

La modellizzazione del patrimonio costruito. Processi BIM a confronto per tipologie architettoniche

Martina Attenni, Maria Laura Rossi

Abstract

Lo studio di un'architettura storica e l'insieme di informazioni eterogenee ad essa legato costituisce un'attività dalle significative ricadute in molteplici ambiti: dalla documentazione, alla pianificazione degli interventi, alla gestione dei manufatti. L'obiettivo di una totale integrabilità di dati è oggi perseguito dai processi BIM; la loro applicazione per il costruito storico comporta implicazioni di carattere metodologico e tecnico sia nel campo del rilievo che della rappresentazione, legando le operazioni di modellazione all'acquisizione massiva di dati. Tali attività risultano fortemente complesse se si considerano come punti di forza del processo BIM l'utilizzo di librerie di elementi standardizzati, in forte conflitto con l'unicità e la complessità della forma storica. Vengono analizzati due casi studio differenti per epoche e tecniche costruttive. Per entrambi risulta evidente il processo di standardizzazione del procedimento edilizio e la presenza di elementi seriali dalle geometrie facilmente riconoscibili, realizzati artigianalmente nel primo caso, industrialmente nel secondo. Si propone un approccio parametrico alla modellazione che descriva, attraverso la creazione di elementi nidificati a struttura gerarchica, il processo logico di scomposizione della forma.

Parole chiave: HBIM, tipologia architettonica, standardizzazione, modellazione, database.

Introduzione

L'evoluzione delle tecnologie digitali a servizio della rappresentazione dell'architettura ha permesso il raggiungimento di obiettivi prima impensabili per il rilievo, la conoscenza e la comunicazione del patrimonio costruito. Integrando le possibilità offerte dagli strumenti di modellazione tridimensionale, solida e parametrica, con quelle dei sistemi per la gestione e la condivisione di dati, i sistemi BIM – *Building Information Modeling* – promettono nuovi scenari per l'archiviazione e la gestione di grandi quantità di informazioni per la conoscenza dei Beni Culturali [Messaoudia, Halin, De Luca 2018].

La presente ricerca si prefigge di rendere manifeste le potenzialità e le criticità connesse all'introduzione di processi BIM nel campo della conoscenza, della trasforma-

zione e della gestione del patrimonio costruito. Questi temi risultano strettamente collegati allo sviluppo tecnologico degli ultimi 20 anni che ha portato un cambiamento significativo nel paradigma culturale rispetto ai problemi di acquisizione e condivisione della conoscenza. Ciò è dovuto alle modalità, ormai quasi esclusivamente digitali, utilizzate per la costruzione di modelli, intesi come basi di dati sempre più complete, eterogenee, implementabili e condivisibili. Inoltre, la necessità sempre crescente di interventi a scopo preventivo e conservativo su manufatti esistenti impone l'esigenza di disporre di metodi e strumenti per raccogliere, archiviare, confrontare, condividere e gestire informazioni sul loro stato passato, presente e futuro.

In questo quadro si collocano i processi BIM (*Building Information Modeling*) ed HBIM (*Heritage Building Information Modeling*). I primi, la cui caratteristica fondamentale risiede nella standardizzazione delle componenti costruttive e architettoniche, costituiscono ormai un riferimento fondamentale per le nuove costruzioni. Questo approccio, tuttavia, non risulta ancora del tutto adeguato per l'edilizia esistente e per i manufatti storici, che costituiscono la maggior parte del nostro patrimonio architettonico. È indubbio che la realizzazione dell'architettura richiede la produzione in serie degli elementi costruttivi in favore di una maggiore economia e di una semplificazione dei processi e delle operazioni da svolgere in cantiere. La costruzione di modelli BIM/HBIM per il patrimonio storico, e dunque la parametrizzazione di realtà caratterizzate da infinite possibili variazioni, presenta notevoli gradi di complessità. Ciò è dovuto, da una parte, alla non sempre evidente riconoscibilità geometrica dello spazio e, dall'altra, alla necessità di predisporre letture sistematiche del costruito storico, individuando un sistema informativo definito sulla base di macroelementi, a cui associare dati capaci di documentarne le specificità materiche, storiche

e tecnologiche. Occorre tener presente quindi, non solo il legame che intercorre tra la documentazione della storia degli edifici costruiti e le modifiche che nel tempo hanno subito, ma anche la conoscenza dello stato attuale, indissolubilmente connessa alle attività di rilevamento e rilievo [Chiabrando, Sammartano, Spanò 2016; Costa, Madrazo 2015]. Emerge quindi la necessità di rendere stabile il processo di costruzione dei modelli mettendo in luce le problematiche riscontrate rispetto ai temi della conoscenza, della modellazione e dell'interazione tra dati eterogenei (modelli 3D/2D, modelli numerici, modelli *mesh*, immagini fotografiche, informazioni bibliografiche ecc.). Tale interazione nasce dalla sovrapposizione tra modelli parametrici e dati di rilievo, a cui si deve necessariamente far riferimento nello studio e nell'analisi di edifici esistenti. Ciò si traduce nella costruzione di modelli tridimensionali informativi, definiti sul livello geometrico e semantico, a partire dall'acquisizione massiva di dati. Lo studio e l'analisi dei modelli numerici consente, prima, di scomporre i manufatti storici negli elementi che li caratterizzano, poi di modellarli parametricamente, implementando le caratteristiche metriche e geometriche con informazioni che

