del database BIM tramite collegamento con un database esterno relazionale SQL.

(creazione dei parametri uno alla volta e loro compilazione individualmente), inoltre, con il VPL è possibile svolgere i compiti contemporaneamente per più parametri e oggetti (selezionati manualmente, anche appartenenti a famiglie o tipi differenti, o in funzione di questi ultimi), mediante la creazione e l'utilizzo di liste e liste nidificate.

Questo consente una velocizzazione nella manipolazione delle informazioni e nello svolgimento di compiti, soprattutto se questi ultimi sono costituiti da azioni ripetitive. La creazione di un file di parametri condivisi e di tutti i parametri al suo interno, per esempio, può essere realizzata mediante l'utilizzo di un unico nodo specifico che permette allo stesso tempo di creare più parametri e di organizzarli in gruppi tematici. All'interno di Dynamo, il nodo che svolge questo compito è *“Parameter.Create-SharedParameter”* e prevede come dati di input: i nomi dei parametri da creare; il nome del gruppo in cui inserirli, necessario quest'ultimo per organizzarli nel file di testo txt; il tipo di parametro (immagine, testo, ecc.); la categoria (informazioni sul progetto, stanze, pareti, ecc.).

La compilazione di questi parametri può essere realizzata tramite l'uso del nodo *“Element.SetParameterByName”*, e la scelta degli oggetti a cui associare tali informazioni avviene mediante l'utilizzo di nodi di selezione diretta che, per garantire la corretta associazione dei parametri agli elementi tridimensionali, operano tramite il codice identificativo univoco degli elementi (*“Select Model Element”* o *“Select Model*



*Elements*” a seconda di se si intende selezionare uno o più elementi). Infine, gli strumenti di VPL possono essere utilizzati per popolare i parametri e i database, automatizzando la compilazione delle informazioni tramite la realizzazioni di programmazioni specifiche differenti a seconda delle esigenze<sup>22</sup>.

Fig. 48. Algoritmo per la documentazione delle volte all'interno di Autodesk Dynamo.

#### 4.4 Il Visual Programming Language per la reliability del modello

Nel caso specifico dell'HBIM, in cui la rappresentazione geometrica è affiancata dall'aspetto informativo che costituisce un aspetto fondamentale del modello, la natura interpretativa di quest'ultimo è amplificata. Emerge quindi l'importanza della trasparenza scientifica, intesa come l'identificazione, la valutazione e la documentazione delle fonti utilizzate per assicurare l'integrità intellettuale dei metodi e dei risultati della visualizzazione digitale.

Indispensabile ai fini della trasparenza dei modelli è anche la valutazione della loro affidabilità. Poiché la rappresentazione tridimensionale del patrimonio non è da intendersi come sola geometria ma anche come contenuto informativo di varia natura, il tema dell'affidabilità del modello HBIM deve riguardare ambedue le tematiche<sup>23</sup>. Gli studi che hanno trattato o sperimentato nuove procedure per la valutazione della reliability dei modelli HBIM sono stati numerosi,

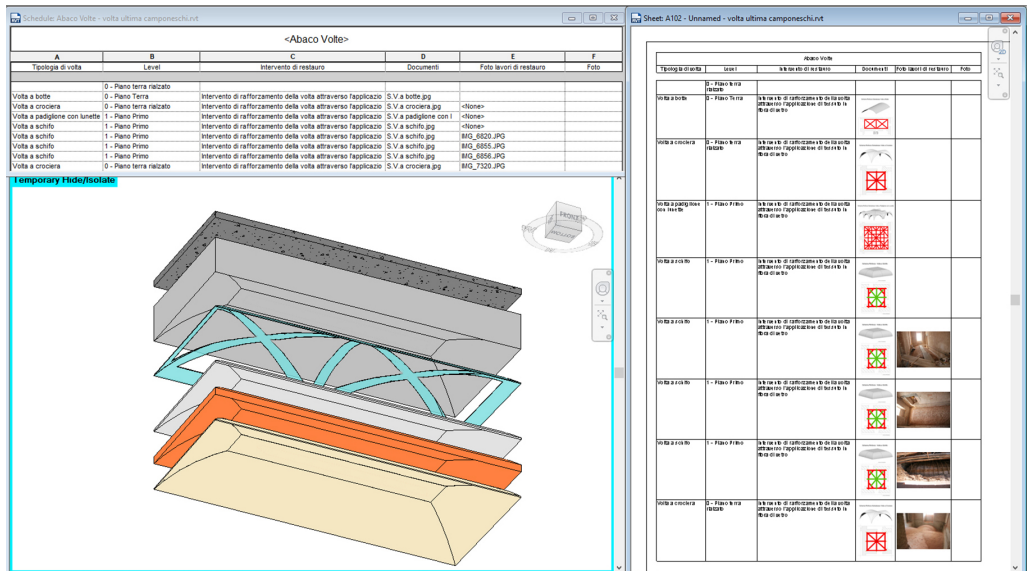


Fig. 49. Visualizzazione dell'ampliamento del database in ambiente Revit.

nella maggior parte dei casi però, sono stati incentrati principalmente sulla reliability geometrica<sup>24</sup>.

Mediante l'utilizzo della programmazione visuale, è possibile mettere a punto procedure semiautomatiche per realizzare la valutazione dell'affidabilità dei modelli. Con il fine di valutare e dichiarare la reliability della rappresentazione digitale all'interno dell'ambiente informativo BIM, sono state messe a punto due procedure differenti a seconda che si tratti delle reliability informative o quella geometrica degli elementi<sup>25</sup>.

Per realizzare la valutazione semi-automatica della reliability geometrica, direttamente in ambiente BIM, si è fatto ricorso all'utilizzo della programmazione visuale (Fig. 51).

La programmazione realizzata per la valutazione della reliability geometrica è suddivisibile in cinque blocchi funzionali.

Il primo è costituito dai dati di input della programmazione e cioè dai punti della nuvola di punti derivante dal rilievo e dalle superfici del modello BIM di cui si vuole misurare la deviazione.

I punti sono creati direttamente all'interno di Dynamo a partire dalle loro coordinate, importate in ambiente di programmazione visuale all'interno di un file Excel. Per quanto riguarda l'elemento BIM, invece, la selezione delle superfici avviene attraverso l'utilizzo di nodi di selezione diretta ("*Select Model Element*") che si collegano direttamente con il file di progetto in cui è presente il modello.

Nel secondo blocco della programmazione vengono calcolate le normali dei punti rispetto alle superfici dell'elemento. Queste ultime sono poi utilizzate come direzioni per proiettare i punti della nuvola perpendicolarmente sulle superfici. Infine, mediante l'utilizzo del nodo "*Geometry.Intersect*", vengono selezionati solo i punti proiettati che effettivamente intersecano tali superfici.

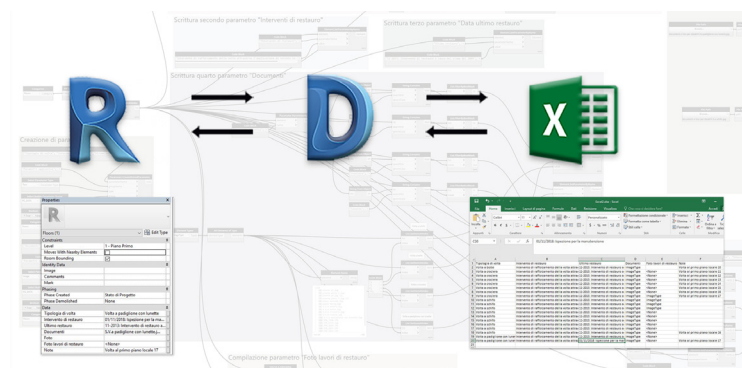


Fig. 50. Schema interoperabilità bidirezionale tra Autodesk Revit e Excel tramite VPL.

Il terzo blocco è inerente al calcolo delle distanze tra questi ultimi punti proiettati e quelli corrispondenti appartenenti alla nuvola iniziale. Dato che alcuni punti possono essere proiettati perpendicolarmente e possono intersecare più superfici, per essere certi di “applicarli” sulle superfici corrette, è stato impostato il vincolo della minima distanza. Sono cioè state poste a confronto le distanze dei punti rispetto a tutte le superfici, utilizzando il nodo “List.Minimum” e, in caso della presenza di più distanze, per ogni punto è stata selezionata quella minore.

Mediante l’uso del nodo “List.Contain”, è stato effettuato un controllo di appartenenza all’interno delle liste con le distanze dei punti rispetto alle varie superfici. Infine, con l’uso di nodi che consentono di filtrare le liste in base a una maschera booleana, per ogni superficie sono stati selezionati i punti della nuvola in base alle distanze risultanti e dai vincoli impostati precedentemente.

La quarta parte della programmazione è quella dedicata alla valutazione dell’accuratezza geometrica del modello rispetto alla nuvola di punti.

Gli input di questa porzione della programmazione sono i valori di deviazione appartenenti ai range definiti nello standard presentato precedentemente nella proposta n. 2<sup>26</sup>, e le distanze dei punti selezionate nella terza parte della programmazione. L’input dei range accettabili varia in funzione dei LoD, pertanto, una volta definito il livello di sviluppo con cui deve essere modellato/è stato modellato l’oggetto, è possibile filtrare le distanze ottenute in base ai suddetti range di quel determinato LoD.

La quinta ed ultima parte della programmazione, infine, è dedicata alla visualizzazione della reliability geometrica. Mediante l’uso dei nodi *GeometryColor.ByGeometryColor*, a seconda del range di appartenenza (basso, medio o alto) valutato in base alle distanze, è stato applicato il colore (rispettivamente di rosso, giallo e verde) ai punti filtrati in precedenza.

Infine, è possibile terminare l’algoritmo con la compilazione automatica del parametro di reliability collegato al modello, mediante la definizione di un algoritmo che consente di valutare in modo “oggettivo” ed automatico la reliability dell’oggetto tridimensionale

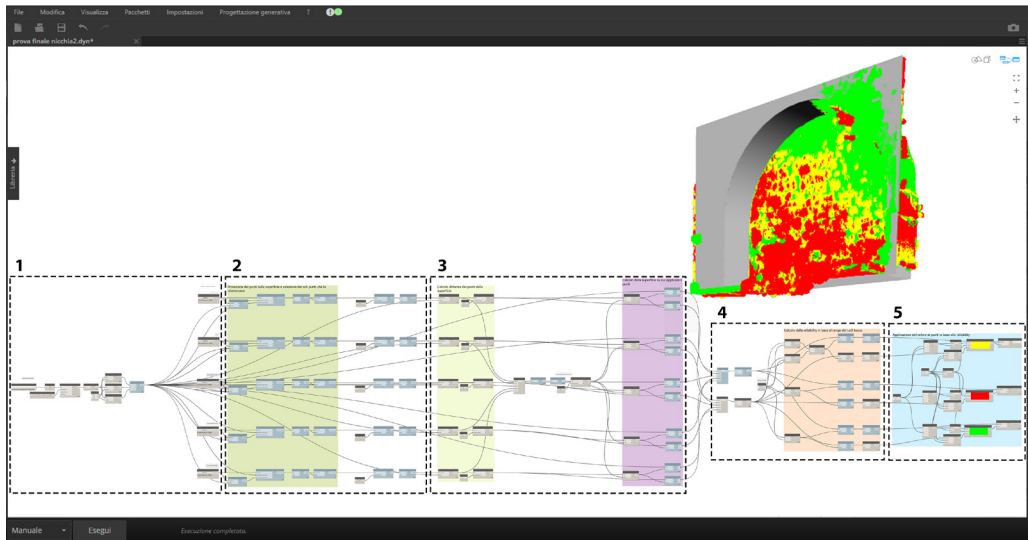


Fig. 51. Reliability geometrica di una nicchia modellata con LoD basso, valutata filtrando le distanze per maggiori di 7 cm, intermedie tra 7 e 5 cm, e inferiori a 5 cm.

definendo delle percentuali massime di scostamento accettabili rispetto alle superfici o alle generatrici e direttrici, a seconda della tipologia di elemento, dei fini e del livello di sviluppo dell'oggetto<sup>27</sup>. L'algoritmo può valutare, sulla base di queste regole, sulla "quantità" e sull'estensione dello scostamento, la reliability dell'oggetto in base ai vincoli e agli input prestabiliti, definirla in funzione dei vincoli programmati, e compilare automaticamente il parametro corrispondente collegato all'oggetto interessato, consentendo in questo modo di conoscere direttamente all'interno dell'ambiente BIM l'affidabilità dell'oggetto.

Il vantaggio inerente all'utilizzo della programmazione visuale è che, una volta messa a punto la programmazione, essa è reiterabile più volte, sia sullo stesso oggetto che su elementi differenti appartenenti a beni diversi. Con l'aggiornamento dei tre input (file Excel contenente le coordinate dei punti delle nuvole, superfici dell'elemento BIM e valori per i range di reliability in funzione del LoD) è quindi possibile il calcolo semi-automatico della reliability geometrica degli elementi tridimensionali e la compilazione automatica del relativo parametro.

Per quanto riguarda le reliabilities informative<sup>28</sup>, invece, sono valutate mediante la creazione e la messa a punto di filtri di viste. Questi ultimi possono essere realizzati direttamente all'interno dell'ambiente BIM o con l'ausilio della programmazione visuale (Figg. 30, 31). in questo caso l'utilizzo della VPL potrebbe consentire però una maggiore flessibilità nella messa a punto dei filtri che potrebbero essere collegati direttamente ai parametri di valutazione delle differenti reliabilities. Analogamente alla procedura per la valutazione e dichiarazione della reliability geometrica, anche in quelle informative può essere resa semiautomatica attraverso la



messa a punto di una programmazione che colleghi i parametri sulla tipologia di fonte (diretta, indiretta o non esaustiva) a quelli relativi alla dichiarazione delle reliabilities (alte, medie o basse), e, per quanto riguarda la visualizzazione, i parametri con la dichiarazione delle reliabilities con delle regole di sostituzioni grafiche (rispettivamente colore verde, giallo o rosso a seconda che la reliability sia alta, media o bassa).

In questo modo possono quindi essere creati più filtri di vista, uno per ogni reliability informativa, direttamente collegati ai parametri "reliability" (suddivisi per tematica). Questi filtri una volta creati possono essere applicati alle viste e possono essere attivati o disattivati, a seconda del tipo di reliability informativa che si vuole visualizzare e comunicare.

Anche in questo caso, una volta importate le regole di filtraggio e di visualizzazione e aver collegato questi filtri al parametro reliability, le sostituzioni grafiche, dopo aver applicato il filtro, avvengono in automatico, in base alla compilazione e all'aggiornamento dei parametri di reliability.

#### **4.5 Il Visual Programming Language come evoluzione nell'applicazione del BIM al costruito**

Con la presente riflessione teorico-metodologica sull'applicazione dei processi BIM ai beni architettonici, si pongono come centrali le istanze storiche ed architettoniche derivanti dalla natura dei manufatti, caratterizzati da una processi di modificazione e stratificazione avvenuti nel tempo.

Viene ribadita quindi la necessità, in un processo HBIM che aspiri a rivolgersi compiutamente al costruito storico, di riferirsi al metodo "storico-critico" al fine di 'conoscere' oggi la 'realtà' del bene, e quindi, radicandosi su questi concetti, di includere dati relativi alla storia delle trasformazioni che hanno condotto alla realtà attuale che attualmente non trovano posto nell'attuale strutturazione dei database BIM attuali. In questo contesto, la VPL rappresenta lo strumento per superare tali limiti, favorendo l'inserimento nel sistema BIM di quei dati necessari alla documentazione, consentendo, di fatto, l'ampliamento dei database BIM, e aprendo in questo modo definitivamente la procedura ad applicazioni consapevoli<sup>29</sup>. Se strutturato in modo efficace, infatti, l'uso congiunto del BIM e della VPL potrebbe condurre in futuro verso l'uso di flussi di lavoro alternativi dinamici e flessibili, che consentano la realizzazione di modelli informativi strutturati, affidabili e facilmente interrogabili, utili per lo sviluppo di progetti di riqualificazione e restauro, realizzati nel totale rispetto delle qualità del manufatto.

La combinazione di processi HBIM e programmazione algoritmica, mediante l'utilizzo della VPL, consente di confrontarsi con le criticità degli ambienti BIM in modo più flessibile e speditivo. Il linguaggio di programmazione visuale, infatti, permette di gestire

e manipolare tutti i nodi necessari alla realizzazione di un fine, rendendo possibile il controllo di ogni aspetto e vincolo riguardante, a seconda dello scopo, la modellazione di geometrie complesse, la gestione e organizzazione del contenuto informativo e la valutazione dell'affidabilità del modello informativo.

La progettazione computazionale consente di raggiungere un elevato livello di parametrizzazione e adattabilità, permettendo di definire delle procedure per la realizzazione di modelli HBIM aderenti all'unicità caratteristica dei beni architettonici. Le tecniche di VPL, infatti, consentono la tipizzazione degli elementi architettonici attraverso la creazione di modelli parametrici che possono, successivamente, essere ricondotti alla specificità dell'edificio storico mediante la modifica dei parametri.

Attraverso una procedura basata su algoritmi generativi, quindi, seguendo la logica BIM, si può creare una sorta di libreria di oggetti parametrici per architetture storiche, che permette, da un lato, la gestione di geometrie complesse e, dall'altro, l'ottimizzazione del processo HBIM consentendo quindi una riduzione del lavoro successiva, grazie alla possibilità di riutilizzo degli algoritmi.

Tali procedure sono parametriche e possono essere generalizzate, implementate, ripetute e adattate, in base ai fini e alle specificità dei casi studio presi in esame (attraverso, ad esempio, la creazione di nuovi parametri relativi alla realizzazione, alle trasformazioni e ricostruzioni subite nel tempo, alla datazione, ecc.).

Mediante l'utilizzo del computational design, inoltre, la gestione delle "informazioni" risulta essere più agevole ed efficace, grazie ad una parziale automazione dovuta a un sistema di propagazione a cascata delle modifiche apportate che consente di velocizzare il processo di compilazione dei parametri.

La VPL consente, infine, la creazione di flussi di lavoro tra software differenti mediante la creazione di un collegamento diretto e bidirezionale tra più ambienti, rendendo in questo modo possibile il dialogo, il trasferimento, la disponibilità e la modifica dei dati anche all'esterno dell'ambiente BIM. Questi ultimi possono essere modificati in uno qualsiasi degli ambienti, e il loro aggiornamento è visibile contestualmente in ogni altro ambiente collegato tramite gli script.

## Note

1. J.M. WING, *Computational Thinking*, in «Communications of the ACM», 49 (3), 2006, pp. 33-35.
2. G. BURATTI, *Il disegno computazionale. La forma come organizzazione*, in *Codice e progetto*, in *Il computational design tra architettura, design, territorio, rappresentazione, strumenti, materiali e nuove tecnologie*, a cura di A. Nebuloni, A. Rossi, Milano, Mimesis, 2017, pp. 111-123; A. CAMERLENGO, *Il pensiero computazionale. Logica e problem solving dallo studente al manager informatico*, Palermo, Flaccovio editore, 2021.

3. Consiste nell'integrazione tra il BIM e tecniche di design generativo, basato su algoritmi, normalmente programmati tramite strumenti di VPL, e modellazione parametrica per sperimentare dei processi iterativi in grado di automatizzare parzialmente i processi di progettazione sulla base di vincoli e obiettivi.
4. Si vedano il capitolo precedente e, in particolare, il paragrafo "3.1 Stato dell'arte".

In merito a ciò si citano, inoltre, in modo esemplificativo e non esaustivo: C. BIANCHINI, C. INGLESE, A. IPPOLITO, D. MAIORINO, L.J. SENATORE *Building Information Modeling (BIM): Great Misunderstanding or Potential Opportunities for the Design Disciplines?*, in *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*, a cura di A. Ippolito, M. Cigola, Hershey, IGI Global, 2017, pp. 67-90; S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Toward a new point of view: the H-BIM procedure*, in *Chances. Practices, spaces and buildings in cities' transformation*, a cura di A. Trentin, Bologna, Alma Mater Studiorum-Università di Bologna-Dipartimento di Architettura, 2020, pp. 403-413.

5. C. BRANDI, *Teoria del restauro*, Roma, 1963.
6. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Trasparenza e affidabilità dei modelli HBIM*, in *BIM Views: Esperienze e scenari*, a cura di L. M. Papa, P. D'Agostino, Fisciano, CUA, 2019, pp. 125-140; C. BIANCHINI, S. NICASTRO, *The definition of the Level of Reliability: a contribution to the transparency of Historical-BIM process*, in *3D MODELING & BIM*, Roma, DEI Tipografia del Genio Civile, 2018, pp. 45-59.
7. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes*, In 2018 IEEE International Conference of Metrology for Archaeology and Cultural Heritage MetroArchaeo Proceedings, IEEE, 2018, pp. 199-203; M. CAPONE, E. LANZARA, *SCAN-TO-BIM vs 3D Ideal Model HBIM: Parametric Tools to Study Domes Geometry*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, pp. 219-226; A. DI LUGGO, S. SCANDURRA, M. PULCRANO, M. SICONOLFI, S. MONACO, *Sistemi voltati nei processi cloud to BIM*. In 3D Modeling & BIM-Nuove frontiere, a cura di T. Emler, G. M. Valenti, Roma, DEI Tipografia del genio civile, 2018, pp. 162-177 ; L. PARIS, W. WAHBEH, *Survey and representation of the parametric geometries in HBIM*, in «DISEGNARECON», 9 (16), 2016, pp. 12.1-12.9.
8. Sul mercato esistono diversi strumenti di programmazione visuale. I più popolari sono: Generative Components, introdotto nel 2003 e rilasciato nel 2007; Grasshopper, il più popolare e il programma con la libreria più estesa, è uno strumento di algorithmic modeling che collabora direttamente con Rhinoceros; Dynamo, strumento di programmazione visuale BIM dell'autodesk che collabora direttamente con Revit utile per il BIM; Marionette della vectorworks; Flux spin-off di Google(x), ecc.