Fig. 1. L'Istituto di Botanica alla città universitaria, Roma.



Fig. 2. Palazzo Camuccini a Cantalupo in Sabina, Rieti.



Fig. 3. L'Istituto di Botanica, modello numerico.

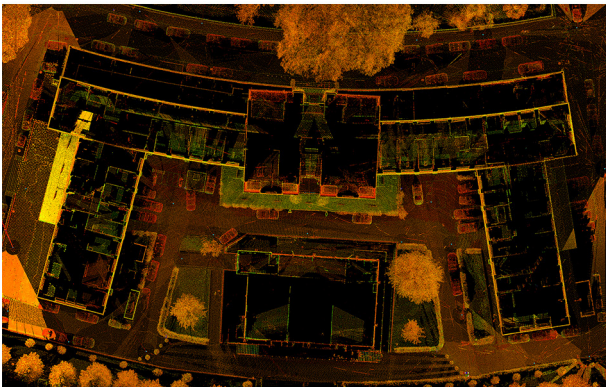
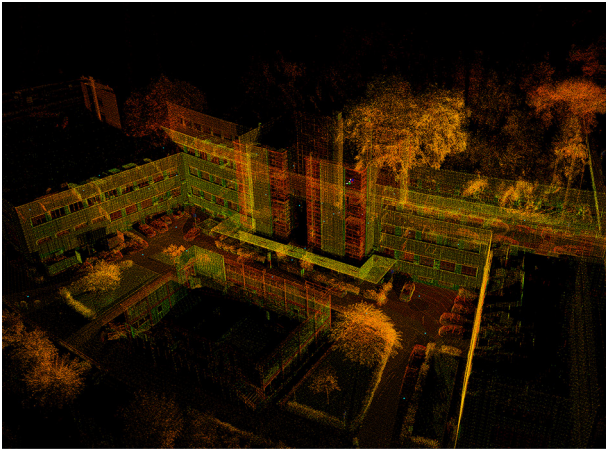


Fig. 4. Palazzo Camuccini, modello numerico.