Le sperimentazioni riportate in questo capitolo sono state effettuate tutte mediante l'utilizzo dei software Autodesk Revit 2021 e del plugin di programmazione visuale BIM Dynamo, che permette di avere un

- collegamento bidirezionale direttamente con i dati e gli oggetti tridimensionali che si trovano all'interno dei file di progetto di Revit.
9. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *AHBIM come sistema di rappresentazione complesso dei beni architettonici*, in *De trazos, huellas e improntas. Arquitectura, ideación, representación y difusión*, cura di C. L. Marcos Alba, P. J. J. Gutiérrez, J. D. Gresa, J. Oliva Meyer, Valencia, Byprint Percom SL, 2018, pp. 485-494.
  10. C. DORE, M. MURPHY, *Historic Building Information Modeling (HBIM)*, in *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, a cura di S. Brusaporci, Hershey, IGI Global, 2015, pp. 233-273; S. LOGOTHETIS, A. DELINASIOU, E. STYLIANIDIS, *Building Information Modelling for cultural heritage: a review*, in «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», II-5/W3, 2015, pp. 177-183; S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA (2018b). *Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes*. In 2018 IEEE International Conference of Metrology for Archaeology and Cultural Heritage MetroArcheo Proceedings (pp. 199-203). Luogo : IEEE.
  11. A. CASALE, G.M. VALENTI, M. CALVANO (2017). *From origami to folded surfaces. Representing moving forms*. 17th International Conference on Geometry and Graphics (Beijing 4-8 Agosto 2016); Di Marco, G. (2017). *Simplified Complexity*. Brienza: Le Penseur.
  12. L. PARIS, W. WAHBEH, *Survey and representation of the parametric geometries in HBIM*, in «DISEGNARECON», 9 (16), 2016, pp. 12.1-12.9.
  13. A. DI LUGGO, S. SCANDURRA, M. PULCRANO, M. SICONOLFI, S. MONACO, *Sistemi voltati nei processi cloud to BIM*, in *3D Modeling & BIM-Nuove frontiere*, a cura di T. Empler, G. M. Valenti, Roma, DEI Tipografia del genio civile, 2018, pp. 162-177.
  14. F. SAMPIETRO, M.L. MASCIOPINTO, I.W.J. CINCOTTA, G. BERGONZONI, *Computational design nel processo HBIM*, in «Dn. Building Information Modeling, Data & Semantics», 2/2018, 2018, pp. 86-96.
  15. V. BAGNOLO, R. ARGIOLOS, A. CUCCU, *Digital survey and algorithmic modeling in HBIM. Towards a library of complex construction elements*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-4/W12, 2019, pp. 25-31.
  16. M. CAPONE, E. LANZARA, *SCAN-TO-BIM vs 3D Ideal Model HBIM: Parametric Tools to Study Domes Geometry*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, pp. 219-226.
  17. F. APOLLONIO M. GAIANI, Z. SUN, *BIM-based modelling and data enrichment of classical architectural buildings*, in «SCIRES-IT», 2 (2), 2012, pp. 41-62.
  18. I.J. PALOMAR, J.L. GARCÍA VALLDECABRES, P. TZORTZOPOULOS, E. PELLICER, *An online platform to unify and synchronise heritage architecture information*, in «Automation in Construction», 110, 2020, pp. 1-17; T. MESSAOUDI, P. VÉRON, G. HALIN, L. DE LUCA, *An ontological model for the reality-based 3D annotation of*

- heritage building conservation state*, in «Journal of Cultural Heritage», 29, 2018, pp. 100-112. Si vedano i paragrafi 2.3.2 e 2.9.
19. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», 5, 2020, pp. 6-16.
  20. I database relazionali sono database di archiviazione che consentono di organizzare i dati secondo logiche gerarchiche e relazionali. All'interno dei database relazionali, i dati sono organizzati all'interno di tabelle bidimensionali composte da righe (record) e colonne (campi). Ogni riga corrisponde a un'entità archiviata nel database. Le caratteristiche di ciascuna entità sono definite dalle colonne. L'SQL (Structured Query Language) è un linguaggio standard aperto che permette di interagire con database relazionali scrivendo query strutturate con le quali è possibile interrogare, aggiornare e compilare dati, visualizzandoli e fondendoli in modi differenti a seconda delle finalità e delle necessità.
  21. Si vedano i paragrafi "3.6 Proposta per un nuovo livello informativo: il Level of History (LoH)" e il "5.4 L'arricchimento informativo del modello".
  22. A.M. KHAJA, J.D. SEO, J. MCARTHUR, *Optimizing BIM meta-data manipulation using parametric tools*, in «International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Procedia Engineerings», 145, 2016, pp. 259-266; S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», 5, 2020, pp. 6-16.
  23. P. MAIEZZA, *As-Built reliability in architectural HBIM modeling*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W9, 2019, pp. 461-466.
  24. Si veda paragrafo 3.4 del capitolo precedente, riguardante la trasparenza, l'affidabilità e la coerenza dei modelli.
  25. A tal riguardo si veda il paragrafo 3.7, intitolato "Proposta per uno standard sui livelli di trasparenza e reliability".
  26. I range di deviazione dipendono dal livello di sviluppo geometrico (LoG) e sono tre: il range per il log basso che è il meno restrittivo ed è misurato sulla superficie dell'elemento; il range per il log medio, misurato sulle generatrici e sulle direttrici dell'oggetto; e range per il LoG alto, che costituisce il più limitato ed è misurato su entrambe le variabili.
  27. P. MAIEZZA, A. TATA, *Standard for geometric and informative reliabilities in HBIM models*, in «DISEGNARECON», 14, 26, 2021, pp. 15.1-15.1.
  28. Le reliabilities informative sono dipendenti dalla tipologia di fonte e dal LoD e si declinano in LoQI, reliability informative suddivise in più sub-reliability seconda della tematica, e LoQH, relativo alla reliability storica. In merito a ciò si veda il paragrafo 3.7.
  29. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», 5, 2020, pp. 6-16.



## 5. La modellazione HBIM di Palazzo Camponeschi

La raccolta dell'intero corpus informativo in un unico sistema, tramite la realizzazione di archivi digitali complessi, associati a modelli tridimensionali dinamici, quali quelli BIM, consente di avere a disposizione degli strumenti di conoscenza, studio, analisi e valorizzazione, utili per la gestione degli immobili e la programmazione degli interventi di manutenzione<sup>1</sup>.

Il differente approccio che caratterizza l'applicazione della metodologia BIM al costruito storico, a partire dalla fase di conoscenza basata sui rilievi tridimensionali e sulle ricerche storiche, richiede delle particolari riflessioni volte a valutare criticamente i metodi e le strategie da adottare in funzione dei fini della modellazione e delle caratteristiche del manufatto. La modellazione dell'architettura storica, infatti, esige delle specifiche considerazioni riguardanti, in primo luogo, le tematiche inerenti alla modellazione parametrica e tipizzazione di geometrie complesse e peculiari, tipiche dell'edificato storico, comprensive dell'apparecchiatura costruttiva, e, in secondo luogo, agli aspetti attinenti alla catalogazione e all'organizzazione del contenuto informativo che, per essere collegato ai modelli BIM, richiede un ampliamento del database dei software attualmente esistenti.

Il capitolo tratta la modellazione HBIM, intesa come processo, al fine di ottenere una sorta di banca dati parametrica per la documentazione dei manufatti, attraverso lo sviluppo di un caso di studio.

Per la sperimentazione sulla realizzazione di modelli parametrici HBIM con database dedicato, derivanti dal rilievo, la scelta del caso studio è stata motivata dalla volontà di iniziare la sperimentazione con un caso pilota che fosse di particolare interesse per la storia della città e per la governance di Ateneo, che presentasse tutte le caratteristiche e le complessità tipiche di un bene particolarmente complesso e stratificato, e avesse, inoltre, importanti valenze storiche e architettoniche. Il caso studio scelto è Palazzo Camponeschi, un edificio storico situato in centro all'Aquila, oggi sede del Rettorato, della Direzione generale e dell'Amministrazione centrale dell'Università degli Studi dell'Aquila, restaurato in seguito al sisma che ha colpito la città nel 2009.

Il capitolo approfondisce la storia del Palazzo per comprendere gli eventi che hanno portato alla sua ideazione, progettazione, trasformazione ed infine alla sua configurazione attuale, e tratta la modellazione HBIM dello stesso con database ampliato con l'intento di verificare le criticità e i benefici della procedura HBIM individuata anteriormente, testando i limiti dei software esistenti e validando le procedure e le proposte operative definite nei precedenti capitoli.

A tal proposito, con il fine di realizzare un modello di test che potesse essere utilizzato successivamente anche ai fini manutentivi e gestionali del Palazzo, il capitolo amplia le riflessioni sulla procedura HBIM trattando, non solo gli aspetti architettonici, ma anche quelli impiantistici.

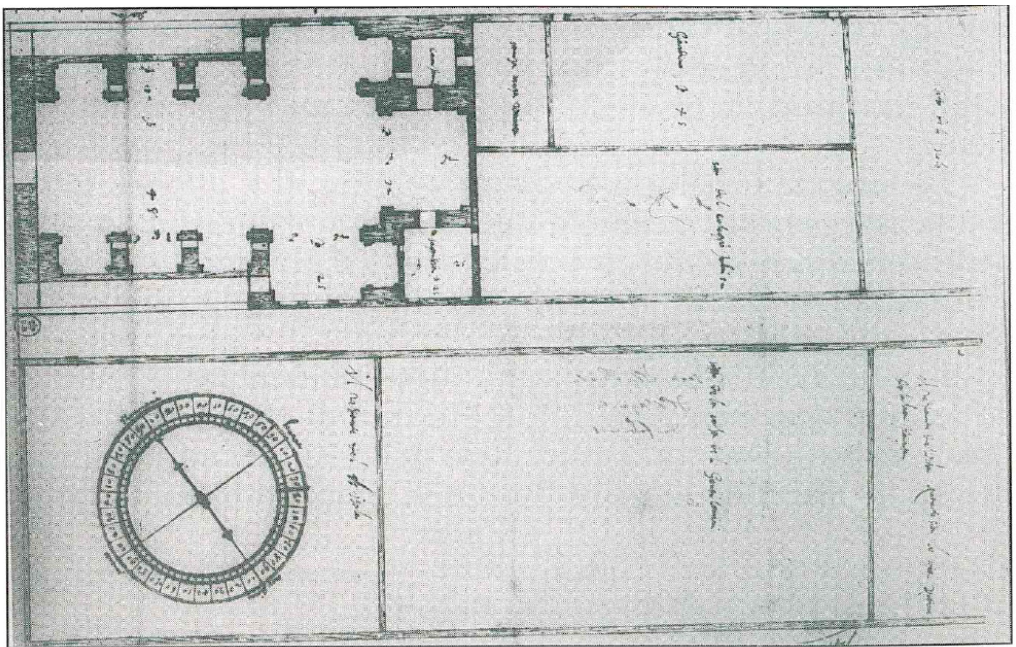
### 5.1 L'edificio e la sua storia

La vicenda urbanistica ed edilizia di Palazzo Camponeschi e dell'area circostante ha inizio nel 1592, con l'assegnazione ai Gesuiti del Palazzo della Camera, il quale si ergeva sullo stesso sito delle case appartenenti alla famiglia Camponeschi, su un isolato urbano nel quarto di San Pietro, che andava dalla Piazza di S. Margherita fino alla via dell'Annunziata<sup>2</sup>. Nel 1595 la Camera si trasferisce nel palazzo di Margherita d'Austria e lascia i suoi locali ai Gesuiti che il 4 novembre inaugurano l'*Aquilanum Collegium* (attualmente conosciuto come Palazzo Camponeschi).

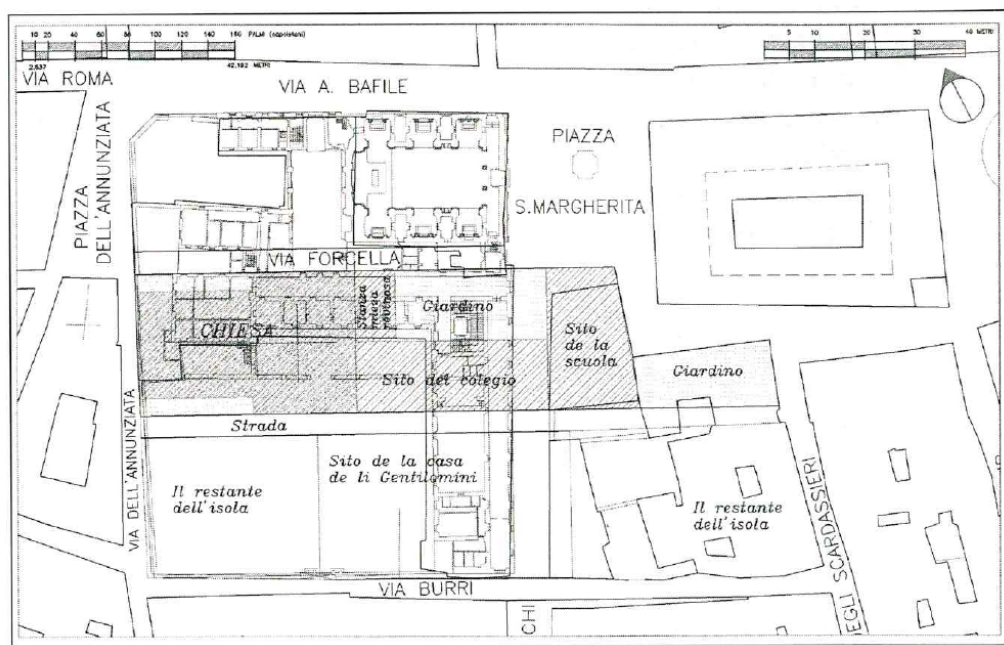
Con l'intento di realizzare un progetto e un palazzo più ampio, i Gesuiti iniziano ad acquisire le proprietà accanto al vecchio Palazzo della Camera e, in particolare, nel 1597 entrano in possesso della piccola Chiesa di S. Margherita della Forcella e nei due anni successivi danno inizio alle prime acquisizioni di case e terreni con il fine di consolidare il loro insediamento.

L'intera area che va da via Andrea Bafile a nord, alla via dell'Annunziata a ovest, a via Burri a sud, e a Piazza S. Margherita a est è stata

Fig. 52. Primo progetto di riforma urbanistica dell'isolato, 1610. (Fonte: Bibliothèque Nationale de Paris, Hd-4, 74, JVR).







oggetto di tre progetti di riforma e trasformazione urbanistica ed edilizia di cui il primo, databile al 1610, è costituito da due planimetrie del sito con il progetto della chiesa in pianta e sezione (Fig. 52). Nei disegni è riportato lo stato di fatto dei due isolati allungati: il primo, centrale e delimitato superiormente da via Forcella, che comprendeva la casa di Pietro Fornicola e la Camera Aquilana; il secondo, delimitato inferiormente da via Burri, che comprendeva la casa di Giorgio Saturnino. Il progetto prevedeva la sostituzione della chiesa di Santa Margherita della Forcella, considerata piccola e distante dal Collegio, con una nuova chiesa che affacciava ad ovest su via dell'Annunziata e a nord con Via della Forcella, occupando il sito della casa di Pietro Fornicola. In questo modo sarebbe stato possibile realizzare la nuova chiesa, e continuare ad utilizzare durante i lavori i vecchi edifici del collegio, della scuola e della piccola chiesa esistente. Questo progetto contiene un progetto architettonico dettagliato della nuova chiesa, ma non presenta indicazioni in merito all'impianto spaziale e distributivo del collegio e delle scuole.

Il secondo progetto, del maggio 1625, ad opera del fratel Agatio Stoia, Architetto della Provincia Napoletana, è più ampio del precedente ed interamente documentato<sup>3</sup>, e per questo consente di comprendere appieno le caratteristiche dei progetti della Compagnia ed è fondamentale per interpretare la realizzazione, che risulta essere completamente differente, e di cui non è pervenuta alcuna documentazione progettuale<sup>4</sup>.

Il complesso occupa i due isolati compresi tra via dell'Annunziata e Piazza S. Margherita, inglobando la strada che li divideva e occupando

Fig. 53. Primo progetto di riforma urbanistica dell'isolato, 1610. Sovrapposizione del progetto sulla planimetria di rilievo. (Fonte: Centofanti, 2000).

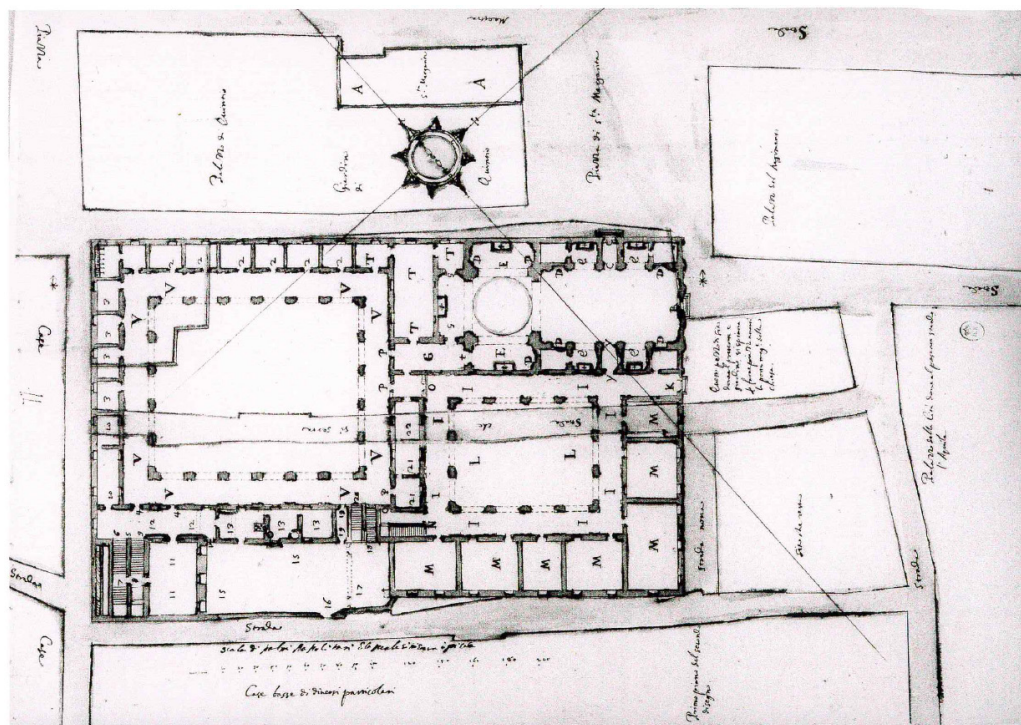


Fig. 54. Secondo progetto di riforma dell'isolato ad opera di Agazio Stoia, 1625. (Fonte: Bibliothèque Nationale de Paris, Hd-4, 77, JVR).

anche il sito della Congregazione dei Nobili per la quale se ne prevede lo spostamento. In questo caso la chiesa è posizionata nell'angolo nord-est del complesso, e affaccia con il fianco e l'uscita laterale su Piazza S. Margherita, mentre la facciata fronteggia una nuova piazza che viene a crearsi sul lato sud del palazzo di Margherita d'Austria (Fig. 54).

Il progetto è in questo caso è dettagliato e la struttura distributiva del Palazzo è quella abituale dei Collegi dei Gesuiti con la separazione delle funzioni tra l'area scholarum, l'area collegii e il cortile rustico.

Nel 1630, frater Agatio Stoia redige un nuovo progetto, corrispondente alla situazione attuale, costituito dalla riproposizione dei contenuti del 1625, però con una collocazione differente, con il fine di recepire gli obiettivi dei frati che aspirano ad acquisire anche le proprietà retrostanti al Palazzo di S. Margherita. Da progetto, infatti, il complesso ingloba tutti e tre gli isolati paralleli compresi tra Via Andrea Bafile e Via Burri, escluso solo l'edificio della Congregazione dei Nobili, ed è costituito da un arretramento dell'allineamento principale sul filo della piazza di S. Margherita.

La realizzazione del progetto inizia nel 1636 con l'avvio della costruzione della chiesa, posizionata in corrispondenza di quella esistente, mentre, per quanto riguarda il collegio (l'odierno "Palazzo Camponeschi") proseguono le acquisizioni e la costruzione del nuovo braccio, lungo l'attuale via Camponeschi e in allineamento con la chiesa nuova, inizia nel 1700.

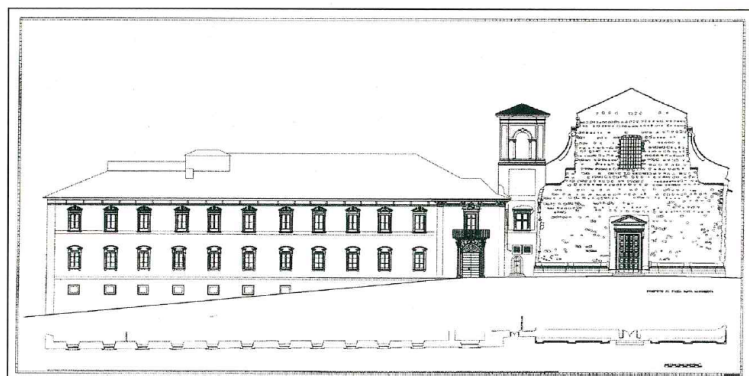


Fig. 55. Chiesa di S. Margherita e Palazzo Camponeschi (*Aquilanum Collegio*), pianta e prospetto principale. Rilievo pre-sisma 2009. (Fonte: Centofanti, 2000).

Con il terremoto del 1703 il collegio, identificato nei secoli XVII e XVIII come *Aquilanum Collegium*, viene fortemente danneggiato, e solo nel 1708 si parla della realizzazione di nuove costruzioni. La ricostruzione procede sotto la direzione dell'architetto dell'Ordine Giacomo de Napoli, tuttavia, nel 1738 non è ancora ultimata e con l'espulsione dei Gesuiti dal Regno di Napoli, il 22 novembre 1767, il Collegio e la chiesa restano definitivamente incompiuti.

In particolare, della chiesa non saranno mai completati il transetto, la cupola, l'abside e la facciata, che presenta ad oggi solo la parte basamentale compiuta come da progetto, mentre la restante parte è rimasta in grezzo non finito.

Per quanto riguarda la costruzione del collegio, invece, i lavori si arrestano con i due soli lati di edificio, ortogonali tra loro, tuttora



Fig. 56. Volta in cannucciato danneggiata dal terremoto del 2009 e volta a schifo fotografata durante i lavori di restauro.

esistenti. Il primo, legato alla prima edificazione da parte dei Gesuiti, è adiacente alla chiesa di S. Margherita, ed è posizionato lungo la non più esistente via Forcella, inglobata nella struttura nel 1634. Il secondo, più recente, è situato lungo la attuale via Camponeschi e costituisce oggi il fronte principale del palazzo.

Nel 1783 il collegio viene acquistato da Ignazio Di Costanzo, duca di Paganica, che lo adibisce a dimora cittadina della sua famiglia trasformando l'edificio in palazzo nobile. Tale caratteristica fu mantenuta anche dopo l'acquisto, nel 1827, da parte del marchese Spaventa<sup>5</sup>, che nel 1880 fa realizzare, sul disegno eseguito nel 1850 da Luigi Benedetti, la facciata in stile eclettico su via Bafle.

La facciata, presenta due ordini di finestre con cornici e timpani di diversa forma. L'ingresso, posizionato in corrispondenza della nuova facciata, non è baricentrico bensì posto lateralmente, nella parte più in quota del palazzo ed a lato della chiesa, incorniciato da una coppia di lesene che proseguono fino all'altezza della copertura.

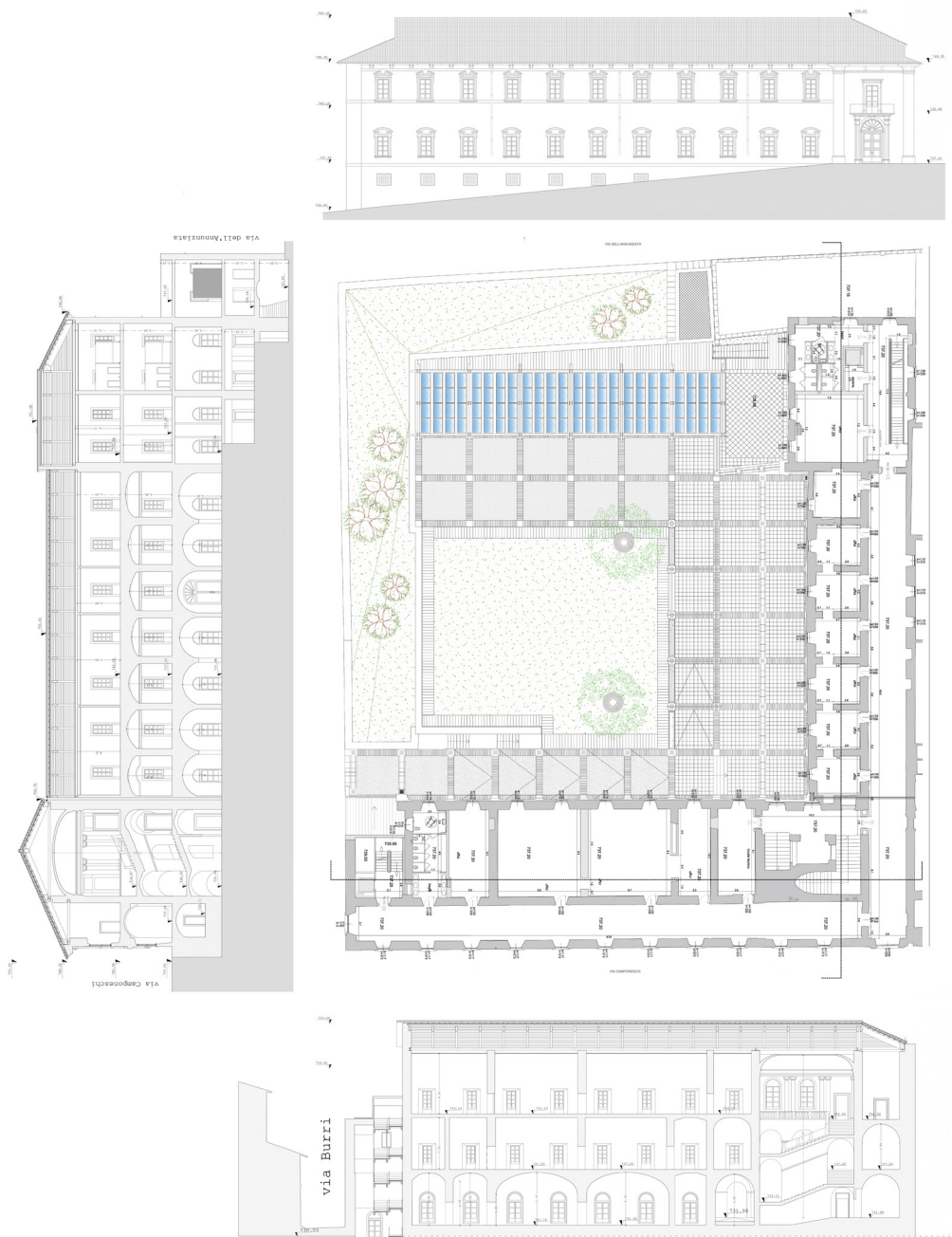
La trasformazione in palazzo nobile ha richiesto una modifica dell'impianto spaziale che è stata realizzata mediante la creazione di un asse ordinatore alternativo con l'ingresso in corrispondenza della nuova facciata, lo spazio corte retrostante la chiesa e lo sfondamento, attraverso il corpo di fabbrica del collegio, sulla corte giardino interna su cui affacciano loggiati in parte oggi tamponati<sup>6</sup>.

Di particolare interesse è la porzione adattata a campanile che è ciò che resta dell'antico Palazzo, come testimonia la presenza di una finestra sul prospetto dell'attuale torre campanaria, che collega l'attuale palazzo alla Chiesa di Santa Margherita.

Nel 1926 la Compagnia del Gesù riacquista gli edifici del Collegio, restaura la chiesa di S. Margherita e realizza nel 1931 l'ultimo corpo di fabbrica sul sito della casa Fonticola.

Il Collegio-convitto chiuse nel 1967 e nel 1979 i Gesuiti, che proseguirono le loro attività per lo più nel nuovo Convitto Universitario, da poco ultimato a valle di via Camponeschi, lasciarono il palazzo all'Università degli Studi dell'Aquila. Nel 1993 il palazzo divenne la sede della Facoltà di Lettere e Filosofia, fino al terremoto del 6 aprile del 2009, che danneggiò pesantemente l'edificio.

Fig. 57. Progetto di restauro post-sisma di Palazzo Camponeschi. Prospetto principale, pianta del piano seminterrato con ingresso su via Burri e sezioni longitudinale e trasversale.



Nel 2017, al termine dei lavori di restauro e di ricostruzione post-sisma, il Palazzo, oggi chiamato comunemente “Palazzo Camponeschi”, è divenuto la sede centrale del Rettorato dell’Università dell’Aquila.



L'edificio attuale dell'Aquilanum Collegium, insieme con la chiesa del Gesù, sono quindi in realtà due opere incomplete, prive di una compiuta connotazione tipologica e spaziale che, a causa della sovrapposizione di interventi che sono stati realizzati nell'arco di circa un secolo e mezzo, sono inoltre eterogenee nell'apparato decorativo e nei fronti<sup>7</sup>.

## 5.2 Il rilevamento architettonico del Palazzo



Come detto in precedenza la procedura HBIM è costituita da una fase iniziale di conoscenza critica, derivante dalle ricerche storiche e archivistiche e dal rilievo tridimensionale, fondamentali per la comprensione del bene e dei suoi valori e per il riconoscimento degli elementi architettonici che compongono l'edificio.

La prima fase della procedura ha riguardato, pertanto, lo studio del progetto esecutivo dei lavori di ripristino dei danni causati dal sisma del 6 aprile 2009 e il rilevamento architettonico del Palazzo, al fine di controllare e aggiornare gli elaborati di tale progetto. Il rilievo digitale è stato realizzato mediante l'utilizzo di strumenti differenti, integrati tra loro. In particolare, quindi, date la complessità e le dimensioni del palazzo, si è scelto di rilevare gli ambienti esterni e i principali ambienti interni, tra cui l'ingresso, i corridoi e la scala monumentale, con l'utilizzo del laser scanner, e di completare suddetto rilievo, rilevando tutti gli ambienti interni mancanti, mediante l'uso dello scanner mobile.

Gli strumenti utilizzati sono il laser scanner a differenza di fase Faro Focus S70, progettato per lavorare in un campo di distanza compreso tra 0,6 m e circa 70 m, e il laser scanner mobile portatile Leica BLK2GO con portata minima di 0,5 m e portata massima fino a circa 25 m, entrambi equipaggiati con delle camere integrate che hanno consentito di associare il colore RGB al dato metrico dei punti.

Ambedue i rilievi sono stati preceduti dalla messa a punto del progetto di presa, propedeutico all'acquisizione laser, realizzato tenendo

Fig. 58a, 58b, 58c.  
Foto di Palazzo Camponeschi durante i lavori di restauro realizzati a seguito del terremoto del 2009: consolidamento delle volte in mattoni con fibre di vetro.





in considerazione le caratteristiche spaziali e architettoniche del manufatto da rilevare, con lo scopo di ottimizzare i processi di scansione, di registrazione e gestione delle nuvole di punti risultanti. Per il rilevamento mediante il laser scanner in movimento, inoltre, tenendo presente che non sono stati utilizzati target, al fine di semplificare la registrazione delle scansioni e migliorare la robustezza della nuvola complessiva, riducendo quindi l'errore, si è posta particolare attenzione al progetto dei percorsi da rilevare, per assicurarsi di avere nuvole con punti di interconnessione tra i vari camminamenti e una percentuale di sovrapposizione tra le scansioni superiore al 20%.

Il fine dei progetti di presa è stato quello di ottenere delle nuvole finali omogenee con un grado di infittimento medio, realizzate riducendo al minimo le zone d'ombra e, allo stesso tempo, per quanto possibile, i tempi di scansione e le relative dimensioni, tenendo in considerazione anche la successiva necessità di unire le nuvole di punti derivanti dai due strumenti e gestire quindi la nuvola complessiva.

In totale, quindi, la fase di rilevamento laser scanner ha portato all'acquisizione di 55 punti di stazionamento con una risoluzione strumentale di 1/4, corrispondente ad una distanza tra i punti acquisiti di 6,1 mm a 10 m dallo strumento. Per gli ambienti esterni, caratterizzati

Fig. 59. Nuvola di punti di Palazzo Camponeschi da laser scanner. Viste del cortile interno, della scala monumentale e di un corridoio del piano seminterrato.



Fig. 60. Nuvola di punti di Palazzo Camponeschi da scanner mobile. Vista in pianta con indicazione dei setup e dei geotag aggiuntivi scattati durante la fase di rilevamento.

da una gamma di luminosità molto estesa e da un alto contrasto tra zone in penombra e zone di luce intensa, e per la scala monumentale, contraddistinta, inoltre, dal poco stacco cromatico dell'apparato decorativo, infine, è stata utilizzata la modalità High Dynamic Range (HDR) a due esposizioni, così da assicurare una buona resa del colore. Le operazioni di elaborazione e registrazione delle scansioni sono state eseguite all'interno del software Faro Scene. Le scansioni sono state raggruppate in sei cluster (uno per l'esterno, e cinque per l'interno). Tali cluster sono poi stati registrati, ove possibile, mediante l'utilizzo della registrazione automatica sulla base del riconoscimento dei target sferici. Alla fine della registrazione e dell'unione di tutte le scansioni registrate precedentemente è stata ottenuta una nuvola costituita da 1.998.903.869 punti.

La fase di rilevamento con laser scanner mobile portatile, invece, ha portato all'acquisizione di 13 setup e un totale di 22 geotag aggiuntivi, cioè immagini di maggiore qualità, scattate manualmente, e registrate georeferenziate in automatico all'interno della nuvola di punti. Le operazioni di elaborazione e registrazione delle scansioni in questo caso sono state eseguite all'interno del software Cyclone Register 360 e, alla fine della registrazione e dell'unione di tutte le





scansioni registrate precedentemente, è stata ottenuta una nuvola costituita da un totale di 91.843.992 punti. Le due nuvole sono infine state riunite dentro al software Faro Scene.

Ottenuta la nuvola di punti complessiva, si è proceduto all'analisi del Palazzo facendo passare dei piani di sezione, orizzontali e verticali nei punti più significativi, per ricontrrollare e analizzare i rilievi disponibili dal progetto esecutivo e procedere poi alla realizzazione del modello restitutivo HBIM.

Tale rilievo è stato poi integrato, per alcuni elementi caratteristici soggetti ad approfondimenti nella modellazione -quali ad esempio le aperture che affacciano sul prospetto principale di via Burri -, mediante l'utilizzo di tecniche Structure from Motion. In questo caso le immagini, acquisite con una fotocamera Nikon D610 (24 mm), sono state elaborate utilizzando il software Agisoft PhotoScan Professional 1.2.5 Build 2614, al fine di ottenere il modello numerico dell'elemento architettonico.

Dall'analisi di quest'ultimo sono state individuate, infine, le generatrici e le direttrici delle forme architettoniche, che sono state successivamente utilizzate per la realizzazione di nuove famiglie parametriche.

### 5.3 La modellazione geometrica

Nella definizione delle modalità e procedure per la modellazione del Palazzo oggetto di studio, le finalità della rappresentazione svolgono un ruolo fondamentale. Le strategie di modellazione, infatti, possono idealmente seguire due percorsi completamente differenti: ricondurre

Fig. 61. Palazzo Camponeschi, fotografie del fronte principale e del corridoio del piano terra.

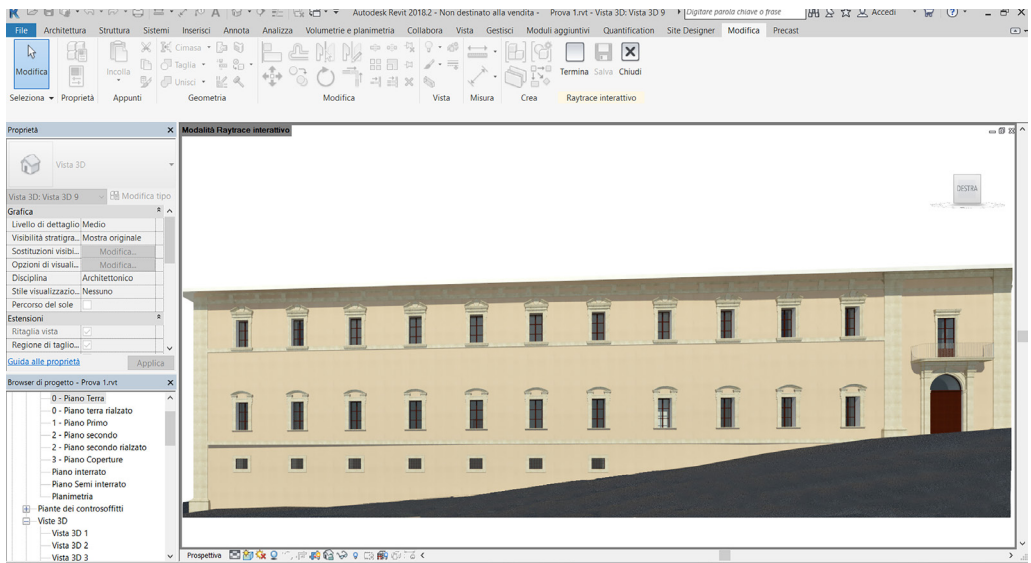


Fig. 62. Screenshot della facciata del Palazzo renderizzata.

gli elementi a degli oggetti tipizzati, perdendo le loro peculiarità in favore di elementi semplificati ma parametrizzati, e perciò riutilizzabili; modellare nel dettaglio tutte le caratteristiche che li contraddistinguono, riducendo però l'efficienza del modello HBIM<sup>8</sup>.

Oltre alle finalità, tale scelta dipende anche dalle caratteristiche degli elementi che, in seguito ad un'analisi critica, sono identificabili e suddivisibili in:

- elementi peculiari ma non unici, per i quali la semplificazione e parametrizzazione potrebbe essere giustificata, inoltre, dalla possibilità di riutilizzo degli oggetti modellati;
- in elementi unici, non riscontrabili in altri edifici, per i quali pertanto la parametrizzazione non è necessaria né fondamentale, e che, a prescindere dai fini, potrebbero quindi essere modellati in modo più dettagliato e speditivo all'esterno dell'ambiente BIM (oggetti NURBS e mesh), e successivamente importati all'interno di quest'ultimo.

Le alternative metodologiche specifiche per la modellazione sono pertanto molteplici e la scelta di un metodo a scapito di un altro dipende da molti fattori differenti (caratteristiche degli elementi, finalità del modello, livello di dettaglio che si intende raggiungere negli oggetti tridimensionali, e che si può raggiungere in funzione delle informazioni disponibili e della loro attendibilità, grado di parametrizzazione, ecc.<sup>9</sup>). Nel caso di Palazzo Camponeschi, con l'intento di testare appieno la procedura HBIM e di realizzare un modello documentale affidabile, che possa configurarsi come un vero e proprio progetto pilota utile, in futuro, per la gestione e la manutenzione del bene, si è scelto di realizzare quattro modelli disciplinari del caso di studio: un modello architettonico dettagliato, comprensivo di apparecchiatura costruttiva; un modello dell'impianto elettrico; un modello dell'im-



piano antincendio; un modello dell'impianto idraulico-sanitario. Si è posta quindi particolare attenzione alla corretta costruzione ed organizzazione dei modelli e delle informazioni, anche ai fini della futura implementazione e, a seconda dei modelli, dei fini e delle informazioni disponibili, sono stati definiti i livelli di sviluppo degli oggetti specifici per ogni disciplina. I quattro modelli sono poi stati collegati in un unico modello federato volto a garantire la completa compatibilità e coerenza tra gli stessi.

La sperimentazione è stata effettuata mediante l'utilizzo di Autodesk Revit. La scelta di questo software deriva dalla sua maturità, dalla sua diffusione, dalla sua disponibilità, dalle possibilità di integrazione con numerosi altri software e dal suo collegamento diretto con l'ambiente di programmazione visuale Autodesk Dynamo, che consente di ampliare le sue potenzialità fornendo l'accesso alle sue API (*Application Programming Interface*) in un modo più agevole.

Per quanto riguarda il modello architettonico, quindi, data la grande quantità di informazioni, fotografie e documenti disponibili, al fine di sperimentare e realizzare un modello documentale approfondito, comprensivo di apparecchiatura costruttiva, si è deciso di svilupparlo, per quanto possibile, con un livello di sviluppo elevato sia da un punto di vista geometrico che informativo. A seconda delle diverse tipologie di elementi e delle finalità, pertanto, sono state utilizzate diverse tecniche di modellazione.

Le aperture della facciata principale su via Burri, per esempio, sono state modellate mediante la creazione famiglie nidificate. Le aperture sul primo e sul secondo livello della facciata, infatti, sono entrambe costituite da finestre a due ante con infisso in legno e apertura strombata verso l'interno, ma sono caratterizzate, invece, da cornice, davanzale e timpano differenti. Queste tre componenti sono pertanto state modellate separatamente in modo parametrico e sono state condivise all'interno della famiglia principale della finestra (famiglia host), in cui sono state modellate, sempre in modo parametrico, l'apertura con la strombatura e l'infisso con il vetro. In questo modo la famiglia si configura quindi come una famiglia nidificata e le componenti condivise al suo interno sono intercambiabili.

Fig. 63. Apertura sul prospetto principale: nuvola di punti derivante dal rilievo SfM e famiglia parametrica modellata in Autodesk Revit.

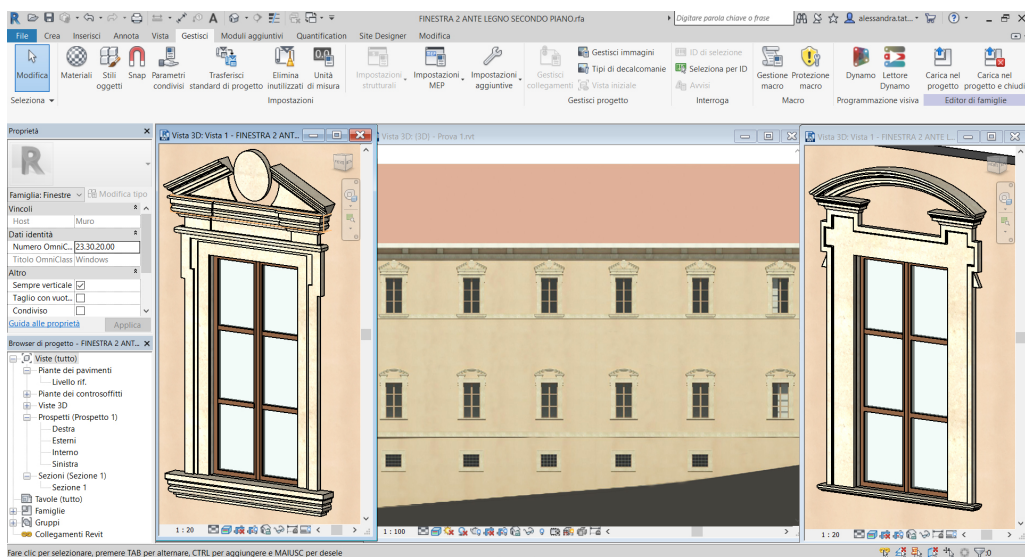


Fig. 64. Famiglie parametriche dei componenti architettonici. Finestre del piano terra e del primo piano.

Ogni elemento è stato modellato sulla base di un piano di riferimento specifico, utilizzato come vincolo per la modifica dei parametri dimensionali e per garantire la corretta parametrizzazione ed adattabilità delle componenti. I parametri hanno riguardato gli attributi materici, dimensionali e relazionali dei singoli elementi.

Per quanto riguarda gli aspetti dimensionali delle finestre, gli elementi sono stati parametrizzati sia in pianta che in alzato e tali parametri hanno riguardato: la larghezza, l'altezza e la profondità dell'apertura e della strombatura, la dimensione delle ante e dell'infisso, la posizione di quest'ultimo e dell'inizio della strombatura rispetto allo spessore del muro, lo spessore dell'infisso, e le posizioni di vincolo degli elementi decorativi esterni rispetto all'apertura e all'asse superficiale esterno. Questi ultimi, in particolare, sono stati necessari per garantire l'adattamento, anche degli elementi nidificati all'interno della stessa famiglia host, alle dimensioni delle aperture definite dai parametri.

Per quanto riguarda davanzali, cornici e timpani, invece, a partire dalle nuvole di punti e dalle immagini derivanti dal rilievo sono stati identificati i profili degli elementi, che sono poi stati utilizzati per modellare questi ultimi nelle famiglie corrispondenti, mediante l'utilizzo di strumenti di estrusione ed estrusione su percorso. La stessa procedura di modellazione è stata utilizzata sia per le aperture che affacciano sul cortile che per le porte interne del Palazzo. In particolare, per le porte posizionate al piano interrato, caratterizzate tutte dalla stessa tipologia di bucatura e di porta, ma da cornici uniche differenti l'una dall'altra, alle cornici nidificate all'interno delle famiglie è stato, inoltre, associato un parametro di visibilità al fine di incrementare l'adattabilità della famiglia stessa.

In questo modo, la stessa famiglia è stata utilizzata per tutte le porte interne con le stesse caratteristiche: per le porte con le cornici, è poi

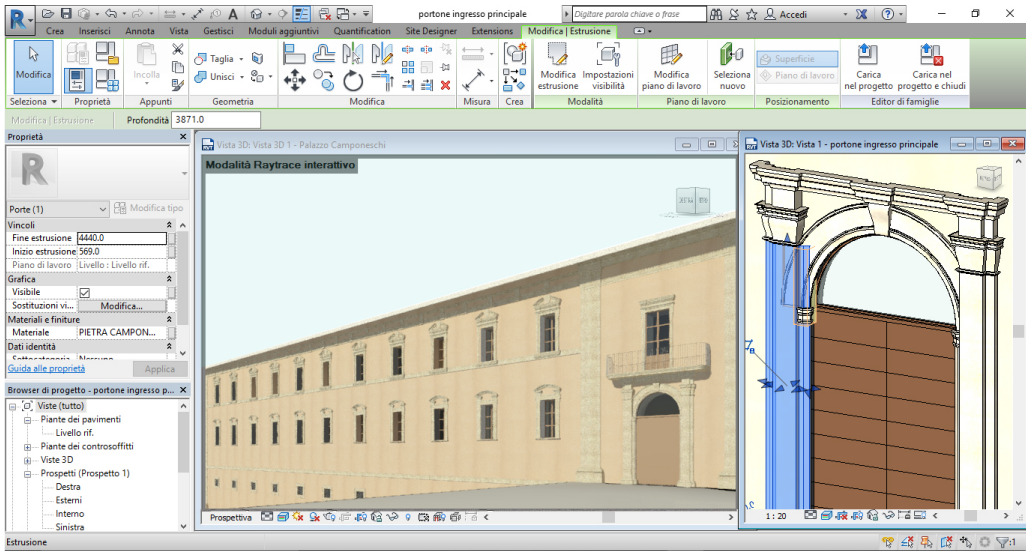


Fig. 65. Palazzo Camponeschi, Modello HBIM realizzato con il software Autodesk Revit e famiglia parametrica del portale dell'ingresso principale.

stata attivata la visualizzazione dell'apparato decorativo ed è stata applicata, per ogni caso, la cornice specifica, mentre, per le porte senza cornice, quest'ultima è stata spenta.

Tutti i parametri creati per parametrizzare le famiglie, inoltre, sono stati suddivisi in parametri di tipo, caratteristici di quello specifico tipo di famiglia, e parametri di istanza<sup>10</sup>, specifici di ogni singolo elemento di quel determinato tipo presente all'interno del file di progetto. Questa distinzione ha consentito di implementare l'adattabilità di tali famiglie, permettendo di ridurre il numero di tipi di elementi presenti all'interno dei file, alleggerendoli e facilitando i flussi informativi.

L'utilizzo delle famiglie nidificate permette di avere a disposizione una vera e propria libreria di elementi modellati in famiglie separate che possono, in caso di necessità, essere utilizzate separatamente, oppure combinate insieme per creare nuovi elementi (come in questo caso specifico), accrescendo la loro adattabilità. I vantaggi derivanti dal loro utilizzo, pertanto, risiedono nella riduzione del numero di famiglie caricate all'interno dei file di progetto a sostegno di un'agevolazione nella gestione degli stessi.