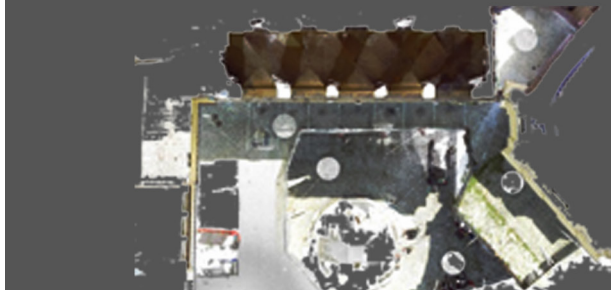
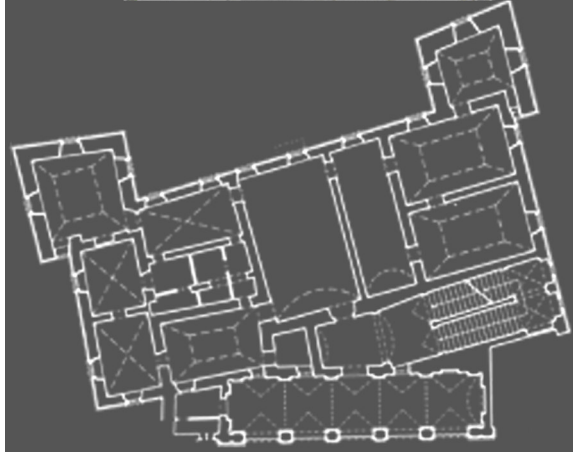
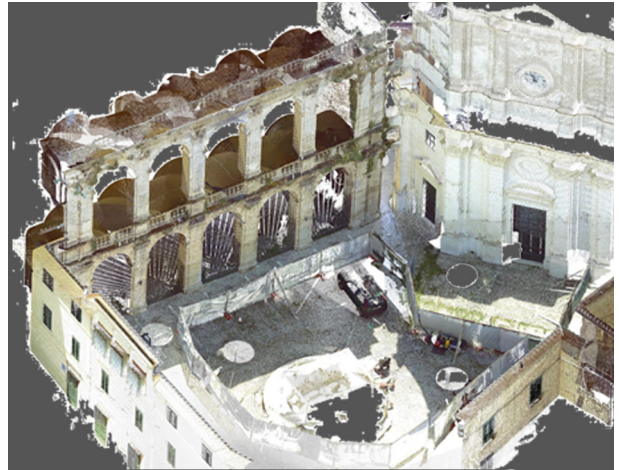
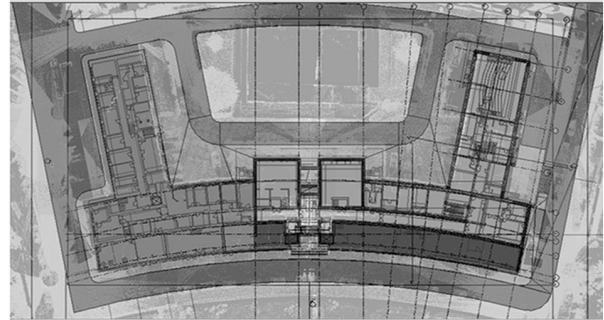
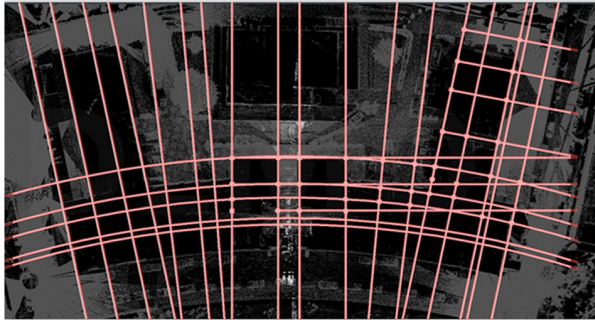
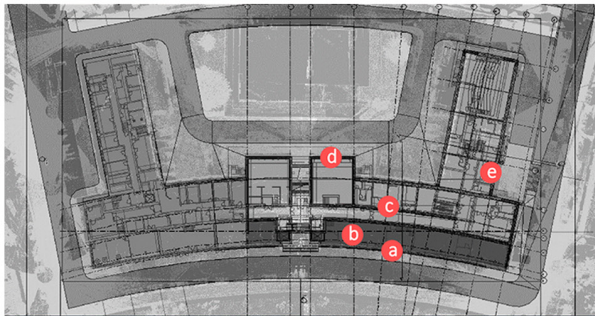







Fig. 5. Modello dell'istituto di Botanica. Scomposizione e ricostruzione dell'architettura razionalista: gli elementi costruttivi.

1 giaciture

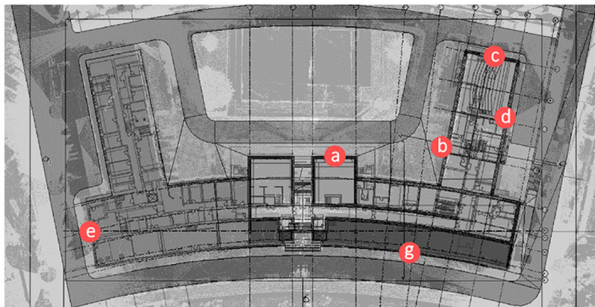


2 strutture verticali



a  62x54 cm H 400 cm	b  50x70 cm H 400 cm	c  D 50 cm H 400 cm
d Piano rialzato	e P1/P2/P3	
		
1. Intonaco di calce e gesso 2. Mattoni forati 3. Intercapedine 4. Mattoni pieni 5. Malta cementizia 6. Lastre travertino	1. Intonaco di calce e gesso 2. Mattoni forati 3. Intercapedine 4. Mattoni pieni 5. Malta cementizia+ mattoncini in litoceramica	

3 chiusure orizzontali



si costituiscono come base della conoscenza dell'oggetto analizzato. La sovrapposizione tra il modello discreto (il modello numerico) e il modello continuo (quello parametrico) permette la lettura delle discontinuità che hanno a che fare con il degrado prestazionale degli elementi architettonici, delle intenzioni progettuali di gestione dello spazio e della forma, e, attraverso il loro confronto, delle modifiche che l'architettura ha subito nel tempo.

Nel complesso passaggio da un modello numerico della realtà ad un modello geometrico della stessa, dopo le necessarie riflessioni preliminari per un approccio consapevole al cosiddetto HBIM, la discussione si concentrerà su due casi studio nell'ambito del patrimonio architettonico, rappresentativi di diverse epoche storiche ed emblematici di interessanti tipologie architettoniche.