Il caso degli orizzontamenti voltati parametrici è invece il più complesso in quanto le volte, a differenza di solai e coperture, non sono previste tra le famiglie degli attuali software BIM<sup>11</sup>, che pertanto non consentono una corretta semantizzazione delle stesse, che infatti devono essere modellate all'interno di altre famiglie quali, per esempio, solai, pareti, oppure modelli generici. All'assenza di una famiglia specifica apposita, si aggiungono le criticità derivanti dalla complessità di tali elementi cui conseguono numerose problematiche in fase di modellazione, in particolar modo aggravate da una possibile volontà di parametrizzazione, di restituzione con un LoD

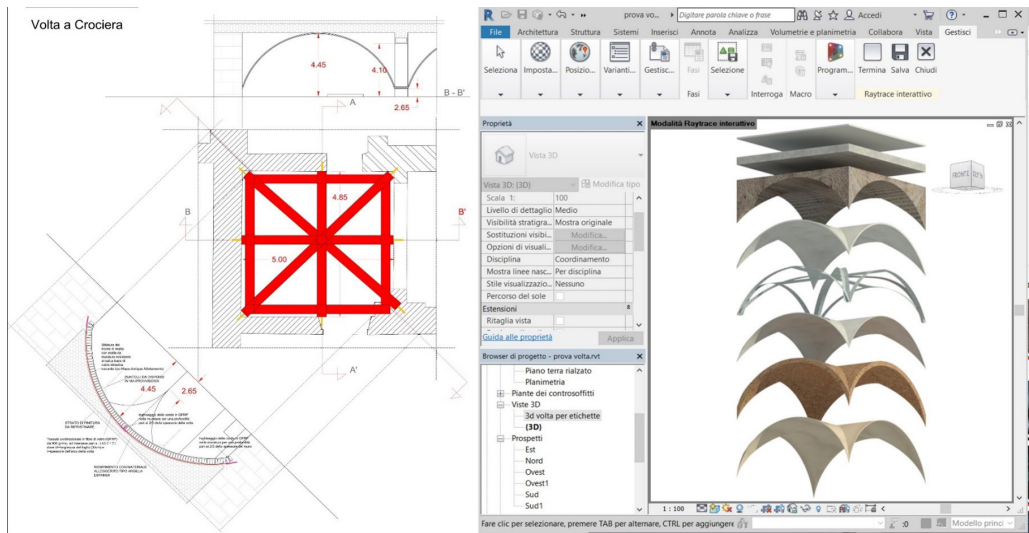


Fig. 66. Volte a crociera di Palazzo Camponeschi. Intervento di rafforzamento derivante dal progetto esecutivo di lavori di ripristino post sisma e modello BIM esploso.

elevato, specialmente se comprensivo anche dell'apparecchiatura costruttiva, di riconoscimento della valenza strutturale.

In questo specifico caso, al fine di comprendere anche l'apparecchiatura costruttiva e creare una famiglia stratificata, completamente parametrica, con contenuto informativo condivisibile e riutilizzabile, per la modellazione delle volte si è scelto di fare ricorso alla creazione di famiglie metriche adattive all'interno delle quali possono essere modellati e parametrizzati la geometria complessiva delle volte e di tutti gli strati in esse presenti.

La volta creata in questo modo è adattabile in pianta alla forma di qualsiasi ambiente, più o meno regolare, attraverso la parametrizzazione su quattro punti, ed è modificabile verticalmente attraverso la creazione e l'utilizzo di parametri, regole matematiche e relazioni tra i diversi strati modellati. Per poter essere "correttamente" semantizzate, infine, queste famiglie sono state classificate come volte tramite la creazione di un parametro apposito che consente di poter isolare ed interrogare le sole informazioni riguardanti le volte. La modellazione mediante l'utilizzo di una famiglia esterna ai file di progetto consente di riutilizzare la stessa in più progetti, modificandola ed adattandola alle specifiche esigenze grazie alla parametrizzazione.

Con i modelli impiantistici, invece, ci si è scontrati con le difficoltà derivanti da un'assenza di conoscenza, più o meno dettagliata, riguardo, soprattutto, alle componenti e ai cablaggi non visibili, alle loro caratteristiche e posizione. Nel caso degli edifici storici, infatti, la conoscenza parziale ed eterogenea è amplificata per gli impianti e, più in generale, per tutto ciò che è al di là delle superfici. Tale criticità non viene colmata dall'eventuale disponibilità di progetti. Nella progettazione tradizionale, infatti, il progetto degli impianti è perlopiù costituito da schemi contenenti le caratteristiche dell'impianto e delle sue componenti e,



Fig. 67. Render del cortile di Palazzo Camponeschi.

a grandi linee, l'indicazione della loro posizione. Queste caratteristiche sono ancora più evidenti nei progetti elettrici, costituiti normalmente da veri e propri schemi indicativi della tipologia di impianto, non descrittivi però della reale posizione delle tracce, né in pianta, né in alzato<sup>12</sup>.

A questo bisogna aggiungere che durante l'esecuzione dei lavori, in funzione dell'incremento di conoscenza dell'edificio - derivante da prove e indagini effettuate in sito - spesso parte di tali progetti viene modificata (per esempio spostando la posizione degli impianti all'interno dei muri a causa di problemi di interferenza non prevedibili in fase progettuale) e, proprio perché questi ultimi sono rappresentati da schemi, in seguito a queste modifiche spesso non vengono redatti dei nuovi elaborati aggiornati. L'aggiornamento per la predisposizione degli As-Built, infatti, spesso consiste semplicemente in un controllo delle caratteristiche e

Fig. 68. Palazzo Camponeschi. Render del corridoio del piano seminterrato con volta a botte con lunette.

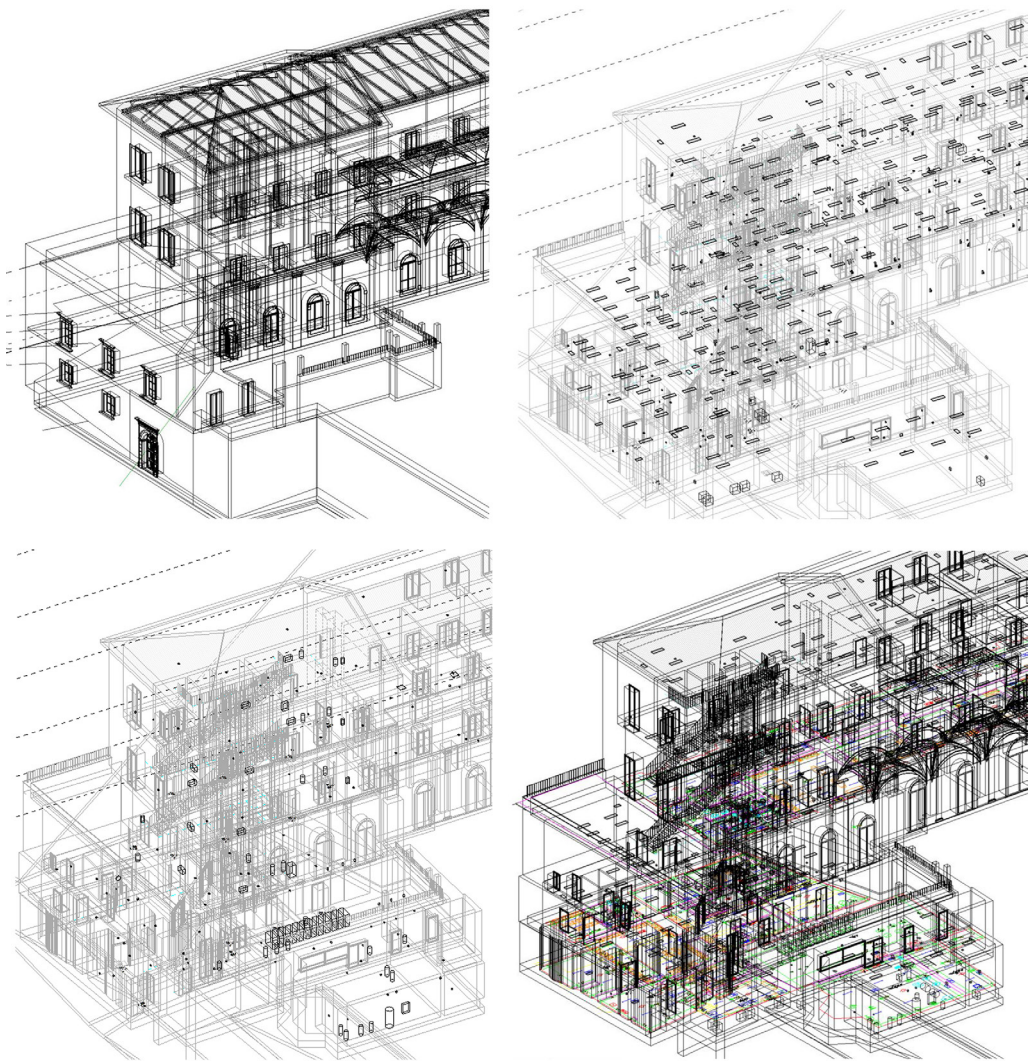


della posizione dei terminali degli impianti. Per cui a posteriori non è possibile, a meno di prove e indagini più o meno invasive, conoscere la posizione, la tipologia e la “quantità” di impianti passanti all’interno di muri, soffitti e pavimenti. Queste criticità sono amplificate negli edifici storici che sono stati soggetti, numerose volte negli anni, a interventi manutentivi, modifiche, adeguamenti e aggiornamenti.

Tali tematiche, nonostante i recenti massivi interventi di ripristino e la presenza e disponibilità dei relativi progetti esecutivi e dei successivi as-built, sono valide anche per Palazzo Camponeschi.

Al fine di ottenere dei modelli informativi affidabili, interrogabili e utilizzabili in fase di gestione dell’edificio, pertanto, da un punto di vista operativo, si è scelto di modellare solo gli elementi visibili (prese elettriche, interruttori, condizionatori o ventilconvettori, lampade, sprinkler, idranti, pulsanti antincendio, porte REI tagliafuoco,





estintori, apparecchi sanitari, ecc.), tralasciando tutte le componenti impiantistiche nascoste, che per essere modellate avrebbero dovuto essere ipotizzate, e che avrebbero portato ad avere dei modelli meno utilizzabili perché meno affidabili.

I modelli costruiti in questo modo, benché lacunosi, sono interrogabili e consentono di conoscere le caratteristiche e lo stato degli impianti, e saranno implementabili in futuro, in caso di indagini, modifiche, o interventi impiantistici, che potranno quindi condurre a un incremento della conoscenza e alla creazione di uno storico delle manutenzioni. Le componenti principali degli impianti risultano, in questo modo, computabili e interrogabili, e le informazioni estratte dai modelli completamente affidabili.

Fig. 69. Modelli disciplinari HBIM di Palazzo Camponeschi. In alto il modello architettonico e il modello dell'impianto elettrico. In basso il modello dell'impianto antincendio e il modello federato.

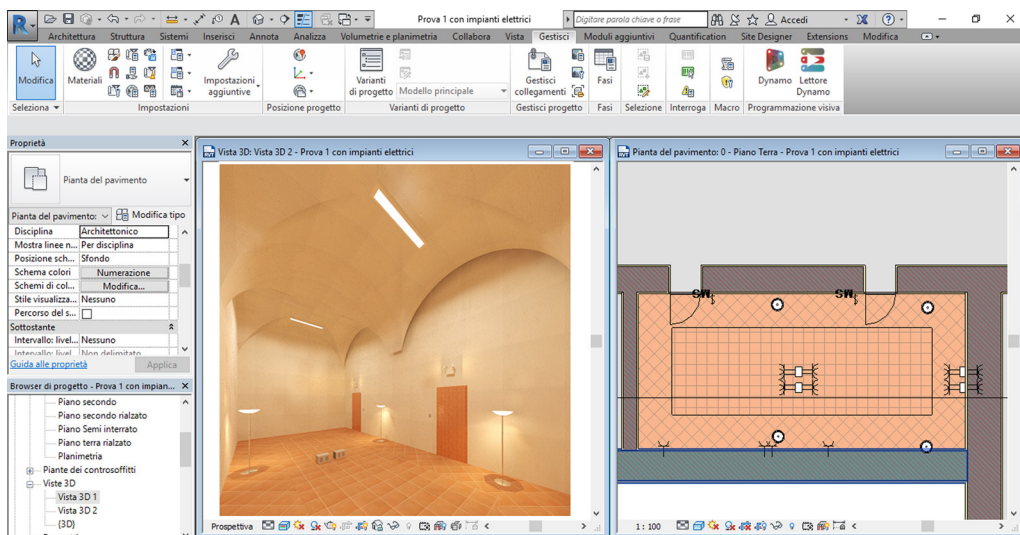


Fig. 70. Modello HBIM di Palazzo Camponeschi, locale al piano seminterrato. Render interno e pianta con indicati gli impianti elettrici e le diverse tipologie di muratura.

Le componenti non censibili tramite rilievo diretto sono state inserite, da un punto di vista informativo, tramite il collegamento ai modelli BIM delle informazioni riguardanti gli impianti nel loro complesso, gli schemi e di disegni progettuali in formato pdf e dwg. Tale integrazione è stata realizzata mediante l'ampliamento del database BIM, creato con l'utilizzo della programmazione visuale. Per le finalità documentali e manutentive, infine, le componenti impiantistiche modellate sono state restituite con un livello di sviluppo geometrico generico (LoG B – corrispondente alle sole geometrie di ingombro) e con un livello di sviluppo informativo molto avanzato, pari al LOI eseguito/aggiornato (LOI F/G). I modelli disciplinari sono poi stati collegati all'interno di un file di coordinamento, in modo da avere un modello multidisciplinare complesso con database ampliato e dedicato interrogabile.

## 5.4 L'arricchimento informativo dei modelli

L'informatizzazione dei modelli e l'ampliamento del database sono stati realizzati sulla base di quanto definito nei capitoli precedenti. Con il fine di standardizzare il processo e predisporre uno strumento utile per creare una base di dati facilmente accessibile ed interrogabile, implementabile, condivisibile e riutilizzabile in futuro su nuovi casi studio, è stato creato un file di parametri condivisi, esterno ai file di Revit, organizzato in gruppi tematici (certificazioni, degrado, rilievo, interventi passati, interventi manutentivi, ecc.), in cui sono stati creati i parametri aggiuntivi al database BIM, necessari per la conoscere e documentare i manufatti, il loro stato di fatto e gli interventi da essi subiti in precedenza.

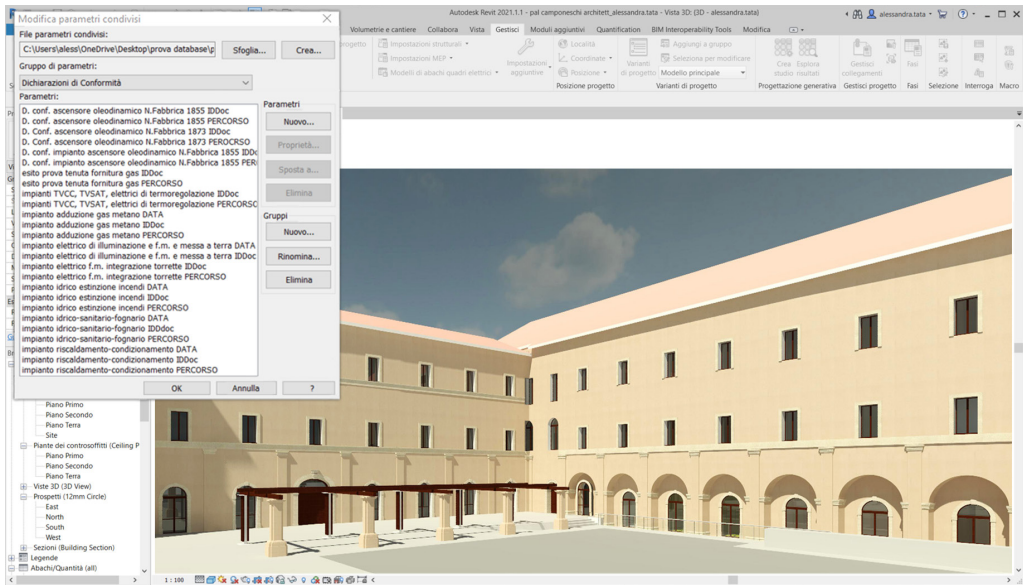


Fig. 71. Modello HBIM di Palazzo Camponeschi: visualizzazione renderizzata del cortile interno e finestra dei parametri condivisi, suddiviso in gruppi tematici, per l'ampliamento del database e la realizzazione del fascicolo del fabbricato.

All'interno di questo file, raggruppati per tematica, sono stati creati e predisposti sia parametri comuni a tutte le discipline (ubicazione, destinazione d'uso, dati catastali, ecc), che parametri specifici disciplinari (certificazioni, titoli edilizi, progetti esistenti, ecc.). I parametri creati sono stati suddivisi in generali, inerenti all'intero manufatto, e specifici, legati cioè agli oggetti tridimensionali (quali, ad esempio, i parametri di degrado e manutenzione), e sono stati caratterizzati per nomenclatura, tipologia e proprietà (parametri di testo, numero, URL, ecc., parametri interni o esterni alle famiglie, parametri di istanza o di tipo)<sup>13</sup>.

Il file di parametri condivisi è stato poi caricato nei vari modelli e, a seconda della disciplina, è stato utilizzato per estrarre i parametri necessari e caricarli direttamente nei file di progetto, evitando, in questo modo, di doverli creare interamente ogni volta, con l'alta probabilità di creare parametri differenti per nome o caratteristica, e ridurre le opportunità, se possibile, di automatizzazione della compilazione di alcuni parametri.

Per quanto riguarda il modello architettonico, oltre alle informazioni prettamente inerenti alla gestione e manutenzione, l'ampliamento ha riguardato anche l'inserimento delle informazioni storiche aggiuntive (LoH), che non trovano posto negli attuali database BIM (come mappe storiche, fotografie storiche, documenti d'archivio, informazioni relative all'apparecchiatura costruttiva, ecc.).

Tale parte dell'ampliamento è stata realizzata mediante l'utilizzo della programmazione visuale.

I parametri storici sono quindi stati creati all'interno dello stesso file di parametri condivisi, organizzati in un gruppo chiamato "informazioni

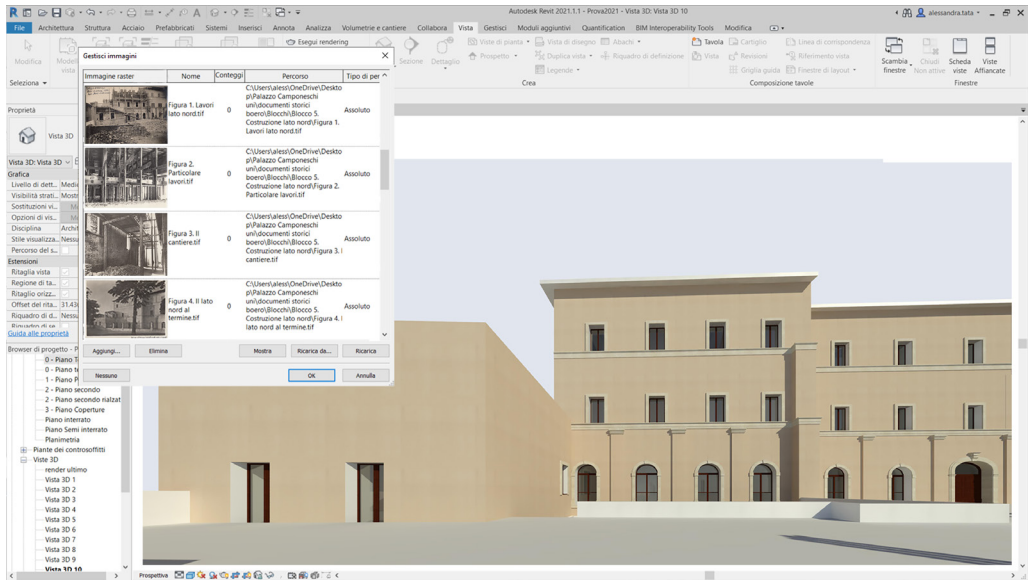
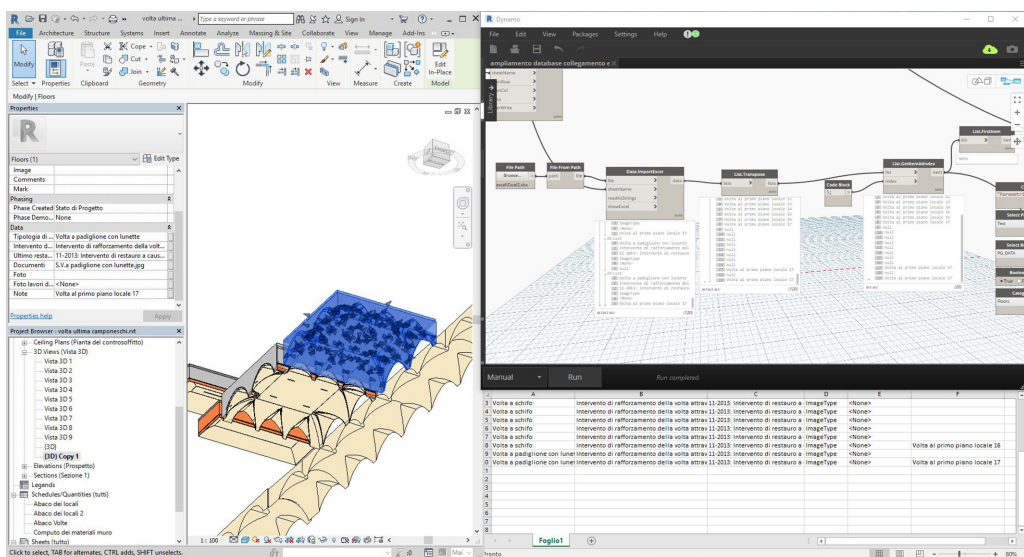


Fig. 72. Modello HBIM con la visualizzazione dei documenti e delle immagini storiche attraverso l'uso del LoH.

storiche”, caricati all’interno del modello architettonico, e successivamente compilati all’interno di Dynamo tramite l’uso del nodo `Element.SetParameterByName`. Nel caso di dati relativi a elementi specifici, i parametri sono stati compilati selezionando gli oggetti a cui assegnare le informazioni direttamente dal modello BIM, utilizzando il nodo `Select Model Element` o `Select Model Elements`. Il collegamento diretto con il modello consente di aggiornare contemporaneamente quest’ultimo e visualizzare quanto programmato direttamente in ambiente BIM. Inoltre, a seconda delle esigenze, è possibile manipolare ed interrogare i dati direttamente, all’interno dell’ambiente di progettazione computazionale. L’utilizzo della programmazione visuale in particolare può facilitare la compilazione dei parametri, specialmente nel caso di attributi ripetuti, mediante la messa a punto di algoritmi che consentano la compilazione semi-automatica degli stessi<sup>14</sup>. Nel caso della documentazione delle volte, per esempio, mediante l’impiego di specifici nodi è stata creata la scheda “interventi passati” all’interno del file di parametri condivisi realizzato in precedenza, e sono stati creati al suo interno i parametri: Tipologia di volta, Intervento di consolidamento subito, Data, Documenti e Foto durante i lavori. Tali parametri sono poi stati caricati all’interno del modello HBIM architettonico e applicati alle volte. Queste ultime sono state selezionate, sempre all’interno di Dynamo, e sono stati creati gli algoritmi per la compilazione dei parametri (Fig. 48). Con il fine di automatizzare parte di questa procedura è stato fondamentale organizzare precedentemente le volte, all’interno del file Revit, rinominandole in base alla loro tipologia (volta a botte, volta a crociera, ecc.).



Per quanto riguarda la compilazione dei parametri Tipologia di volta e Documenti esecutivi dei lavori di consolidamento, infatti, è stato creato un algoritmo che permettesse il riconoscimento del tipo di volta a partire dal nome dell'oggetto e, in seguito, la compilazione del parametro con dati specifici.