Il tema, ancora al centro di sperimentazione da parte di studiosi della rappresentazione, storici, restauratori, e figure che lavorano nel campo dei beni culturali, viene affrontato con l'obiettivo di delineare un protocollo operativo legato alle possibilità di gestione del patrimonio architettonico costruito, implementando le possibilità dei processi HBIM nel processo consolidato di rilevamento integrato [Simeone et al. 2014; Quattrini et al. 2015; Quattrini et al. 2017].

La presente ricerca confronta il processo di costruzione dei modelli nell'ambito dell'HBIM analizzando due casi di studio: l'Istituto di Botanica alla città universitaria (Roma) e il Palazzo Camuccini di Cantalupo in Sabina (Rieti) (fig. 1, fig. 2). Il primo è un edificio di stampo razionalista, costruito tra il 1932 e il 1935, che ben si presta ad essere studiato attraverso processi BIM per le sue caratteristiche tipologiche, geometrico-morfologiche, e per la presenza di elementi ricorrenti e standardizzati. Il secondo, costruito tra il 1566 e il 1579, costituisce un esempio di intervento su un impianto preesistente: la forma originariamente militare dell'intero complesso è stata successivamente arricchita da un innesto sulla facciata, che si articola su due livelli con un portico e una loggia, volto a renderla più adatta ad una dimora nobiliare [Dal Mas 2015].

La scelta delle architetture prese in esame non è affatto casuale: l'architettura moderna, di cui l'Istituto di Botanica è particolarmente rappresentativo, costituisce una parte consistente dell'insieme degli edifici pubblici presenti in Italia. La composizione ordinata di geometrie regolari, il rigore delle soluzioni spaziali, la ripetizione di elementi compositivi e dettagli architettonici, la rendono particolarmente adatta all'applicazione delle modalità di co-

noscenza e modellazione che caratterizzano i processi HBIM. Il loggiato di Palazzo Camuccini, invece, fonda le sue radici nella trattatistica rinascimentale, una raccolta di regole e codici geometrici e proporzionali che esprimono l'attività intellettuale dell'architetto del Cinquecento, proponendo delle soluzioni tipologiche sradicate da qualsivoglia contesto.

Sulla base di una rappresentatività tipologica nella quale coesistono aspetti instabili, legati all'unicità delle componenti, e aspetti stabili, legati al riconoscimento della matrice geometrica, è possibile confrontare la modellizzazione [1] degli elementi in ambito HBIM. L'approccio parametrico alla modellazione per il patrimonio costru-

Fig. 6. Modello dell'istituto di Botanica. Analisi degli elementi compositivi.