L'algoritmo per la compilazione del parametro Tipologia di volta è stato definito secondo la logica condizionale: IF nome dell'oggetto = "volta a" + tipo di volta THEN la compilazione del parametro deve essere uguale a "volta a tipo di volta".

Analogamente, per l'inserimento dei documenti esecutivi dei lavori di consolidamento eseguiti sulle volte, specifici per ogni tipologia di volta, la programmazione è stata: IF nome dell'oggetto = "volta a" + tipo di volta THEN il parametro deve essere compilato con il documento specifico dei lavori effettuati su quella tipologia di volta. Una volta predisposto l'algoritmo, la compilazione di tali parametri è avvenuta in modo automatico per tutte le volte presenti all'interno del file di progetto<sup>15</sup>.

Il vantaggio relativo all'utilizzo della programmazione visuale, in caso di parametri ripetuti, è la rapidità di compilazione e l'aggiornamento automatico a cascata in caso di una modifica nel numero o nella tipologia delle volte. Il collegamento diretto e bidirezionale tra l'ambiente BIM (in questo caso Revit) e quello di programmazione visuale (Dynamo), consente inoltre di visualizzare e modificare questi attributi in entrambi gli ambienti.

Per quanto riguarda l'arricchimento informativo dei modelli ai fini conoscitivi e gestionali, invece, per non appesantire eccessivamente i file, rendendo difficoltosa la gestione e l'interrogazione dei modelli, si è preferito realizzare un'informatizzazione ibrida degli stessi: cioè di

Fig. 73. Aggiornamento delle informazioni nell'elemento BIM a seguito delle modifiche in Excel.

Informazioni progetto

Famiglia: Famiglia di sistema: Informazioni sul progetto Carica...

Tipo: Modifica tipo...

Parametri istanza: controllano le istanze selezionate o quelle da creare

Parametro	Valore
<b>Dati identità</b>	
Nome edificio	Palazzo Camponeschi
Codice univoco fabbricato	PALCAM001
codice univoco modello	PALCAM001_MB_IA_AB_AG010-25.03.2022
Ubicazione	Via Camponeschi, 19, 67100 L'Aquila AQ
Ubicazione mappa	<a href="https://www.google.com/maps/place/Palazzo+Camponeschi,+19,+67100+L'Aquila+AQ">https://www.google.com/maps/place/Palazzo+Camponeschi,+19,+67100+L'Aquila+AQ</a>
destinazione d'uso prevalente	sede centrale del Rettorato, della Direzione generale
Fase di progetto	As-Built
<b>Analisi energetica</b>	
Impostazioni energetiche	Modifica...
<b>Generale</b>	
Rilevi	C:\Users\alest\OneDrive-UnivAq\Camponeschi\Docu
Presenza rilievo impianto	<input checked="" type="checkbox"/>
Descrizione del rilievo	Rilevato post-sisma per la messa a punto del progetto
Data del rilievo	Ottobre 2010
<b>Dati</b>	
Numero di piani	3 fuori terra + 1 interrato
Committente	Università degli Studi dell'Aquila
Progettista	
Stato del modello	Aggiornato
Data ultimo aggiornamento	25/03/2022
Disciplina del modello	Impianto antincendio
Presenza manuale d'uso	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza scale di sicurezza	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza evacuatori di fumo in copertura	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza rilevatori di fumo automatici	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza pulsanti di allarme	<input checked="" type="checkbox"/>
Conformità degli impianti	<input checked="" type="checkbox"/>
Presenza di certificato prevenzione incendi (CPI)	<input checked="" type="checkbox"/>
Data rilascio CPI	10/01/2017
Data scadenza CPI	10/01/2027

OK Annulla

Fig. 74. Fascicolo del fabbricato digitale. Scheda con i parametri generali del modello antincendio del Palazzo.

inserire alcune informazioni all'interno dei modelli (quali ad esempio quelle dimensionali, materiche, generiche sul manufatto, ecc.) e di tenerne all'esterno altre, quali ad esempio le informazioni manutentive. Per queste ultime, in particolare, prevedendo il loro aggiornamento durante la fase di utilizzo del bene e un conseguente rapido incremento nella quantità di informazioni che potrebbe causare delle criticità nella gestione dei modelli, si è scelto di ampliare il database BIM mediante il collegamento con dei file Excel esterni. I parametri sono in questo modo associati agli oggetti tridimensionali e sono collegati al file esterno in cui sono compilati. Questo consente di ottenere uno storico degli interventi effettuati e degli interventi programmati, in cui le informazioni possono essere aggiornate, senza perdere però quelle precedenti. Anche in questo caso il collegamento diretto tra i tre ambienti (Revit-Dynamo-Excel) permette la modifica e l'aggiornamento delle informazioni in uno qualsiasi dei tre programmi e, contestualmente, vedere i dati aggiornati all'interno degli altri due. Nell'aggiornamento del collegamento, inoltre, è possibile scegliere quali parametri reimportare all'interno del modello BIM, e quali invece tenere all'esterno, cioè in ambiente Excel. Questo consente, per esempio, di creare e caricare all'interno del modello i parametri manutentivi, e, in caso si decida di avere un modello aggiornato da un punto di vista generale, di compilare tali parametri importando, tramite la sincronizzazione con i fogli Excel, all'interno del modello BIM solo le informazioni inerenti agli ultimi aggiornamenti. In aggiunta, l'ampliamento realizzato in questo modo ha il van-

Numero locale	Nome locale	Livello	Famiglia	Numero	Descrizione	Data ultimo controllo	Data controllo futuro
<b>Estintore C02</b>							
		Piano Terra	Estintore C02	3	Estintore a polvere 6kg con capacità estin		
8	Corridoio	Piano Secondo	Estintore C02	2	Estintore a polvere 6kg con capacità estin	20/02/2022	20/02/2025
13	Segreteria Rettore	Piano Terra	Estintore C02	1	Estintore a polvere 6kg con capacità estin	20/02/2022	20/02/2025
15	Corridoio	Piano Terra	Estintore C02	1	Estintore a polvere 6kg con capacità estin	05/10/2020	05/10/2023
16	Corridoio	Piano Terra	Estintore C02	1	Estintore a polvere 6kg con capacità estin	20/02/2022	20/02/2025
17	Scale ala nord	Piano Terra	Estintore C02	1	Estintore a polvere 6kg con capacità estin	05/10/2020	05/10/2023
18	Corridoio	Piano Terra	Estintore C02	1	Estintore a polvere 6kg con capacità estin	20/02/2022	05/10/2023
<b>Punto vetro frangibile</b>							
		Piano Secondo	Punto vetro frangibile	2	Punto di chiamata con vetro a rottura per i		
9	Uffici	Piano Terra	Punto vetro frangibile	1	Punto di chiamata con vetro a rottura per i	16/03/2021	16/03/2024
11	bagni	Piano Terra	Punto vetro frangibile	1	Punto di chiamata con vetro a rottura per i	16/03/2021	16/03/2024
15	Corridoio	Piano Terra	Punto vetro frangibile	1	Punto di chiamata con vetro a rottura per i	05/10/2020	05/10/2023
18	Corridoio	Piano Terra	Punto vetro frangibile	1	Punto di chiamata con vetro a rottura per i	05/10/2020	05/10/2023
<b>Rilevatore - Fumo e calore</b>							
1	Uffici	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè	20/02/2022	20/02/2025
2	Uffici	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè	20/02/2022	20/02/2025
3	Uffici	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè	20/02/2022	20/02/2025
4	Sala riunioni	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
5	Uffici	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè	05/10/2020	05/10/2023
6	Uffici	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè	05/10/2020	05/10/2023
7	Ufficio Prorettore	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
8	Corridoio	3 - Piano Coperture	Rilevatore - Fumo e calore	4	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
9	Uffici	Piano Terra	Rilevatore - Fumo e calore	2	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
10	bagni	Piano Terra	Rilevatore - Fumo e calore	2	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
11	bagni	Piano Terra	Rilevatore - Fumo e calore	2	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
12	Sala riunioni	Piano Terra	Rilevatore - Fumo e calore	2	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
13	Segreteria Rettore	Piano Terra	Rilevatore - Fumo e calore	2	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
14	Ufficio Rettore	Piano Terra	Rilevatore - Fumo e calore	1	Rilevatore multicriterio con uscita a relè		
<b>Idrante UNI 45</b>							
8	Corridoio	Piano Secondo		4	Idrante in cassetta a vista a parete compl		
16	Corridoio	Piano Terra	Idrante UNI 45	2	Idrante in cassetta a vista a parete compl		
18	Corridoio	Piano Terra	Idrante UNI 45	2	Idrante in cassetta a vista a parete compl		

taggio di poter essere condiviso con chi di competenza che può visualizzare, interrogare e aggiornare i dati, anche senza alcuna conoscenza dei software BIM.

#### 5.4 Il caso applicativo e possibili sviluppi futuri

Il capitolo tratta lo studio del caso studio scelto e la realizzazione di modelli sperimentali HBIM disciplinari (architettonico e impiantistici) documentali, per la conoscenza, la gestione e la manutenzione, anche programmata, del bene.

Nello sviluppo del caso studio si è cercato di considerare le varie questioni poste dall'HBIM, con il fine di verificare i limiti di applicazione degli attuali software esistenti per l'edificato storico e di testare le soluzioni proposte nei capitoli precedenti al fine di superare alcune delle criticità emerse.

Il modello HBIM va inteso come un sistema informativo semanticamente strutturato, contenente tutte le informazioni necessarie alla documentazione e alla conoscenza di un'architettura storica che, attraverso opportune visualizzazioni, può consentire interrogazioni tematiche del database. L'organizzazione di quest'ultimo e delle informazioni in esso collegate diventano quindi un aspetto prioritario nell'ambito della realizzazione di modelli BIM per l'edificato storico. Per applicare il processo BIM al patrimonio architettonico, infatti,

Fig. 75. Fascicolo del fabbricato digitale. Estratto della scheda con i parametri degli oggetti tridimensionali del modello antincendio del Palazzo.

è necessario ampliare le banche dati oggi disponibili, mantenendole, allo stesso tempo, connesse al modello tridimensionale. Diviene quindi di primaria importanza l'identificazione di una struttura ontologica delle varie parti dell'edificio storico, al fine di individuare le relazioni semantiche che legano e relazionano tra loro gli elementi tridimensionali e le informazioni a loro connesse. Tale scomposizione e analisi è fondamentale per consentire la corretta strutturazione delle informazioni all'interno dei database, necessaria per consentire e facilitare l'interrogazione, la manipolazione e l'utilizzo delle informazioni inserite al loro interno.

Il caso studio è stato trattato come un caso pilota per futuri riutilizzi ed implementazioni. L'ampliamento del database è stato quindi realizzato mediante la creazione di un file di parametri condivisi esterno ai file di progetto, che può pertanto costituirsi come una vera e propria base di conoscenza generale, implementabile e adattabile ai fini specifici. Tale file può essere caricato in più progetti e dal quale possono essere estratti, di volta in volta, parametri differenti, consentendo in questo modo di ridurre i tempi di preparazione dell'ampliamento del database.

L'espansione del database e la compilazione dei dati sono stati realizzati tramite l'utilizzo di strumenti di programmazione visuale che hanno consentito di ampliare le potenzialità dei software BIM, facilitando i processi di compilazione dei parametri, soprattutto se ripetitivi, manipolazione dei dati e condivisione delle informazioni. L'utilizzo della VPL ha permesso l'inserimento nel sistema BIM di quei dati necessari alla documentazione del caso studio non previsti nell'attuale strutturazione del database, consentendo, di fatto, il suo ampliamento in modo strutturato ed organizzato. Nonostante la sperimentazione sia stata effettuata operativamente per la documentazione di uno specifico caso studio con determinate caratteristiche, questa procedura può essere generalizzata, ampliata, ripetuta e adattata, in base ai fini e alle necessità del manufatto preso in esame (attraverso, ad esempio, la creazione di nuovi parametri relativi alla realizzazione, alle trasformazioni e ricostruzioni subite nel tempo, alla datazione, ecc.).

Nella sperimentazione effettuata, per le specifiche esigenze e finalità, e in funzione della documentazione disponibile, si è scelto di realizzare parte dell'ampliamento del database mediante il collegamento diretto del modello a fogli di calcolo Excel. Questi ultimi, però, sono capaci di gestire una quantità di informazioni limitata, in modo non strutturato. Per uno sviluppo ulteriore della procedura e in particolare per la realizzazione di un database completo, in grado di organizzare e gestire in modo strutturato e coordinato tutte le informazioni e la documentazione previsti ai fini del fascicolo, garantendo l'accesso ai dati e la loro interrogazione, potrebbe essere opportuno implementare il database BIM mediante il collegamento con un database relazionale esterno, quale ad esempio quello SQL. Il database relazionale è connesso in modo bidirezionale con il modello BIM e consente di accedere ai dati visualizzandone la rappresentazione logica in forma tabellare e di creare un ambiente interoperabile e condiviso, accessibile anche al personale tecnico che non ha dimestichezza con i softwa-



re BIM. In questo modo, quest'ultimo può, mediante la scrittura di query strutturate e flessibili, accedere, interrogare, manipolare e aggiornare i dati, visualizzandoli in maniera differente a seconda delle finalità e delle necessità, in modo da poter prendere delle decisioni più consapevoli sugli interventi da programmare o effettuare.

In particolare, l'SQL può essere fondamentale nel caso di progetti complessi, costituiti da più modelli disciplinari collegati tra loro, in quanto consente di visualizzare, confrontare e manipolare i dati di tabelle appartenenti a uno o più database<sup>17</sup>. Anche in questo caso è possibile decidere quali dati reimportare nel modello BIM durante le sincronizzazioni e quali, invece, tenere all'esterno. Inoltre, prevedendo che il personale tecnico possa avere bisogno di nuovi campi dati, che però non necessitano di essere contenuti all'interno dell'ambiente BIM, è possibile creare nuove tabelle e nuovi attributi direttamente all'interno del database SQL, in modo strutturato, mediante la scrittura delle relazioni gerarchiche. Questi ultimi, nella sincronizzazione del database esterno con il modello BIM, non saranno considerati e saranno mantenuti pertanto al suo esterno.

Il passaggio finale potrebbe essere quello di creare delle chiavi di accesso che consentano di strutturare un meccanismo di controllo organizzato per livelli di autorizzazione, in modo tale da fornire a ciascuna classe di utenti, gli opportuni privilegi per garantire l'accesso, o la modifica e l'implementazione, solo alle informazioni di interesse, in base al ruolo e alle competenze. Includendo i modelli BIM all'interno di un sistema di gestione informativa più ampia, condiviso tramite cloud, infine, possono essere utilizzati per segnalare guasti e nuovi interventi di manutenzione, e arricchire l'apparato informativo, creando un vero e proprio storico degli interventi effettuati in passato, oltre che un programma degli interventi futuri.

## Note

1. N. A. MEGAHED, *Towards a theoretical framework for HBIM approach in historic preservation and management*, in «ARCHNET-IJAR INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL RESEARCH», vol.9, issue 3, 2015, pp. 130-147; K. KENSEK, (2015). *BIM Guidelines Inform Facilities Management Databases: A Case Study over Time*. in «Buildings», MDPI, 5, 2015, pp. 899-916; S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *Building Information Modelling per la gestione e manutenzione di "L'Aquila - Smart Tunnel"*. In *3D Modeling & BIM Nuove frontiere*, a cura di T. Emler, G. M. Valenti, Roma, Dei Tipografia del Genio Civile S.r.l, 2018, pp. 272-283; L. YU-CHENG, J. SHUH, S. YU-CHIC, (2019). *Construction Database-Supported and BIM-Based Interface Communication and Management: A Pilot Project*, in *Advances in Civil Engineering*, Hindawi.
2. La città dell'Aquila è stata suddivisa nel 1272 in quattro quartieri a opera di Lucchesino da Firenze, con una divisione simile a quella delle città toscane. La particolarità dei quarti della città è che non si limitano alla suddivisione intra moenia, ma si estendono anche al di fuori delle mura storiche.

- I nomi storici dei quartieri dell'Aquila derivano dai santi ai quali furono dedicate le chiese capo-quarto, ciascuna delle quali collegata ad un castello: la chiesa di San Pietro per il castello di Coppito; quella di Santa Maria per Paganica; quella Santa Giusta (l'antica chiesa di San Giorgio) per Bazzano; quella di San Marciano (l'ex San Giovanni) per Lucoli.
3. Nella Biblioteca Nazionale di Parigi sono conservati 6 disegni di progetto, per i quali è disponibile anche la relazione illustrativa.
  4. M. CENTOFANTI, *Il progetto infinito e l'architettura interrotta: Chiesa e Collegio del Gesù all'Aquila*, in *Cultura*, università, collegi gesuitici all'inizio dell'età moderna in Italia meridionale, a cura di F. Iappelli, U. Parente, (L'Aquila, 8-11 novembre 1995), Roma, Istitutum Historicum S.I., 2000, pp. 643-665.
  5. Tracce artistiche mostrano ancora oggi i segni della presenza della famiglia Spaventa nel Palazzo: tra cui lo stemma che domina la volta dello scalone monumentale, e la corona scolpita in rilievo che sormonta una delle finestre del palazzo (Boero, 2019).
  6. M. CENTOFANTI, *Il palazzo di Margherita d'Austria all'Aquila e l'immagine della città*. In *Margherita d'Austria, 1522-1586 costruzioni politiche e diplomazia, tra corte Farnese e monarchia spagnola*, a cura di S. Mantini, Roma, Bulzoni, 2003, pp. 1-26).
  7. Singolare è il fatto che l'*Aquilanum Collegium* è chiamato comunemente Palazzo Camponeschi, quando in realtà la famiglia Camponeschi, che rappresenta la prima famiglia che iniziò la costruzione del Palazzo nel XVI secolo per ospitare il Collegio del Gesù, non vi ha mai abitato ufficialmente, e anzi, ne ha mantenuto la proprietà solo per breve tempo prima di perderlo per ingenti debiti. La famiglia prese possesso del Palazzo (le allora case Camponeschi) nel 1483 e nel 1494, a causa di ingenti debiti contratti con la Repubblica di Venezia, lo perse. La proprietà delle case Camponeschi passò alla Camera aquilana, che pagò la somma dovuta alla Serenissima e ne acquisì la proprietà. È proprio dalla famiglia Camponeschi, che il Palazzo della Camera prende impropriamente il suo nome. In merito a questo si cita: M. CENTOFANTI, *Il progetto infinito e l'architettura interrotta: Chiesa e Collegio del Gesù all'Aquila*, in *Cultura*, università, collegi gesuitici all'inizio dell'età moderna in Italia meridionale, a cura di F. Iappelli, U. Parente, (L'Aquila, 8-11 novembre 1995), Roma, Istitutum Historicum S.I., 2000, pp. 643-665.
  8. A questo riguardo si veda il paragrafo 3.2 "La procedura HBIM".
  9. *Ibidem*.
  10. Mentre la modifica di un parametro di tipo provoca una modifica in tutti gli elementi di quel tipo presenti all'interno del file di progetto, i parametri di istanza sono legati al singolo oggetto di quel tipo. La modifica di un parametro di istanza pertanto altera solo l'elemento su cui è stata effettuata quella modifica e non si ripercuote anche sugli altri elementi dello stesso tipo presenti nel file.
  11. Ad oggi è in fase di implementazione il software Edificius dell'ACCA che nell'ultimo aggiornamento dovrebbe presentare all'interno delle librerie una sezione "Heritage BIM" contenente dei blocchi tridimensionali per la modellazione delle volte.

12. La difficoltà è derivante dall'incremento delle informazioni nel passaggio dagli elaborati bidimensionali ai modelli tridimensionali, e, in particolare, nel passaggio da degli schemi bidimensionali generici a dei progetti dettagliati sviluppati tridimensionalmente che richiedono pertanto in incremento nella quantità delle informazioni necessarie per lo sviluppo del progetto.
13. A. TATA, C. CAPANNOLO, S. BRUSAPORCI, P. DE BERARDINIS, *The Digital Building Dossier.*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», Volume 10, 2022.
14. S. BRUSAPORCI, P. MAIEZZA, A. TATA, *VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS*, in «Dn Building Information Modeling, Data & Semantics», 5, 2020, pp. 6-16.
15. In questo caso è stato possibile programmare un algoritmo di compilazione semiautomatica dei parametri perché il progetto esecutivo per quanto riguarda le volte prevedeva interventi differenziati in funzione della loro tipologia, e non specifici per ogni singola volta.
16. I. J. PALOMAR, J. L. GARCÍA VALLDECABRES, P. TZORTZOPOULÓS, E. PELLICER, *An online platform to unify and synchronise heritage architecture information*, in «Automation in Construction», 110, 2020, pp. 1-17; W. SOLIHIN, C. EASTMAN, L. YONG-CHEOL, Y. DONG-HOON, *A simplified relational database schema for transformation of BIM data into a query-efficient and spatially enabled database*, in «Automation in Construction», 84, 2017, pp. 367-383.



## 6. Conclusioni

L'HBIM nasce per finalità diverse rispetto a quelle al centro della presente riflessione teorico metodologica sulla sua applicazione ai beni architettonici. La ricerca dottorale ha avuto come fine quello di mettere a punto, definire e testare nuove procedure per la modellazione HBIM del patrimonio costruito a partire da acquisizioni massive di punti e dalla fase di rilievo e conoscenza, esplorando i limiti, le criticità e le potenzialità derivanti dall'utilizzo di tale metodologia. Partendo dal presupposto che la procedura HBIM non può considerarsi una semplice estensione di quella BIM all'edificato storico, ma si fonda su un diverso approccio, riferito in primo luogo a un processo di conoscenza, si pongono come centrali le istanze storiche e architettoniche poste dalla natura dei manufatti.

Mettendo in evidenza il ruolo critico dei modelli tridimensionali, intesi come modelli interpretativi volti a descrivere le caratteristiche e i valori architettonici, storici e costruttivi dei beni oggetto di esame, l'HBIM, nonostante le difficoltà derivanti dal suo utilizzo, grazie alla sua capacità di raccogliere e gestire, in maniera dematerializzata e organizzata, tutte le informazioni riguardanti il bene all'interno di un unico ambiente, rappresenta uno strumento prezioso per la documentazione, lo studio, l'analisi, la progettazione e la comunicazione di tali aspetti. L'edificato storico, infatti, è caratterizzato da processi artigianali, che unitamente ai complessi eventi di stratificazione e trasformazione e ai fenomeni di degrado, deformazione e danno subiti nel tempo, rendono il manufatto un unicum difficilmente riconducibile ai processi standardizzati caratteristici del BIM. Nella realizzazione dei modelli HBIM è dunque necessaria una specifica riflessione riguardante, da un lato, la tipizzazione e parametrizzazione degli elementi, legata a una possibilità di riutilizzo degli stessi e a un incremento dell'efficienza dei modelli, dall'altro, il rispetto delle caratteristiche e peculiarità dei componenti, mediante il raggiungimento di un maggior dettaglio e una maggiore aderenza degli stessi alla realtà.

Agli aspetti geometrici si aggiungono quelli informativi legati alla conoscenza e alla rappresentazione dell'architettura storica, che includono una documentazione molto vasta, costituita da informazioni non pienamente considerate nelle procedure BIM, consolidate per i nuovi edifici. Tali informazioni sono riferite a fonti non omogenee, che portano, il più delle volte, a una conoscenza lacunosa e varia, anche al termine del processo di conoscenza. Lo studio di tali tematiche ha condotto alla sperimentazione di procedure per

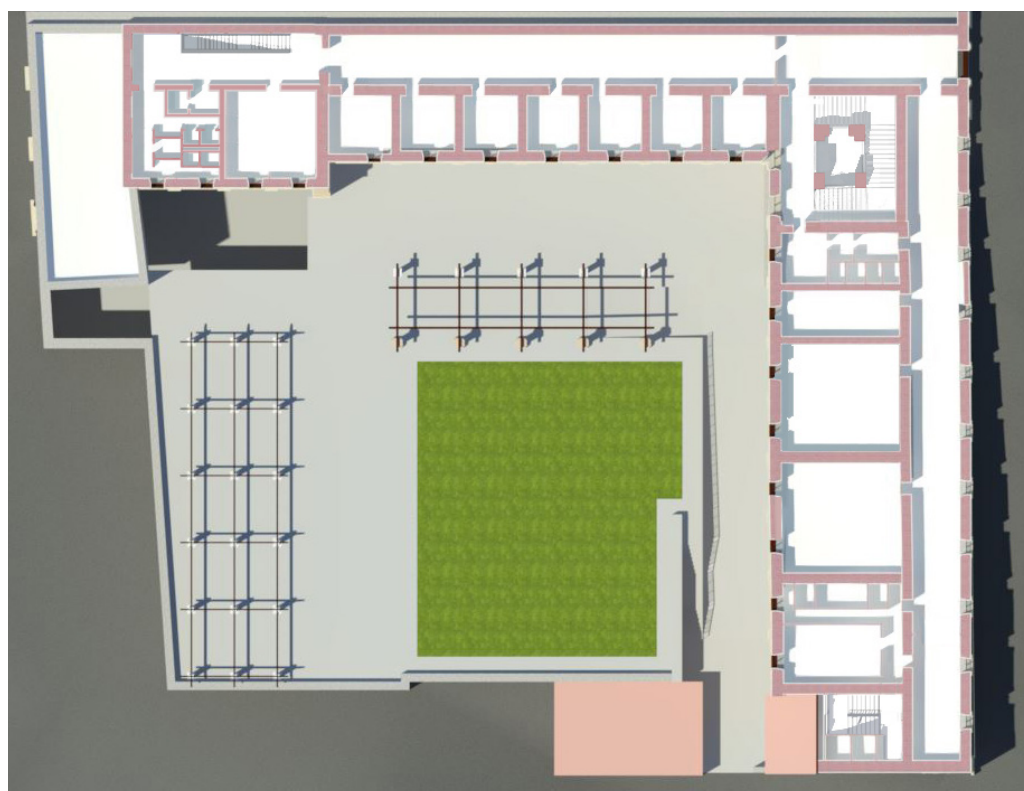
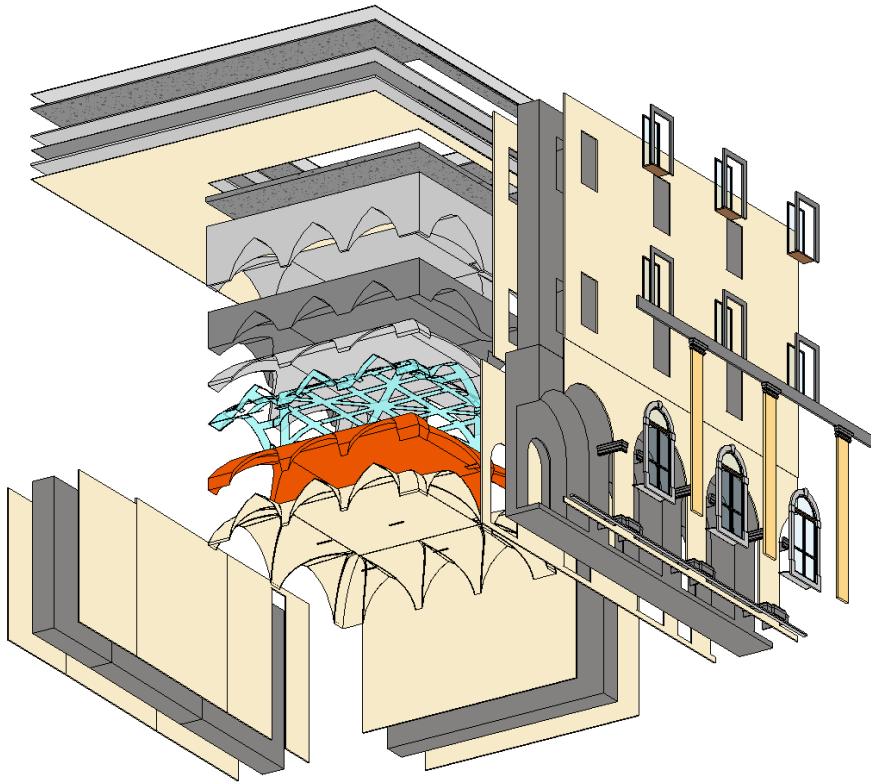


Fig. 76. Palazzo Camponeschi, modello BIM. Vista della pianta del piano terra con ingresso su via Camponeschi.

la modellazione di geometrie peculiari e complesse, caratteristiche dell'edificato storico, a partire dai dati derivanti dai rilievi massivi, e alla definizione di linee guida per la strutturazione di un database ampliato dedicato alla documentazione del costruito storico, realizzato tramite collegamento a database esterni, al fine di includere dati che non trovano posto nei database BIM attuali (quali, ad esempio, i dati relativi alla storia delle trasformazioni del bene).

Ponendo in evidenza le differenze con il BIM, sono quindi state realizzate due proposte operative: la prima, inerente all'introduzione di un nuovo livello di sviluppo informativo, il LoH "Level of History", finalizzato all'inserimento all'interno dell'ambiente BIM delle informazioni storiche; la seconda riguardante l'introduzione di uno standard per la trasparenza e la valutazione dell'affidabilità dei modelli HBIM. In particolare, il LoH è un livello di sviluppo specifico dell'edificato storico, contenente tutte le informazioni non computabili e relative a quegli aspetti che hanno contribuito alla formazione dell'attuale configurazione del manufatto, non previste nei software BIM. Poiché le informazioni riguardanti la conoscenza storica di un elemento architettonico possono essere più o meno esaustive, il LoH proposto è costituito da tre livelli: alto, per una conoscenza esaustiva; medio, per una conoscenza parziale; basso, per un'assenza di conoscenza.



Tale livello non sostituisce il LoG e il LoI, ma si affianca a questi ultimi e diventa una parte costitutiva del LoD, al fine di concorrere a una compiuta definizione del manufatto storico.

La particolare natura dei manufatti, caratterizzati dall'unicità e dalla complessità che li contraddistingue, ribadisce, inoltre, l'importanza della trasparenza, e la conseguente necessità di dichiarare le fonti che hanno sostanziato il modello e il livello di affidabilità dei vari elementi che lo costituiscono, al fine di documentare la fase di costruzione dello stesso e garantirne l'affidabilità. Con tale scopo sono quindi stati messi a punto e proposti degli standard per la valutazione delle reliabilities geometrica e informative. Il modello HBIM, infatti, è caratterizzato dalla coesistenza di entrambi questi aspetti e per tale motivo non può non tenere conto anche delle caratteristiche storiche, materiche, costruttive, inerenti al degrado, ecc. Ognuno di questi aspetti è esito di un processo di studio critico, derivante da fonti eterogenee, dirette e indirette, per ciascuna delle quali è opportuno indicare un livello interpretativo delle informazioni desunte rispetto ai dati disponibili. Per tale motivo gli standard proposti sono stati due: uno per la valutazione dell'affidabilità geometrica, che esprime l'accuratezza del modello tridimensionale tramite il confronto con l'oggetto reale, ed è valutato mediante la misura della deviazione tra i

Fig. 77. Palazzo Camponeschi, L'Aquila: screenshot del modello HBIM realizzato con il software Autodesk Revit.

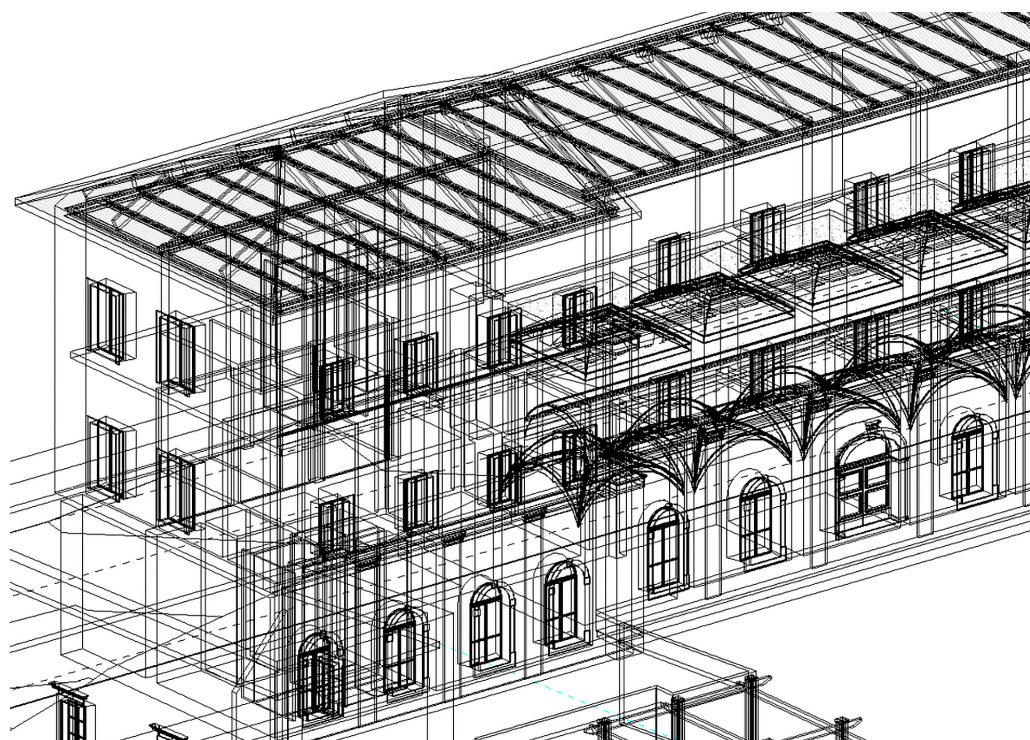


Fig. 78. Vista wireframe del modello HBIM di Palazzo Camponeschi.

due; uno per quelle informative, relativo ai contenuti non geometrici del modello, suddiviso in più sub-reliabilities, una per ogni tematica affrontata, tra cui una specifica per l'affidabilità delle informazioni storiche (legato al LoH). Entrambi gli standard prevedono che l'affidabilità sia valutata sulla base di tre livelli (bassa, media e alta). Mentre l'affidabilità geometrica, però, è valutata in funzione del solo livello di sviluppo geometrico (LoG) dell'oggetto tridimensionale, quelle informative dipendono sia dal livello di sviluppo informativo (LoI o LoH), che dalle fonti su cui è basata la modellazione.

La ricerca ha quindi dato luogo alla realizzazione di un modello HBIM complesso e multidisciplinare del caso studio, con database ampliato e strutturato, realizzato mediante la sperimentazione e la validazione delle procedure, delle best practices e degli standard definiti precedentemente. Nella creazione di tale modello sono state approfondite le tematiche riguardanti la modellazione di elementi tipici dell'architettura storica, comprensivi dell'apparecchiatura costruttiva, a partire dai dati derivanti dal rilievo, e la documentazione strutturata mediante l'ampliamento del database BIM. Quest'ultima è stata realizzata anche attraverso l'utilizzo di strumenti di programmazione visuale che hanno consentito di superare alcuni dei limiti dei software BIM, aprendo definitivamente la procedura ad applicazioni consapevoli e consentendo la creazione di modelli



HBIM dinamici, interrogabili ed implementabili, utili non solo per la conoscenza e la documentazione, ma anche per la gestione, la valorizzazione e la salvaguardia dei manufatti architettonici.

I risultati conseguiti vanno a inserirsi in un quadro più ampio di sperimentazioni condotte sul tema della rappresentazione, comunicazione e valorizzazione dei beni architettonici, e, in particolare, sul tema del BIM per il costruito.

Nonostante il crescente utilizzo di questa metodologia, derivante dalle numerose potenzialità provenienti dal suo impiego, e dalla maturità delle normative e dei software BIM, la sua applicazione al costruito storico, infatti, presenta ancora oggi numerose criticità da affrontare e superare affinché anche per l'esistente si riescano a sfruttare pienamente le indiscusse potenzialità di un approccio BIM nei campi della documentazione, conservazione e restauro architettonico. La procedura HBIM risulta essere, pertanto, un ambito di ricerca tuttora aperto, caratterizzato da molteplici aspetti, carichi di implicazioni di carattere teorico metodologico, riguardanti tematiche differenti e allo stesso tempo legate tra loro.

Ai fini della valorizzazione e comunicazione dei valori dei beni architettonici, infatti, in linea con le direttive e i movimenti internazionali e nazionali, volte ad incentivare la digitalizzazione del patrimonio storico per la protezione e la salvaguardia dello stesso<sup>1</sup>, in aggiunta alle linee di ricerca citate e approfondite nel testo, si inseriscono le sperimentazioni relative all'integrazione del BIM con le piattaforme cloud-based e con gli applicativi di *Virtual Reality* (VR) e *Augmented Reality* (AR). Molti studi, infatti, si stanno concentrando sulle opportunità fornite da queste integrazioni, per la visualizzazione e l'interrogazione dei manufatti, in sito o da remoto, assolvendo in questo modo, oltre ai fini di gestione e *facility management*<sup>2</sup>, anche a propositi di studio e di fruizione di manufatti lontani, inaccessibili, andati distrutti nel tempo, o nelle loro conformazioni precedenti, anche nel loro contesto attuale<sup>3</sup>.

La possibilità di accedere ai modelli e alle informazioni, sia in sito che da remoto, mediante l'utilizzo di queste tecnologie, infatti, amplifica i benefici offerti dal processo BIM, consentendo, inoltre, da un punto di vista strettamente operativo, di condividere le informazioni anche all'interno del team, garantendo un maggior controllo e qualità del progetto di restauro e manutenzione.

## Note

1. Tra i numerosi documenti ufficiali riguardanti tale tematica si citano: COMMISSIONE EUROPEA, (2011). *RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE del 27 ottobre 2011 sulla digitalizzazione e l'accessibilità in rete dei materiali culturali e sulla conservazione digitale (2011/711/UE)*. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea L 283/39 del 29/10/2011; COMMISSIONE EUROPEA, (2021). *RACCOMANDAZIONE (UE) 2021/1970 DELLA COMMISSIONE del 10 novembre 2021 relativa a uno spazio comune europeo di dati per il*

- patrimonio culturale*. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea L 401/5 del 12/11/2021; P. BRUNET, L. DE LUCA, E. HYVÖNEN, A. JOFFRES, P. PLASSMEYER, M. PRONK, R. SCOPIGNO, G. SONKOLY, *Report on a European collaborative cloud for cultural heritage : ex – ante impact assessment*. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, in «Publications Office of the European Union», 2022, pp. 70-93.
2. F. FASSI, C. ACHILLE, A. MANDELLI, F. RECHICHI, S. PARRI, *A New Idea of BIM System for Visualization, Web Sharing and Using Huge Complex 3D Models for Facility Management*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL-5/W4, 2015, pp. 359-366.
  3. F. BANFI, R. BRUMANA, C. STANGA, *Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-bim process to virtual and augmented reality*, in «Virtual Archaeology Review», 10 (21), 2019, pp. 14-30; L. BARAZZETTI, F. BANFI, R. BRUMANA, D. ORENI, M. PREVITALI, F. RONCORONI, *HBIM and augmented information: towards a wider user community of image and range-based reconstructions*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL-5/W7, 2015, pp. 35-42; M. DI BENEDETTO, F. PONCHIO, L. MALOMO, M. CALLIERI, M. DELLEPIANE, P. CIGNONI, R. SCOPIGNO, *Web and Mobile Visualization for Cultural Heritage*, in *3D Research Challenges in Cultural Heritage*, a cura di M. Ioannides, Berlin, Springer-Verlag, 2014, pp. 18-35; S. BRUSAPORCI, A. LUIGINI, S. VATTANO P. MAIEZZA, A. TATA, *AHBIM for Wooden Built Heritage Conservation*, in *Digital Wood Design. Innovative Techniques of Representation in Architectural Design Lecture Notes In Civil Engineering*, a cura di F. Bianconi M. Filippucci, vol. 24, Springer International Publishing, 2019, pp. 533-546.

## Bibliografia generale

AAVV (1981). *Il recupero dei vecchi centri. Gli aspetti teorici. I modi d'intervento*. Atti del Convegno Internazionale di Studi, Udine 22-24 maggio 1981. Udine: Università degli Studi di Udine.

ACCA Software, (2020). *IFC-Open BIM, l'importanza del formato aperto dei dati nella progettazione*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/25717-ifc-open-bim-limportanza-del-formato-aperto-dei-dati-nella-progettazione> [26 novembre 2021].

Acierno, M., Corsi, S., Simeone, D., & Fiorani, D. (2017). Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. *Journal of Cultural Heritage*, 24, 124-133.

AIA, Document G202 (2013). *Project Building Information Modeling Protocol Form*. Disponibile in: <https://content.aia.org/sites/default/files/2016-09/AIA-G202-2013-Free-Sample-Preview.pdf> [21 dicembre 2021].

Amoruso, G., & Manti, A., (2016). A BIM for the identity of historic urban landscapes. Integrated applications of survey for the Certosa di Bologna architectural heritage. *DISEGNARECON, Vol 16*, 17.1-17.7.

Amoruso, G., & Mironenko, P. (2021). The Representation of a Resilient City: The Case of Amatrice's Reconstruction. In F. F. Arefian, J. Ryser, A. Hopkins, & J. Mackee (A cura di), *Historic Cities in the Face of Disasters* (pp.543-558). Springer International Publishing.

Amoruso, G., Sdegno, A., & Manti, A. (2018). Surveying and 3D Modelling of the Andrea Palladio's Teatro Olimpico in Vicenza. First Studies on Geometric Analysis and Perspectives. In Marcos, C. L. (A cura di), *Graphic imprints. The influence of Representation and Ideation Tools in Architecture*. Springer International Publishing.

Anafyo Sagl (2015). *Il BIM in Italia: un quadro della situazione. BIM Report 2015*. Disponibile in: [https://www.impresedilines.it/files/2016/12/Italian\\_Bim\\_Report\\_2015\\_Anafyo\\_TecnicheNuove.pdf](https://www.impresedilines.it/files/2016/12/Italian_Bim_Report_2015_Anafyo_TecnicheNuove.pdf) [21 dicembre 2021].

ANCE/CRESME (2012). *Primo Rapporto. LO STATO DEL TERRITORIO ITALIANO 2012. Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*. Disponibile in: [https://www.camera.it/temiap/temi16/CRESME\\_rischiosismico.pdf](https://www.camera.it/temiap/temi16/CRESME_rischiosismico.pdf) [26 dicembre 2021].

Apollonio F., Gaiani M., & Sun, Z. (2012). BIM-based modelling and data enrichment of classical architectural buildings. *SCIRES-IT*, 2 (2), 41-62.

Apollonio, F. I., Gaiani, M., & Zheng, S. (2013). Characterization of Uncertainty and Approximation in Digital Reconstruction of CH Artifacts. In A. Cardaci, A. Versaci, & L. Fauzia (A cura di), *Heritage Architecture Landesign focus on Conservation Regeneration Innovation. Le vie dei Mercanti XI Forum Internazionale di Studi* (pp. 860-869). Napoli: La Scuola di Pitagora.

Apollonio, F. I., Giovannini, E. C. (2015). A paradata documentation methodology for the uncertainty visualization in digital reconstruction of CH Artifacts. *SCIRES-IT, vol. 5, Issue 1*, 1-24.

Apollonio, F., Gaiani, M., & Sun, Z. (2017). A reality integrated BIM for architectural heritage conservation. In A. Ippolito (A cura di), *Handbook of*

*research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage* (pp. 31-65). Hershey: IGI Global.

AssoBIM - Associazione BIM italiana (2018a). *La prima analisi sull'evoluzione del BIM in Italia*. Disponibile in: <https://www.assobim.it/download/407/> [18 giugno 2019].

AssoBIM - Associazione BIM italiana (2018b). *Il Building Information Modeling e l'innovazione digitale delle costruzioni*. Disponibile in: [http://www.contecingegneria.it/media/wp-content/uploads/2021/07/BIM\\_Assobim\\_stampa\\_Cotec\\_Ingegneria\\_165x240.pdf](http://www.contecingegneria.it/media/wp-content/uploads/2021/07/BIM_Assobim_stampa_Cotec_Ingegneria_165x240.pdf) [7 giugno 2019].

AssoBIM - Associazione BIM italiana (2019). *LOD e gradi di dettaglio nella progettazione BIM*. Disponibile in: <https://www.01building.it/bim/lod-progettazione-bim/> [26 novembre 2021].

AssoBIM - Associazione BIM italiana (2020). *BIM Report 2020: l'analisi sul mercato del Building Information Modeling in Italia*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/29037-bim-report-2020-lanalisi-sul-mercato-del-building-information-modeling-in-italia-a-cura-di-assobim> [26 novembre 2021].

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks and challenges for the AEC industry. *ASCE Journal of Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.

Bagnolo, V., Argiolas, R., & Cuccu, A. (2019). Digital survey and algorithmic modeling in HBIM. Towards a library of complex construction elements. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W12, 25-31.

Baik, A., Alitany, A., Boehm, J., & Robson, S. (2014). Jeddah Historical Building Information Modelling "JHBIM" - Object Library. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5, 41-47.

Baik, A., Yaagoubi, R., & Boehm, J. (2015). Integration of Jeddah historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40 (5/W7), 29-34.

Balzani, M., Ferrari, L., & Raco, F. (2021). *eBIM: Existing Building Information Modeling per edifici esistenti*. Rimini: Maggioli editore.

Banfi, F. (2019). HBIM Generation: Extending Geometric Primitives and BIM Modelling Tools for Heritage Structures and Complex Vaulted Systems. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 139-148.

Banfi, F., Brumana, R., & Stanga, C. (2019). Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-bim process to virtual and augmented reality. *Virtual Archaeology Review*, 10 (21), 14-30.

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Oreni, D., Previtali, M., & Roncoroni F. (2015). HBIM and augmented information: towards a wider user community of image and range-based reconstructions. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W7, 35-42.

Bedrick, J. (2008). *Organizing the Development of a Building Information Model*. Disponibile in: <http://m.aecpe.com/08-08-20%20MPS.pdf> [21 dicembre 2021].

Bedrick, J. (2013). *The Model Development Specification (MDS) A Language and Process for Defining Building Information Model Milestones and Deliverables*. Disponibile in: <http://aecpe.com/Model%20Development%20Specification.pdf> [21 dicembre 2021].

Bertocci, S., & Bini, M. (2012). *Manuale di rilievo architettonico e urbano*. Novara: Città Studi.

Bianchini, C. (2014a). Survey, Modeling, Interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system. *SCIREŚ-IT*, 4 (1), 15-24.

Bianchini, C. (2014b). Rilievo 2.0: nuove tecnologie, nuovi strumenti, nuovi rilevatori?. In Giandebiaggi, P., Venizzi, C. (A cura di), *Italian survey & International Experience*. Roma: Gangemi Editore.

Bianchini, C., Ippolito, A., Bartolomei, C. (2014). The surveying and representation process applied to architecture: non-contact methods for the documentation of cultural heritage. In Brusaporci, S. (A cura di), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*. Hershey, PA: IGI Global.