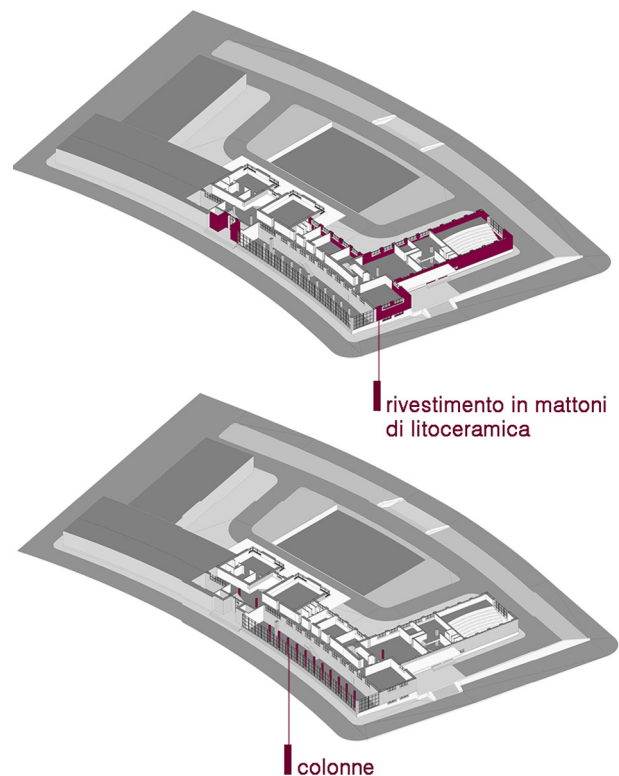


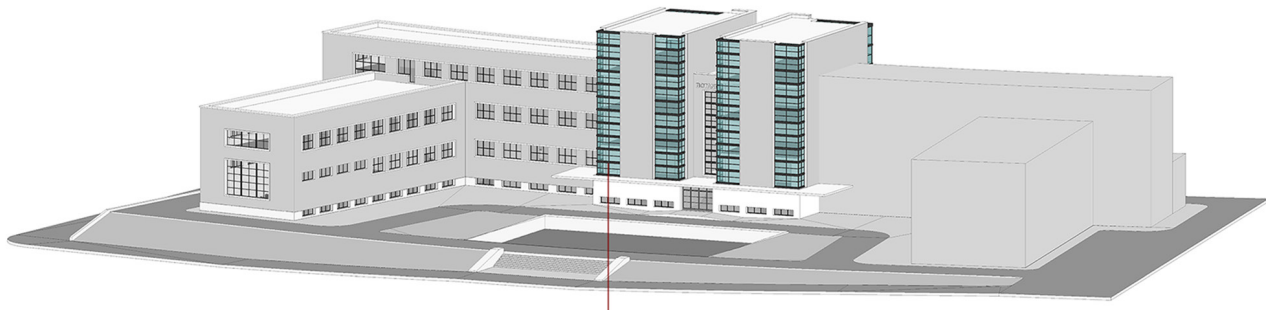
Fig. 7. Modello dell'istituto di Botanica. Gli elementi verticali trasparenti.



finestre laboratori



finestre aule e uffici



ito può rivelarsi efficace poiché, attraverso la creazione di elementi nidificati a struttura gerarchica, è possibile descrivere il processo logico di scomposizione di un'architettura. L'interazione tra il modello discreto (la nuvola di punti) rappresentativo dello stato di fatto (fig. 3, fig. 4), e la logica ordinata delle operazioni per la costruzione del modello parametrico, registra l'evoluzione della forma e i cambiamenti che il progetto originario ha subito. Gli elementi tipologici delle librerie vengono particolareggiati tramite le variazioni parametriche, ricavate dai dati di rilievo, costituendo un database di informazioni eterogenee, necessarie per l'archiviazione e la trasmissione di dati di architetture del passato.

La parametrizzazione dell'architettura razionalista

La modellazione dell'edificio di Botanica si spinge fino alla rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva, orientata secondo le componenti architettoniche: elementi strutturali (telai o sistemi murari), le tamponature, gli infissi, le finiture ecc. Un'attenta indagine del dato di rilievo ha consentito di estrarre informazioni sull'impianto geometrico e sull'articolazione spaziale dell'edificio in esame, identificandone le giaciture, quindi gli elementi portanti e i relativi assi strutturali, poi le tamponature, le chiusure orizzontali e verticali, le aperture e gli elementi di collegamento, i materiali di finitura esterni, i rivestimenti interni, e gli impianti tecnologici. L'obiettivo di modellare le diverse componenti secondo un processo che anela alla più completa conoscenza, ha imposto l'utilizzo di una metodologia che non procede dal generale al particolare (fig. 5). Si tratta di conoscere e riconoscere l'elemento non solo dal punto di vista geometrico-morfologico, ma nella sua costituzione a livello di dimensioni, materiali, tipologia e modalità di impiego nel più generale contesto del progetto analizzato, evidenziando il parallelismo tra i processi BIM e le pratiche costruttive di cantiere. Per tali operazioni è stato fondamentale tutto il materiale informativo, testuale, grafico e fotografico, fornito dall'ufficio tecnico e reperito in fase di documentazione, che descrive nel dettaglio anche la posizione di impianti e canalizzazioni, vernici e tinteggiature.

L'impianto simmetrico dell'edificio, la sua riconoscibilità geometrica e la ripetizione degli elementi, hanno rappresentato il punto di partenza nell'approccio seguito. Griglie, fili fissi e livelli costituiscono le regole geometriche per gli

elementi, legati così da relazioni di tipo parametrico. La struttura del modello a partire da tali componenti comporta, quindi, una discretizzazione e una rettifica delle geometrie che definiscono gli elementi del progetto, ponendosi in modo coerente con lo stato di fatto, documentato dal rilievo. La serialità degli elementi, riscontrata sia sulle facciate che nelle soluzioni interne, è stata gestita all'interno del modellatore sia per la struttura portante, che alterna pilastri dalle diverse geometrie, sia per le chiusure verticali, opache e trasparenti, sia per i mattoncini e le lastre di travertino che costituiscono i rivestimenti esterni (fig. 6). Gli elementi architettonici sono stati modellati partendo da operazioni di *editing* delle famiglie caricabili: murature, parteti interne, solai interpiano e di copertura sono stati costruiti con l'obiettivo di raggiungere il massimo livello di dettaglio. L'analisi incrociata tra i dati di rilievo e le fonti d'archivio ha consentito di definire alcuni parametri e attributi di partenza dell'oggetto digitale, quali lo spessore delle pareti, la tipologia dello strato di supporto, la tipologia di rivestimento esterno in lastre di travertino romano o in mattoni di litoceramica, e la tipologia del rivestimento interno ad intonaco. Gli elementi dalla configurazione più particolare, quale il muro con il basamento e la pensilina del piano rialzato, sono stati modellati a partire dalla definizione del profilo, rintracciato dal dato di rilievo, successivamente estruso. Un discorso a parte è stato fatto per il rivestimento esterno e per le chiusure trasparenti. Il primo è stato strutturato come modifica della facciata continua, definita attraverso matrici geometriche che regolano il numero di elementi e il passo tra gli assi che costituiscono una griglia. Le vetrate delle torri sono state modellate come *curtain wall*, mentre le finestre, di cui sono state riconosciute cinque tipologie ripetute diverse volte all'interno del progetto, sono state costruite attraverso la modifica di parametri dimensionali di infissi e vetro associandoli ad una sola tipologia, accelerando notevolmente il processo di modellazione (fig. 7).