Bianchini, C., Inglese, C., Ippolito, A., Maiorino, D., & Senatore, L. J. (2017). Building Information Modeling (BIM): Great Misunderstanding or Potential Opportunities for the Design Disciplines? In A. Ippolito, & M. Cigola (A cura di), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling* (pp. 67-90). Hershey: IGI Global.

Bianchini, C., & Nicastro, S. (2018). La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM. *3D Modeling & BIM Nuove frontiere* (pp. 208-225). Roma: Tipografia del genio civile.

BIM Forum (2013). *Level of Development Specification*. Disponibile in: [https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum\\_LOD\\_2013\\_reprint.pdf](https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2013_reprint.pdf) [21 dicembre 2021].

BIM Forum (2020). *Level of Development (LOD) Specification Part I & commentary*. Disponibile in: <https://bimforum.org/resources/Documents/LOD%20Spec%202020%20Part%20I%202020-12-31.pdf> [27 novembre 2021].

Boero, S. (2019). Editoria aumentata e Storia: il Palazzo Camponeschi all'Aquila. In E. Ballaira, A. Cantaluppi, M. Di Macco, & B. A. Raviola (A cura di), *Summer school «Ripensare il barocco (secoli XVII e XVIII)»: nuove prospettive storico-critiche. Programma di alti studi sull'età e la cultura del barocco* (pp. 21-22). Torino: Fondazione 1563 per l'Arte e la Cultura della Compagnia di San Paolo.

Bolpagni, M. (2016). *The Many Faces of 'LOD'*. Disponibile in: <http://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html> [26 settembre 2017].

Bolpagni, M., & Ciribini, A. (2016). The Information Modeling and the Progression of Data-Driven Projects. In *CIB World Building Congress 2016: Intelligent Built Environment for Life, Vol. 3* (pp. 296-307). Finland: Tampere.

- Bolpagni, M. (2021). *Nuova norma UNI EN 17412-1: dai LOD al Livello di Fabbisogno Informativo*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/29519-nuova-norma-uni-en-17412-1-dai-lod-al-livello-di-fabbisogno-informativo> [26 novembre 2021].
- Borra, D. (2004). Sulla verità del modello 3D. Un metodo per comunicare la validità dell'anastilosi virtuale. In Malinverni, E.S. (Ed.), *Proceeding of eArcom04 Tecnologie per comunicare l'architettura*. Ancona: CLUA, pp. 132-137.
- Borrmann, A., Beetz, J., Koch, C., Liebich, T., & Muhic, S. (2018). Industry Foundation Classes: A standardized data model for the vendor-neutral exchange of digital building models. In Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (A cura di), *Building information modelling* (pp. 81-126). Cham: Springer.
- Bortoluzzi, B., Efremov, I., Medina, C., Sobieraj, D., & McArthur, J.J. (2019). Automating the creation of building information models for existing buildings. *Automation in Construction*, 105.
- Bourg, H. (2019). *Tutto sulla ISO 19650, pt. 1: Concetti e Principi*. Disponibile in: <https://blog.archicad.it/bim/tutto-sulla-iso-19650-concetti-e-principi> [27 novembre 2021].
- Bourg, H. (2020). *Le relazioni nel formato IFC*. Disponibile in: <https://blog.archicad.it/bim/le-relazioni-nel-formato-ifc-focus> [26 novembre 2021].
- British Standard Institution*. Disponibile in: <https://www.bsigroup.com/> [27 novembre 2021].
- Brandi, C. (1963). *Teoria del restauro*. Roma.
- Brumana, R., Della Torre, S., Previtali, M., Barazzetti, L., Cantini, L., Orni, D., & Banfi, F. (2018). Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention-the Basilica di Collemaggio (L'Aquila). *Appl. Geomat.*, 10, 545-567.
- Brumana, R., Banfi, F., Cantini, L., Previtali, M., & Della Torre, S. (2019). HBIM Level of Detail-Geometry-Accuracy and Survey analysis for architectural preservation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, 293-299.
- Brunet, P., De Luca, L., Hyvönen, E., Joffres, A., Plassmeyer, P., Pronk, M., Scopigno, R., & Sonkoly, G. (2022). Report on a European collaborative cloud for cultural heritage : ex – ante impact assessment. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. *Publications Office of the European Union*, pp. 48-52.
- Bruno, N., & Roncella, R. (2018). A Restoration Oriented HBIM System for Cultural Heritage Documentation: The Case Study of Parma Cathedral. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, 171-178.
- Bruno, N., & Roncella, R. (2019). HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modelling. *Remote sensing*, 11 (15), 1751.
- Brusaporci, S. (2007). *Le murature dell'architettura del versante meridionale del Gran Sasso (secc. XI-XIV)*. Roma: Gangemi editore.

Brusaporci, S. (2017a). *Digital Innovations in Architectural Heritage Conservation: Emerging Research and Opportunities*. Hershey: IGI Global.

Brusaporci, S. (2017b). The Importance of Being Honest: Issues of Transparency in Digital Visualization of Architectural Heritage. In A. Ippolito (A cura di), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage* (pp. 66-92). Hershey: IGI Global.

Brusaporci, S., & Centofanti, M. (2011). Il disegno della città e le sue trasformazioni. *Città e Storia*, 4 (1), 151-187.

Brusaporci, S., & Maiezza, P. (2016). Re-Loading BIM: Between Spatial and Database Information Modeling for Architectural Heritage Documentation. In F. Felip Miralles, J. Gual Ortí, M. Cabeza González, & C. García García (A cura di), *Dibujar, Construir, Soñar, Investigaciones en torno a la expresión gráfica aplicada a la edificación* (pp. 835-847). Valencia: Tirant Lo Blanch.

Brusaporci, S., Trizio, I., Ruggeri, G., Maiezza, P., Tata, A., & Giannangeli, A. (2018a). AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica. *Restauro Archeologico*, 26 (1), 112-131.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2018b). A Framework for Architectural Heritage HBIM Semantization and Development. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, 179-184.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2018c). AHBIM come sistema di rappresentazione complesso dei beni architettonici. In C. L. Marcos Alba, P. J. J. Gutiérrez, J. D. Gresa, & J. Oliva Meyer (A cura di), *De trazos, huellas e improntas. Arquitectura, ideación, representación y diffusion* (pp. 485-494). Valencia: Byprint Percom SL.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2018d). Computational Design for As-Built Modeling of Architectural Heritage in HBIM processes. In *2018 IEEE International Conference of Metrology for Archaeology and Cultural Heritage MetroArcheo Proceedings* (pp. 199-203). Luogo : IEEE.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2018e). Building Information Modelling per la gestione e manutenzione di "L'Aquila - Smart Tunnel". In T. Emler, & G. M. Valenti (A cura di), *3D Modeling & BIM Nuove frontiere* (pp. 272-283). Roma: Dei Tipografia del Genio Civile S.r.l.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2019a). Trasparenza e affidabilità dei modelli HBIM. In L. M. Papa, & P. D'Agostino (A cura di), *BIM Views: Esperienze e scenari* (pp. 125-140). Fisciano: CUA.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2019b). Prime riflessioni sulla rappresentazione e parametrizzazione HBIM dell'apparecchiatura costruttiva storica. In T. Emler, & A. Fusinetti (A cura di), *3D Modeling & BIM Modelli e soluzioni per la digitalizzazione* (pp. 182-197). Roma: DEI.

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2019c). VPL FOR HBIM LOI ADVANCED APPS. Dn Building Information Modeling, *Data & Semantics*, 5, 6-16.

Brusaporci, S., Luigini, A., Vattano, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2019d). AHBIM for Wooden Built Heritage Conservation. In: F. Bianconi M.

Filippucci (Eds.). *Digital Wood Design. Innovative Techniques of Representation in Architectural Design Lecture Notes In Civil Engineering*, vol. 24 (pp. 533-546). Springer International Publishing.

Brusaporci, S., Tata, A., & Maiezza, P. (2020). Toward a new point of view: the H-BIM procedure. In A. Trentin (A cura di), *Chances. Practices, spaces and buildings in cities' transformation* (pp. 403-413). Bologna: Alma Mater Studiorum-Università di Bologna-Dipartimento di Architettura.

Brusaporci, S., Tata, A., & Maiezza, P. (2021). The “LoH - Level of History” for an Aware HBIM Process. In A. Arena, M. Arena, D. Mediati, & P. Raffa (A cura di), *CONNETTERE - un disegno per annodare e tessere · CONNECTING - drawing for weaving relationships. Linguaggi, distanze, tecnologie. 42° convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione. Congresso della unione italiana per il disegno* (pp. 2110-2118).

Buratti, G. (2017). Il disegno computazionale. La forma come organizzazione. In A. Nebuloni, & A. Rossi (A cura di), *Codice e progetto. Il computational design tra architettura, design, territorio, rappresentazione, strumenti, materiali e nuove tecnologie* (pp. 111-123). Milano: Mimesis.

BuildingSMART (2020). *International Industry Foundation Classes - Version 4 - Addendum 1*. Disponibile in: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD1/HTML/> [26 novembre 2021].

BuildingSMART (2021a). *Building Information Modeling (BIM): cos'è, stato di adozione in Italia e nel mondo*. Disponibile in: <https://www.buildingsmartitalia.org/building-information-modeling-bim-cose-stato-di-adozione-in-italia-e-nel-mondo/> [26 novembre 2021].

BuildingSMART (2021b). *What is openBIM?*. Disponibile in: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/> [27 novembre 2021].

Camerlengo, A. (2021). *Il pensiero computazionale. Logica e problem solving dallo studente al manager informatico*. Palermo: Flaccovio editore .

Capone, M., & Lanzara, E. (2019). SCAN-TO-BIM vs 3D Ideal Model HBIM: Parametric Tools to Study Domes Geometry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W9*, 219-226.

Casale, A., Valenti, G. M., & Calvano, M. (2017). From origami to folded surfaces. Representing moving forms. *17th International Conference on Geometry and Graphics* (Beijing 4-8 Agosto 2016).

Carbonara, G. (1989). Disegnare per il restauro. In *Disegnare Idee Immagini*, 0, 85-94. Roma: Gangemi Editore.

Carbonara, G. (1990). *Restauro dei Monumenti. Guida agli elaborati grafici*. Napoli: Liguori.

Carbonara, G., Centofanti, M., & Mingucci, R. (2015). Disegno per il restauro: oltre il rilievo. In *DISEGNARECON*, 8 (14), E2-E3.

Carradori, M. (2017). *The Road to IBIM: Il BIM Nel Regno Unito*. Disponibile in: <http://www.bis-lab.eu/2017/04/23/the-road-to-ibim-il-bim-nel-regno-unito/> [27 novembre 2021].



Centofanti, M. (1975). *Puntualizzazioni sui caratteri e i modelli spaziali dell'Architettura Gesuitica: L'Aquilanum Collegium e la chiesa di S. Margherita*. L'architettura in Abruzzo e nel Molise dall'antichità alla fine del secolo XVIII. Atti del XIX Congresso di Storia dell'Architettura (L'Aquila, 15-21 settembre 1975) (pp. 527-538). L'Aquila: Bondoniana.

Centofanti, M. (2000). Il progetto infinito e l'architettura interrotta: Chiesa e Collegio del Gesù all'Aquila. In F. Iappelli, U. Parente (A cura di), *Cultura, università, collegi gesuitici all'inizio dell'età moderna in Italia meridionale. Cultura, università, collegi gesuitici all'inizio dell'età moderna in Italia meridionale* (L'Aquila, 8-11 novembre 1995) (pp. 643-665). Roma: Institutum Historicum S.I..

Centofanti, M. (2003). Il palazzo di Margherita d'Austria all'Aquila e l'immagine della città. In S. Mantini (A cura di), *Margherita d'Austria, 1522-1586 costruzioni politiche e diplomazia, tra corte Farnese e monarchia spagnola* (pp. 1-26). Roma: Bulzoni.

Centofanti, M. (2010). Della natura del modello architettonico. In S. Brusaporci (A cura di), *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano* (pp. 43-54). Roma: Gangemi.

Centofanti, M. (2018). Le dimensioni scientifiche del modello digitale, *Disegno*, 2, 57-66.

Centofanti, M., Continenza, R., De Berardinis, P., Di Egidio, A., Domini, D., Galeota, D., Gattulli, V., Morganti, R., & Totani, V. (2012). Miglioramento sismico e recupero di Palazzo Camponeschi. In L. Milano, C. Morisi, C. Calderini, & A. Donatelli (A cura di), *L'Università e la Ricerca per l'Abruzzo: il patrimonio culturale dopo il terremoto del 06 Aprile 2009* (pp. 265-271). L'Aquila: Textus Edizioni.

CERFS, Centro di Ricerca e Formazione per l'ingegneria Sismica. *Palazzo Camponeschi*. Disponibile in: <http://www.cerfis.it/palazzo-camponeschi> [26 dicembre 2021].

Charef, R., Emmitt, S., Alakaa, H., & Fouchal, F. (2019). Building Information Modelling Adoption in the European Union: An Overview. *Journal of Building Engineering*, 25.

Chiabrando, F., Lo Turco, M., & Santagati, C. (2017). Digital invasions: from point clouds to historical building object modeling (H-Bom) of a Unesco Whl site. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, 171-178.

Cincotta, I. W. J., Sampietro, F., Bergonzoni, G., & Masciopinto, M. L. (2018). *Computational design nel processo HBIM: il caso studio della Pinacoteca di Cento*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/20903-computational-design-nel-processo-hbim-il-caso-studio-della-pinacoteca-di-cento> [25 dicembre 2021].

Ciribini, A. (2013). Level of Detail e Level of Development: i processi di committenza e l'Information Modelling. *TECHNE*, 6, 90-99.

Ciribini, A. (2019). *Il cantiere digitale*. Bologna: Società Editrice Esculapio.

- Clementi, A. (1992). *L'Università dell'Aquila: dal Placet di Ferrante I d'Aragona alla statizzazione*. 1458-1982. Roma-Bari: Laterza.
- CNAPPC, CRESME (2019). *Circolare "BIM-MONITORING". L'innovazione e il mercato in Italia*. Disponibile in: [http://ordinearchitetti.fe.it/ordine/wp-content/uploads/2019/02/Circ.14\\_164\\_2019-BIM-e-CRE-SME.pdf](http://ordinearchitetti.fe.it/ordine/wp-content/uploads/2019/02/Circ.14_164_2019-BIM-e-CRE-SME.pdf) [4 dicembre 2021].
- Colapietra, R. (1981). Prospettive di ricerca interdisciplinare in Abruzzo. *Bullettino della Deputazione Abruzzese di Storia Patria*, 71, 179-229.
- Colapietra, R., Centofanti, M., Bartolomucci, C., & Amedoro, T. (1997). *L'Aquila: i palazzi*. L'Aquila: EdiarTE.
- Colapietra, R. (2002). *L'Aquila dell'Antinori: strutture sociali ed urbane della città nel Sei e Settecento*. L'Aquila: Libreria Colacchi.
- Commissione Europea, (2011). *RACCOMANDAZIONE DELLA COMMISSIONE del 27 ottobre 2011 sulla digitalizzazione e l'accessibilità in rete dei materiali culturali e sulla conservazione digitale (2011/711/UE)*. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea L 283/39 del 29/10/2011.
- Commissione Europea, (2021). *RACCOMANDAZIONE (UE) 2021/1970 DELLA COMMISSIONE del 10 novembre 2021 relativa a uno spazio comune europeo di dati per il patrimonio culturale*. Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea L 401/5 del 12/11/2021.
- Dalla Mora, T., Peron, F., Cappelletti, F., Romagnoni, P., & Ruggeri, P. (2014). *Una panoramica sul Building Information Modelling (BIM)*. Milano: AiCARR.
- De Gregorio, M. (2018). BIM: per la normazione nel futuro dell'edilizia. *U&C*, 8, 19-34.
- De Luca, L., Busarayat, C., Stefani, C., Véron, P., & Florenzano, M. (2007). An integrated framework to describe, analyze, document and share digital representations of architectural buildings. In D. B. Arnold, A. Chalmers, F. Niccolucci, & European Association for Computer Graphics (A cura di), *VAST 2007: futures technologies to empower the heritage professionals* (Brighthon 26-29 novembre 2007) (pp.24-27). Budapest: Archaeolingua.
- De Luca, L., Bussayarat, C., Stefani, C., Véron, F., & Florenzano, M. (2011). A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage. *Computers & Graphics*, 35 (2), 227-241.
- Della Torre, S. (2016). Un bilancio del Progetto HBIMM. *Convegno Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM* (Politecnico di Milano, 21-22 giugno 2016).
- Di Benedetto, M., Ponchio, F., Malomo, L., Callieri, M., Dellepiane, M., Cignoni, P., & Scopigno, R. (2014). Web and Mobile Visualization for Cultural Heritage. In M. Ioannides (A cura di), *3D Research Challenges in Cultural Heritage* (pp. 18-35). Berlin: Springer-Verlag.
- Di Giuda, G. M., & Villa, V. (2016). *Il BIM: Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Milano: Hoepli.

Di Giuda, G. M., Maltese, S., Re Cecconi, F., & Villa, V. (2017). *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari: Linee guida, livelli di dettaglio informativo grafico (LOD) e alfanumerico (LOI)*. Milano: Hoepli.

Di Giulio, R. (2007). *Manuale di manutenzione edilizia. Valutazione del degrado e programmazione della manutenzione*. Rimini: Maggioli editore.

Di Luggo, A., & Scandurra, S. (2016). La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM. *DISEGNARECON*, 9 (16), 11.1-11.8.

Di Luggo, A., Scandurra, S., Pulcrano, M., & Tarantino, C. (2017). Modellazione H-BIM e ricostruzione delle trasformazioni del costruito storico. In T. Empler (A cura di), *3D Modeling & BIM - Progettazione, design, proposte per la ricostruzione* (pp. 178-195). Roma : DEI tipografia del Genio Civile/Università di Roma La Sapienza.

Di Luggo, A., Scandurra, S., Pulcrano, M., Siconolfi, M., & Monaco, S. (2018). Sistemi voltati nei processi cloud to BIM. In T. Empler, & G. M. Valenti (A cura di), *3D Modeling & BIM-Nuove frontiere* (pp. 162-177). Roma: DEI Tipografia del genio civile.

Di Marco, G. (2017). *Simplified Complexity*. Brienza: Le Penseur.

Di Nucci, A. (2009). *L'arte di costruire in Abruzzo. Tecniche murarie nel territorio della Diocesi di Valva e Sulmona*. Roma: Gangemi editore.

*Dynamo Primer*. Disponibile in: <https://primer.dynamobim.org/> [27 novembre 2021].

Docci, M. (2014). Per una teoria del rilevamento architettonico. La funzione della teoria della misura con la teoria dei modelli. In Carlevaris, L., Filippo, M. (A cura di), *Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo*. Roma: Gangemi Editore.

Docci, M., & Maestri, D. (2009). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Bari: Laterza.

Dore, C., & Murphy, M. (2012). Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling. *Digital Documentation International Conference* (Edinburgh, 22-23 October 2012).

Dore, C., & Murphy, M. (2013). Semi-Automatic Modelling of Building Façades with Shape Grammars Using Historic Building Information Modelling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1, 57-64.

Dore, C., & Murphy, M. (2015). Historic Building Information Modelling (HBIM). In S. Brusaporci (A cura di), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation* (pp. 233-273). Hershey: IGI Global.

Dore, C., & Murphy, M. (2017). Current state of the art historic building information modelling. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 185-192.

Eastman, C. (1974). *An Outline of the Building Description System. Research report no. 50*. Pittsburgh: Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University.

- Eastman, C. (1975). The Use of Computers Instead of Drawings. *AIA Journal*, 63, 46-50.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken : John Wiley & Sons.
- Eastman, C. (2016). Edizione Italiana a cura di Di Giuda G. M., Villa V., *Il BIM: Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Milano: Hoepli.
- Edilportale (2017). *Fascicolo del fabbricato, torna l'ipotesi di renderlo obbligatorio*. Disponibile in: [https://www.edilportale.com/news/2017/06/sicurezza/fascicolo-del-fabbricato-torna-l-ipotesi-di-renderlo-obbligatorio\\_58452\\_22.html](https://www.edilportale.com/news/2017/06/sicurezza/fascicolo-del-fabbricato-torna-l-ipotesi-di-renderlo-obbligatorio_58452_22.html) [20 maggio 2019].
- Ellis, M. (2020). *Level of Detail or Development: LOD in BIM*. Disponibile in: <https://rebim.io/level-of-detail-or-development-lod-in-bim/> [5 dicembre 2021].
- Empler, T. (2017) Representation tools in ARBIM process. In A. di Luggo, P. Giordano, R. Florio, L. M. Papa, A. Rossi, O. Zerlenga, S. Barba, M. Campi, & A. Cirafici (A cura di), *Territories and frontiers of representation* (pp. 1559-1568). Roma: Gangemi.
- EU BIM Handbook (2017). *Manuale per l'introduzione del BIM da parte della domanda pubblica in Europa*. Disponibile in: <https://www.assobim.it/category/download-materiali/> [5 febbraio 2019].
- European Construction Sector Observatory - ECSO (2021). *Analytical Report. Digitalisation in the construction sector*. Disponibile in: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547> [5 dicembre 2021].
- Fai, S., Graham, K., Duckworth, T., Wood, N., & Attar, R. (2011). Building Information Modeling and Heritage Documentation. *XXIII CIPA International Symposium* (Praga 12-16 settembre).
- Fassi, F., Achille, C., Mandelli, A., Rechichi, F., & Parri, S. (2015). A New Idea of BIM System for Visualization, Web Sharing and Using Huge Complex 3D Models for Facility Management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W4*, 359-366.
- Fatiguso, F., Bruno, S., & Musicco, A. (2020). *HBIM nei progetti di recupero e restauro: gestione informativa e automatizzata dei processi di diagnostica*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/25830-hbim-nei-progetti-di-recupero-e-restauro-gestione-informativa-e-automatizzata-dei-processi-di-diagnostica> [17 dicembre 2021].
- Fiorani, D. (2004). *Restauro Architettonico e strumento informatico*. Guida agli elaborati grafici. Napoli: Liguori.
- Fiorucci, T., & Chiavoni, E. (2004). *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro*. Roma: Gangemi editore.
- Frischer, B. (2008). From digital illustration to digital heuristic. In Frischer, B. D. (A cura di), *Beyond illustration: 2d and 3d Digital Technologies as Tool for Discovery in Archaeology*. Oxford: British Archaeological Reports.

Gabellone, F. (2012). La trasparenza scientifica in archeologia virtuale: una lettura critica al principio N.7 della Carta di Siviglia. *SCIRES-IT*, 2 (2), 99-124.

Galli, G. (2021). *Dal LOD al LOIN, dal Livello di Sviluppo al Livello di Fabbisogno Informativo*. Disponibile in: <https://www.bimportale.com/dal-lod-al-loin-dal-livello-sviluppo-al-livello-fabbisogno-informativo/> [27 novembre 2021].

Gamboni, G. (1941). *I Gesuiti all'Aquila dalla fine del Cinquecento ai nostri giorni: A ricordo de 4° Centenario della Compagnia di Gesù* (1540-27 settembre 1940), L'Aquila: Bodoniana.

Garagnani, S. (2013). Building Information Modeling a real world knowledge: A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment. In *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)* (Marsiglia 28 ottobre-1 novembre 2013) (pp. 489-496).

Garagnani, S., Cinti Luciani, S., & Mingucci, R. (2011). Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura, *DISEGNARECON*, 4, 5-19.

Garagnani, S., & Manferdini, A. M. (2013). Parametric accuracy: building information modeling process applied to the cultural heritage preservation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1, 87-92.

García-Valldecabres, J., Pellicer, E., & Jordan-Palomar, I. (2016). BIM Scientific Literature Review for Existing Buildings and a Theoretical Method: Proposal for Heritage Data Management Using HBIM, *Construction Research Congress 2016*, 2228-2238.