A fronte delle operazioni svolte, è possibile tracciare una valutazione sul processo seguito che mette in luce due ordini di considerazioni. La prima riguarda il criterio utilizzato per la scomposizione dell'edificio e le scelte condotte in fase di modellazione che, in modo evidente, ricalcano la logica razionale che ha caratterizzato la progettazione dell'edificio. La seconda riguarda l'effettiva corrispondenza tra l'oggetto reale, il modello numerico e il modello parametrico: sebbene il punto di partenza sia costituito da un rilievo altamente dettagliato, che mette in eviden-

Fig. 8. Palazzo Camuccini: dall'analisi del trattato rinascimentale al modello parametrico.

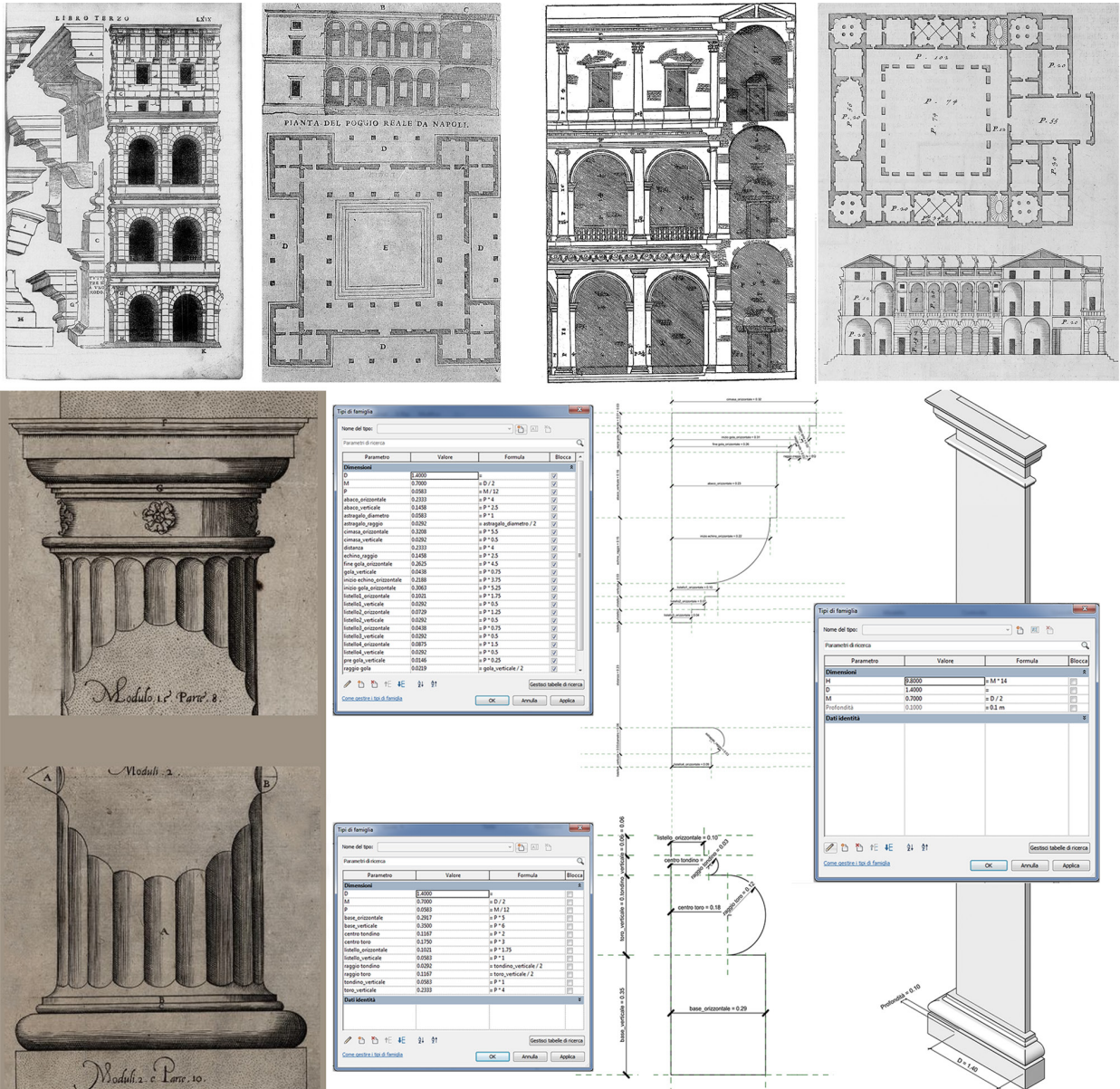
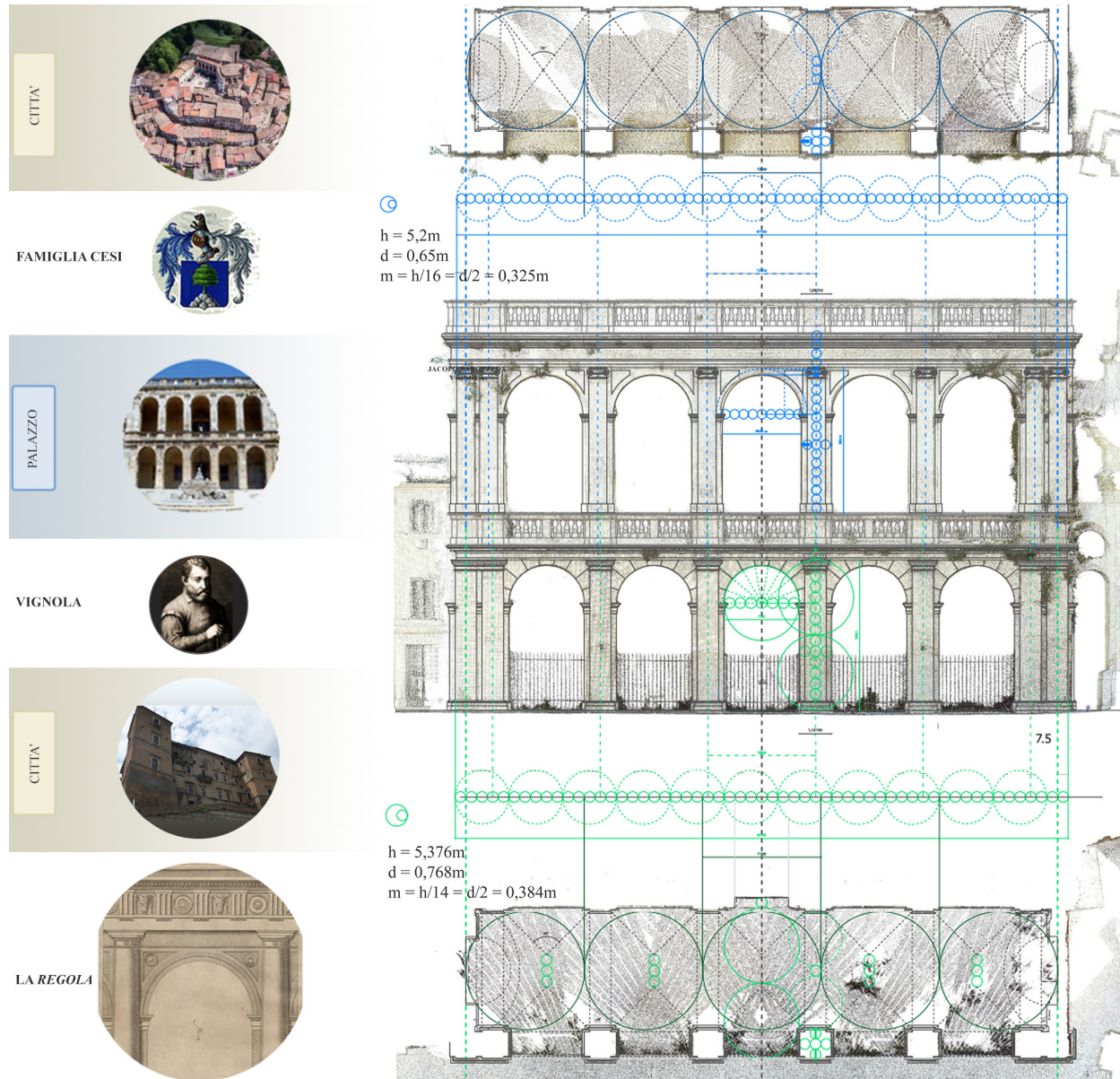


Fig. 9. Palazzo Camuccini, modello numerico e analisi metrico-proporzionale.



za le peculiarità del manufatto nel suo aspetto generale e nei particolari architettonici, la standardizzazione degli elementi ha prevalso rispetto alle difformità che possono essere riscontrate tra diversi elementi della stessa categoria. La ripetizione di componenti architettoniche mostra variazioni dell'ordine del centimetro, per cui è stato possibile apportare delle semplificazioni, considerando tali variazioni legate alle operazioni pratiche di posa in opera, che non sono mai esenti da imprecisioni.