García, E.S., García-Valldecabres, J., & Blasco, M.J.V. (2018). The use of hbim models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: A review. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13, 96-107.

*Gestione Immobiliare*. Disponibile al sito: [http://www.gestim-tn.it/1/gestione\\_immobiliare\\_2854334.html](http://www.gestim-tn.it/1/gestione_immobiliare_2854334.html) [6 maggio 2019].

Giuffrè, A. (1993). *Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia: codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico*. Roma-Bari: Laterza.

Hamil, S. (2018). *What is COBie?*. Disponibile in: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-cobie> [26 novembre 2021].

Inzerillo, I., Lo Turco, M., Parrinello, S., Santagati, C., & Valenti, G. (2016). BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage. *DISEGNARECON*, 9 (16), 16.1-16.9.

IFMA-Italian facility management association. *Cos'è Il Facility Management*. Disponibile in: [http://www.ifma.it/index.php?pagina=articolo.php&cid\\_articolo=25&var\\_id\\_menu=68&nodata](http://www.ifma.it/index.php?pagina=articolo.php&cid_articolo=25&var_id_menu=68&nodata) [6 maggio 2019].

Inzerillo, L., Lo Turco, M., Parrinello, S., Santagati, C., & Valenti, G. M. (2016). BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of cultural heritage. *DISEGNARECON*, 9 (16), 16.1-16.9.

- Ippoliti, E., Meschini, A., Moscati, A., & Rossi, D. (2012). Interfacce e tecnologie visual 3D per conoscere, condividere e valorizzare il patrimonio culturale. *Disegnarecon*, vol. 5(10), numero speciale DoCo 2012 – Documentazione e Conservazione del Patrimonio Architettonico ed Urbano, 45-54.
- Ippoliti, E., Meschini, A., Moscati, A., & Rossi, D. (2013). Modelli complessi per il patrimonio architettonico-urbano. In S. Brusaporci (a cura di), *Modelli informativi integrati per conoscere, valorizzare e condividere il patrimonio urbano: tra interfacce 3D e tecnologie visual 3D*. Roma: Gangemi Editori.
- Kensek, K. (2015). BIM Guidelines Inform Facilities Management Databases: A Case Study over Time. *Buildings*, MDPI, 5, 899-916.
- Khaja, M., Seo, J. D., & McArthur, J. J. (2016). Optimizing BIM metadata manipulation using parametric tools. In International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. *Procedia Engineering* 145, 259-266.
- Khaja, A.M., Seo, J.D., & McArthur, J. (2016). Optimizing BIM metadata manipulation using parametric tools. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. *Procedia Engineering*, 145, 259-266.
- L'Aquila, Palazzo Camponeschi: relazione tecnica illustrativa e inquadramento storico territoriale*, [s.l.], [s.n.], 2011.
- L'Aquila, completato il restauro di palazzo Camponeschi*. Disponibile in: [https://www.ilmessaggero.it/fotogallery/italia/aquila\\_universita\\_palazzo\\_camponeschi\\_restauro\\_ricostruzione\\_terremoto-2341213.html](https://www.ilmessaggero.it/fotogallery/italia/aquila_universita_palazzo_camponeschi_restauro_ricostruzione_terremoto-2341213.html) [26 dicembre 2021].
- León-Robles, C. A., Reinoso-Gordo, J. F., & González-Quiñones, J. J. (2019). Heritage Building Information Modeling (H-BIM) Applied to A Stone Bridge. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019, 8(3), 121. Dore, C., & Murphy, M. (2017). Current state of the art historic building information modelling. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 185–192.
- Livelli di maturità del BIM, il Regno Unito si avvicina al traguardo del Livello 3 per il 2020*. Disponibile in: <https://bim.acca.it/livelli-maturita-bim-regno-unito-traguardo-livello-3-2020/> [27 novembre 2021].
- Lo Turco, M., Santagati, C., & D'Agostino, G. (2017). Populating a library of reusable H-BOMs: assessment of a feasible image based modelling workflow. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 627-634.
- Logothetis, S., Delinasiou, A., & Stylianidis, E. (2015). Building Information Modelling for cultural heritage: a review. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5/W3, 177-183.
- Longhi, S., & Piovesana, P. (2015). *Analisi dei formati di scambio tra software BIM per la progettazione architettonica*. *Ingenio Informazione tecnica e progettuale*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/4814-analisi-dei-formati-di-scambio-tra-software-bim-per-la-progettazione-architettonica> [5 dicembre 2021].
- Luigini, A., Brusaporci, S., Basso, A., Vattano, S., Maiezza, P., Trizio, I., & Tata, A. (2019). Digital experience for the enhancement of cultural

heritage. VR and AR models of the Valentin im Viertel farmhouse. In: T. Emler A. Fusinetti. *3D MODELING & BIM Modelli e soluzioni per la digitalizzazione* (pp. 434-450). ROMA: DEI, ISBN: 978-88-496-1942.

Maiezza, P. (2019). As-Built reliability in architectural HBIM modeling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W9*, 461-466.

Maiezza, P., & Tata, A. (2021). Standard for geometric and informative reliabilities in HBIM models. *DISEGNARECON, 14, 26*, 15.1-15.10.

Malhotra, A., Frisch, J., & Van Treeck, C. (2019). *Technical Report: Literature Review concerning IFC, gbXML and CityGML data models for Energy Performance Simulation*. Disponibile in: <https://publications.rwth-aachen.de/record/767468/files/767468.pdf> [21 dicembre 2021].

Marconi, P. (1997). *Manuale Del Recupero Del Centro Storico Di Palermo*. Palermo: Flaccovio.

Marta, R. (1989). *Tecnica Costruttiva a Roma nel medioevo*. Roma: Kappa.

Marta, R. (1991). *Tecnica Costruttiva Romana*. Roma: Kappa.

Matrone, F. (2018). Modelli HBIM da Nuvola di Punti: La Verifica Metrica dei Dati e la Valutazione dei Risultati. *Bollettino della società italiana di fotogrammetria e topografia, 2*, 48-56.

McGraw-Hill Construction (2012). *Smart Market Report - The business value of BIM in North America: Multi-Year trend Analysis and User Rating (2007-2012)*. Disponibile in: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/building-information-modeling/bim-value/mhc-business-value-of-bim-in-north-america.pdf> [5 dicembre 2021].

McGraw-Hill Construction (2013). *Il valore aziendale del BIM per la costruzione nei maggiori mercati globali*. New York: McGraw-Hill.

McGraw-Hill Construction (2014a). *Smart Market Report - The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling*. New York: McGraw-Hill.

McGraw-Hill Construction (2014b). *Smart Market Report - The business value of BIM for owners*. New York: McGraw-Hill.

McGraw-Hill Construction, (2014c). *Smart Market Report - The business value of BIM in Australia and New Zealand: How Building Information Modeling is Transforming the design and Construction Industry*. New York: McGraw-Hill.

McPartland, R. (2017a). *EU BIM Task Group launches handbook for the strategic implementation of BIM*. Disponibile in: <https://www.thenbs.com/knowledge/eu-bim-task-group-launches-handbook-for-the-strategic-implementation-of-bim> [6 luglio 2017].

McPartland, R. (2017b). *What is the PAS 1192 framework?*. Disponibile in: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-pas-1192-framework> [27 novembre 2021].

Megahed, N. A. (2015). Towards a theoretical framework for HBIM approach in historic preservation and management. *ARCHNET-IJAR*

*INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURAL RESEARCH*, vol.9, issue 3, 130-147.

Messaoudi, T., Véron, P., Halin, G., & De Luca, L. (2018). An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 100-112.

Mirarchi, C. (2019). *Knowledge network for innovation of construction sector. Increasing efficiency through process digitisation of the entire chain*. ABC-PhD Doctoral Program, Politecnico di Milano.

Molinari, C. (2001). *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia: vol. I*. Pozzuoli: Sistemi Editoriali.

Monaco, S., Siconolfi, M., & Di Luggo, A. (2019). Existing-Bim: Integrated Survey Procedures for The Management of Modern Architecture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 495-500.

Morelli, G., Ferrari, M. R., Fontana, G., Lasalandra, M. A., De Zio, L., & Vitale, R. (2011). Palazzo Camponeschi. In L. Milano (A cura di ), *L'università e la ricerca per l'Abruzzo: il patrimonio culturale dopo il terremoto del 6 aprile 2009*. (pp. 259-264). L'Aquila: Textus.

Moreno, A. (2016). *BIM, Ance: "Italia in ritardo; necessaria una strategia nazionale"*. Disponibile in: <http://www.ibimi.it/bim-ance-italia-in-ritardo-necessaria-una-strategia-nazionale/> [26 settembre 2017].

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27 (4), 311-327.

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013). Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89-102.

Murphy, M., Meegan, E., Keenaghan, G. N., Chenux, A., Corns, A., Fai, S., Chow, L., Zheng, Y., Dore, C., Scandurra, S., Tierney, A., Diara, F., Rinaudo, F., & Prizeman, O. (2021). Shape Grammar Libraries of European Classical Architectural Elements for Historic BIM. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1-2021, 479-486.

National Institute of Building Sciences (2007). *United States National Building Information Modeling Standard. Version 1 - Part 1: Overview, Principles, and Methodologies. Transforming the Building Supply Chain Through Open and Interoperable Information Exchanges*. Washington DC: National Institute of Building Sciences.

NBS - National Buildings Specifications (2020). *Report annuale sull'implementazione e l'uso delle metodologie BIM*. Disponibile in: <https://architecturaltechnology.com/static/3f388415-32f9-408d-85cc2c1adf13d012/TheNBSBIMReport2020.pdf> [26 dicembre 2021].

Nieto, J., Moyano, J., Delgado, F., & Antón, D. (2016) Management of built heritage via the HBIM project: a case study of flooring and wall tiling. *Virtual Archaeology Review*, 7 (14), 1-12.



Nissim, L. (2015a). *La specifica LOD della AIA: un approfondimento*. Disponibile in: <https://www.ibimi.it/la-specifica-lod-della-aia-un-approfondimento/> [5 dicembre 2021].

Nissim, L. (2015b). *Pubblica Amministrazione e spinta al BIM: il caso USA*. Disponibile in: <https://www.ibimi.it/pubblica-amministrazione-e-spinta-al-bim-il-caso-usa/> [26 novembre 2021].

O' Malley, A. (2021). *BIM adoption in Europe: 7 countries compared*. Disponibile in: <https://www.planradar.com/gb/bim-adoption-in-europe/> [27 novembre 2021].

OICE - Associazione delle organizzazioni di ingegneria, di architettura e di consulenza tecnico-economica (2020). *Rapporto sulle gare BIM 2019 per opere pubbliche. Analisi del mercato e delle gare*. Disponibile in: <https://www.oice.it/638197/rapporto-sulle-gare-bim-2019> [5 dicembre 2021].

OICE - Associazione delle organizzazioni di ingegneria, di architettura e di consulenza tecnico-economica (2021). *Rapporto sulle gare BIM 2020 per opere pubbliche. Analisi del mercato e delle gare*. Disponibile in: <https://www.bimportale.com/rapporto-bim-oice-2020/> [5 dicembre 2021].

Oreni, D., Brumana, R., Georgopoulos, A., & Cuca, B. (2013). HBIM for conservation and management of built heritage: towards a library of vaults and wooden bean floors. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-5/W1*, 215-221.

Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., Barazzetti, L., & Previtali, M. (2014). Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-5*, 267-273.

Osello, A., Acquaviva, A., Dalmasso, D., Erba, D., Del Giudice, M., Macii, E., & Patti, E. (2015). BIM and Interoperability for Cultural Heritage through ICT. In Brusaporci, S. (A cura di), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation* (pp. 281-298). Hershey: IGI Global.

Osello, A., Del Giudice, M., Rapetti, N. & Semeraro, F. (2016). Il BIM per la gestione dei dati alla scala edilizia e urbana. *Costruire in laterizio*, 167, 74-79.

*Palazzo Camponeschi*. Disponibile in: <https://www.larqueologia.it/?p=305> [26 dicembre 2021].

Palomar, I. J., Garcia Valldecabres, J. L., Tzortzopoulos, P., & Pellicer, E. (2020). An online platform to unify and synchronise heritage architecture information. *Automation in Construction*, 110, 1-17.

Paris, L., & Wahbeh, W. (2016). Survey and representation of the parametric geometries in HBIM. *DISEGNARECON*, 9 (16), 12.1-12.9.

Parisi P., Lo Turco, M., & Giovannini, E.C. (2019). The Value of Knowledge Through H-BIM Models: Historic Documentation with a Semantic approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W9*, 581-588.

- Parrinello, S., & Picchio, F. (2017). Databases and complexity. Remote use of the data in the virtual space of reliable 3D models. *Architecture and Engineering*, 2(2), 27-36.
- PAS 1192-2:2013 *Specification for information management for the capital delivery phase of construction projects using building information modelling (2013)*. London: British Standards Institution.
- Pavan, A. (2018). *Obbligo dei formati aperti, uso cosciente*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/21171-obbligo-dei-formati-aperti-per-la-mo-dellazione-digitale-uso-cosciente> [5 dicembre 2021].
- Pavan, A., & Mirarchi, C. (2016). La nuova norma UNI 11337, gestione digitale delle costruzioni. *Costruire in Laterizio*, 167, 64-67.
- Pavan, A., Mirarchi, C., & Giani, M. (2017). *BIM: Metodi e Strumenti; Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*. Milano: Tecniche Nuove.
- Pavan, A., Mirarchi, C., Cavallo, D., & De Gregorio, M. (2019). *Standard BIM, il mondo dopo la ISO 19650*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/26765-standard-bim-il-mondo-dopo-la-iso-19650#:~:text=Nel%20dicembre%202018%20viene%20adottata,membro%20nel%20corso%20del%202019> [27 novembre 2021].
- Pavan A., Romano, A., & Mirarchi, C. (2020). *Manuale di Gestione Informativa (Organization Information Handbook)*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/24247-manuale-di-gestione-informativa-organizzazione-information-handbook> [5 dicembre 2021].
- Principles of Seville (2012)*. Disponibile in: <http://smarterheritage.com/seville-principles/seville-principles> [27 novembre 2021].
- Quattrini, R., Clini, P., Nespeca, R., & Ruggeri, L. (2016). Measurement and Historical Information Building: Challenges and opportunities in the representation of semantically structured 3D content. *DISEGNARECON*, 9 (16), 14.1-14.11.
- Quattrini, R., Pierdicca R., & Morbidoni, C. (2017). Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web. *Journal of Cultural Heritage*, 28, 129-139.
- Re Cecconi, F., Dejacco, M., & Maltese, S. (2017). *Il fascicolo del fabbricato*. Rimini: Maggioli Editore.
- Rivera, G. (1896). *Elenco dei monumenti aquilani*. L'Aquila: Eliseo.
- Rivera, G. (1913-1918). La città dell'Aquila negli ultimi anni della monarchia napoletana. *Bullettino della Deputazione Abruzzese di Storia Patria*, 2.
- Rogers, J., Chong, H.Y., Lim, C.C., & Jayasena, H.S. (2015). *BIM Development and Trends in Developing Countries: Case Studies*. Sharja: Bentham Science Publishers.
- Rossi, D. (2013). Smart architectural models: Spatial projection-based augmented mock-up. *Proceedings of the Digital Heritage International Congress 2013, Vol.2*, (pp. 677-684), IEEE.
- Rossi, D. (2018). Brand New: panorama. L'immagine continua per il disegno della realtà virtuale. In Salerno, R. (A cura di), *Rappresentazione*

*materiale/immateriale – Drawing as (in)tangible*. Gangemi Editore, pp. 1389-1396.

Rossi, D. (2020). *Realtà virtuale: disegno e design*. Roma: Aracne editrice.

Russo, M., Remondino, F., & Guidi, G. (2011). Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. *Archeologia e Calcolatori*, 22, 169-198.

Russo, M., & Manti, A. (2011). Il reverse modeling come strumento di analisi e conoscenza all'architettura storica. *Materia e geometria - Sezione dottorato* (pp. 143-152). Firenze: Alinea Editrice s.r.l.

Sampietro, F., Masciopinto, M.L., Cincotta, I.W.J., & Bergonzoni, G. (2018). Computational design nel processo HBIM. Dn. Building Information Modeling, *Data & Semantics*, 2/2018, pp.86-96.

Sattano, E. (2018). *I LOI nelle scale di LOD USA, UK, ITA*. Disponibile in: <https://www.ingenio-web.it/18926-i-loi-nelle-scale-di-lod-usa-uk-ita> [27 novembre 2021].

Sawhney, A., & Singhal, P. (2013). Drivers and barriers to the use of building information modelling in India. *International Journal of 3-D Information Modelling*, 2/3, 46-63.

Saygi, G., & Remondino, F. (2013). Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-Art and Future Perspectives. *International Journal of Heritage in the Digital Era. Volume 2, 4*, 695-713.

Scandurra, S., Di Luggo, A., Pulcrano, M., Monaco, S., & Siconolfi, M. (2018). Sistemi voltati nei processi cloud to BIM. In T. Emler, & G.M. Valenti (A cura di), *3D Modeling & BIM Nuove Frontiere, vol 2*, (pp. 162-177). Roma: Tipografia del genio civile.

Sdegno, A. (2005). *Digital Palladio*. Venezia: Libreria Editrice Cafoscarina.

Sdegno, A. (2007). "Promenades architecturales virtuelles": rappresentare architetture non realizzate con le nuove tecnologie. *Proceedings e-Arcom 07 Conference*, Alinea, Firenze, pp. 541-546.

Sdegno, A. (2018a). Augmented Visualization: New Technologies for Communicating Architecture. In Rossi, M., Buratti, G. (A cura di), *Computational Morphologies*. Cham: Springer.

Sdegno, A. (2018b). Rappresentare l'opera d'arte con le tecnologie digitali: dalla realtà aumentata alle esperienze tattili. In A. Luigini, & C. Pancioli (A cura di), *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, (pp. 256-271). Milano: Franco Angeli.

Semeraro, G. (2011). *Il fascicolo dell'opera. Prevenzione infortuni nella manutenzione immobiliare*. Roma: EPC Editore.

Simeone, D., Cursi, S., Toldo, I., & Carrara, G. (2014a). B(H)IM- Built Heritage Information Modelling. Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation. *Digital Heritage 1 - Volume 1 - eCAADe 32*, 613-622.

Simeone, D., Cursi, S., Toldo, I., & Carrara, G., (2014b). BIM and knowledge management for building heritage. *Acadia 2014 Design Agency*, 681-690.

- SO.AL.CO. *Palazzo Camponeschi*. Disponibile in: <http://www.soalco.it/my-product/palazzo-camponeschi/> [26 dicembre 2021].
- Solihin, W., Eastman, C., Yong-Cheol, L., & Dong-Hoon, Y. (2017). A simplified relational database schema for transformation of BIM data into a query-efficient and spatially enabled database. *Automation in Construction*, 84, 367-383.
- Solustri, C. (2000). *Il Fascicolo del Fabbricato, Controllo e Sicurezza Immobiliare*. Roma: Carocci Editore.
- Spagnesi, G. (1984a). Autonomia della Storia dell'architettura. In G. Spagnesi (A cura di), *Storia e restauro dell'architettura* (pp. 7-10). Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani.
- Spagnesi, G. (1984b). Il disegno come strumento per la storia dell'Architettura. *VI Congresso UIDD*, Lerici, settembre 1984.
- Stefani, C., De Luca, L., Véron, P., & Florenzano, M. (2010). Time indeterminacy and spatio-temporal building transformations: an approach for architectural heritage understanding. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 4(1), 61-74.
- Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., & Lytle, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19 (7), 829-843.
- Tanturri, A. (1990). I Gesuiti all'Aquila tra Cinque e Seicento. *Bullettino della Deputazione abruzzese di storia patria*, 80, 111-160.
- Tata, A., Capannolo, L., Brusaporci, S., De Berardinis, P. (2022). The Digital Building Dossier. *Dn Building Information Modeling, Data & Semantics*, Volume 10.
- Teknoring (2021). *Fascicolo del Fabbricato: che fine ha fatto (o farà)?*. Disponibile in: <https://www.teknoring.com/news/pratiche-edilizie/iter-fascicolo-del-fabbricato/> [26 dicembre 2021].
- The London Charter*, (2009). Disponibile in: <http://www.london-charter.org/> [27 novembre 2021].
- (2018). *Univaq è tornata a Palazzo Camponeschi!*. Disponibile in: [https://www.univaq.it/news\\_home.php?id=12673](https://www.univaq.it/news_home.php?id=12673) [26 dicembre 2021].
- URIA. *Unione romana ingegneri architetti. La nostra storia*. Disponibile in: <http://uriaroma.it/descrizione-joomla/la-nostra-storia.html?start=4> [21 aprile 2021].
- U.S. Institute of BUILDING DOCUMENTATION (2019). *Level of Accuracy (LOA) Specification Guide*, v. 3.0.
- Varagnoli, C. (2000). Materiali per un atlante della costruzione storica in Abruzzo. In *Contributi*, 7, 2000.
- Varagnoli, C. (2008a). *La costruzione tradizionale in Abruzzo. Fonti materiali e tecniche costruttive dalla fine del Medioevo all'Ottocento*. Roma: Gangemi editore.
- Varagnoli, C. (2008b). *Terre murate. Ricerche sul patrimonio architettonico in Abruzzo e Molise*. Roma: Gangemi Editore.

Varagnoli, C. (2009). *Muri parlanti. Prospettive per l'analisi e la conservazione dell'edilizia tradizionale*. Firenze: Alinea.

Versolato, A. (2018). *BIM: il quadro normativo*. Disponibile in: <https://www.appalticontratti.it/2018/05/21/bim-il-quadro-normativo/> [26 novembre 2021].

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109-127.

Wang, M., Deng, Y., Wond, J., & Cheng, J. C. P. (2019). An integrated underground utility management and decision support based on BIM and GIS. *Automation en Construction*, 107, 1-22.

*What is COBie and how is it (building)SMART* (2016). Disponibile in: <https://blog.areo.io/what-is-cobie/> [26 novembre 2021].

Wing, J. M. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49 (3), 33-35.

Yu-Cheng, L., Shuh, J., & Yu-Chic, S. (2019). Construction Database-Supported and BIM-Based Interface Communication and Management: A Pilot Project. *Advances in Civil Engineering*, Hindawi.

Zacchei, V. (2010). *Building information modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione*. Ariccia: Aracne.

Zappatore, P. (2000). *Il fascicolo del fabbricato*. Rimini: Maggioli Editore.

Zordan, L., Bellicoso, A., De Berardinis, P., Di Giovanni, G., & Morganti, R. (2002). *Le tradizioni del costruire della casa in pietra: materiali, tecniche, modelli e sperimentazioni*. Firenze : Alinea editrice s.r.l.

01building (2020). *Bim Report 2020, in Italia crescono mercato e competenze*. Disponibile in: <https://www.01building.it/bim/bim-report-2020-cre-scono-mercato-competenze/> [27 novembre 2021].

#### *Fonti archivistiche*

ARCHIVIO DI PARIGI PROGETTO Aquila, 24 maggio 1625. *Progetto per il collegio dei Gesuiti*.

Archivio di Stato dell'Aquila (a cura di), *Dal Real Collegio al Real Liceo dell'Aquila: una scuola di livello universitario per gli Abruzzi*. Mostra documentaria (Palazzo Camponeschi, L'Aquila 29 maggio - 9 giugno 1999), [s.l.], [s.n.], 1999.

Bibliothèque Nationale de Paris, Cabinet des estampes, Hd-4, 77-73-69-70-71-72, JVR 90, 91, 92, 93, 94, 95.