La protoparametrizzazione dell'architettura rinascimentale

La seconda parte di questo studio si pone l'obiettivo di interpretare e restituire, in un ambiente digitale parametrico, le logiche progettuali alla base dell'intervento rinascimentale del doppio loggiato sulla preesistente rocca medievale di Cantalupo in Sabina. L'innesto, eseguito nel rispetto dell'applicazione di regole compositive al tempo condivise, si modula in funzione di uno spazio reale fortemente condizionato da edifici precedentemente realizzati. L'esempio considerato è particolarmente rappresentativo dell'atteggiamento culturale che contraddistingue la storia della maggior parte dei trattati di architettura dell'epoca. La loro larghissima diffusione, dovuta anche all'invenzione della stampa, cominciò ad allontanare la necessità dell'esperienza diretta dell'architettura per esaltarne invece il valore virtuale, fondato su una grande disponibilità di modelli bidimensionali fondati su sistemi di regole per l'appunto. Ciò rende l'attività intellettuale dell'architetto del Cinquecento, espressa in termini di modelli grafici, regole geometriche e rapporti proporzionali tra le parti, il riferimento proto-parametrico per la costruzione del modello digitale. Palazzo Camuccini rappresenta il connubio tra gli standard contenuti nella trattatistica cinquecentesca e la specificità di soluzioni particolari, adattive ai vincoli imposti dal contesto e, pertanto, avulsi da uno studio prettamente tipologico che prescindere dal caso preso in esame. Tuttavia, per poter definire regole compositive generali e al contempo modulabili occorre seguire un modello teorico di riferimento (fig. 8).

La datazione dell'intervento e la posizione geografica del palazzo, la ricchezza di esempi affini nella stessa zona, la committenza e le maestranze a servizio, hanno fatto convergere il modello teorico del doppio loggiato cinquecentesco del palazzo in questione, con quello descritto

da Jacopo Barozzi da Vignola nella *Regola delli cinque ordini di Architettura* [Barozzi 1562]. La scelta della *Regola* di Vignola come riferimento teorico nella costruzione del modello parametrico del loggiato è determinata in primo luogo da una ragione "geografica", legata al trattatista e ai luoghi da lui frequentati in quegli anni: architetto per i Farnese, il Vignola ha un consistente seguito di maestranze alle sue dipendenze. In secondo luogo, da una ragione "temporale" legata al trattato: gli anni di costruzione del caso di studio (1566-1579) sono infatti immediatamente successivi all'anno di pubblicazione del trattato (1562), che possiamo immaginare espressione di un *know how* presumibilmente già radicato sul territorio locale.

Inoltre questo genere di intervento è da contestualizzare in un momento storico culturale in cui il concetto di città, piccola o grande che sia, viene riletta in chiave antica, intesa come luogo di incontro sociale, di organizzazione politica e di pianificazione economica. Questa idea del vivere civile legato alla forma urbana si riscontra nella volontà di primi cittadini, vescovi e nobili di rinnovare gli antichi fasti dei castelli medievali in favore di ariosi palazzi. In seguito alla costruzione del modello sulla base delle regole compositive, geometriche e proporzionali individuate, la sovrapposizione con il modello numerico mostra come il quadro complessivo appaia coerente con il trattato vigolesco solo in parte. Individuando sia per l'ordine dorico del primo livello, sia per l'ordine ionico del secondo livello, il modulo pari alla metà del diametro della colonna, si può notare come, nella costruzione del modello parametrico, l'altezza complessiva del palazzo sia stata forzosamente ridotta proporzionando ogni ordine rispetto all'ordine che lo precede nella regola (il loggiato dorico viene proporzionato con le regole dell'ordine tuscanico, il livello dell'ordine ionico con quelle dell'ordine dorico). Seguono invece pedissequamente il trattato i rapporti tra i componenti degli apparati scultorei delle colonne (fig. 9).

Il modello di Palazzo Camuccini, quindi, risulta essere rappresentativo di uno stato ideale, ovvero dell'idea progettuale sottesa alla costruzione, e non della configurazione attuale. Tuttavia, tale modello, se confrontato con il modello discreto ottenuto dalle operazioni di rilevamento, consente di dedurre ulteriori considerazioni. Lo scarto tra i due modelli, valutato rispetto alla deviazione, oltre a restituire informazioni riguardo l'accuratezza metrica del modello parametrico, offre la lettura delle trasformazioni che il manufatto ha subito nel corso degli anni (fig. 10).

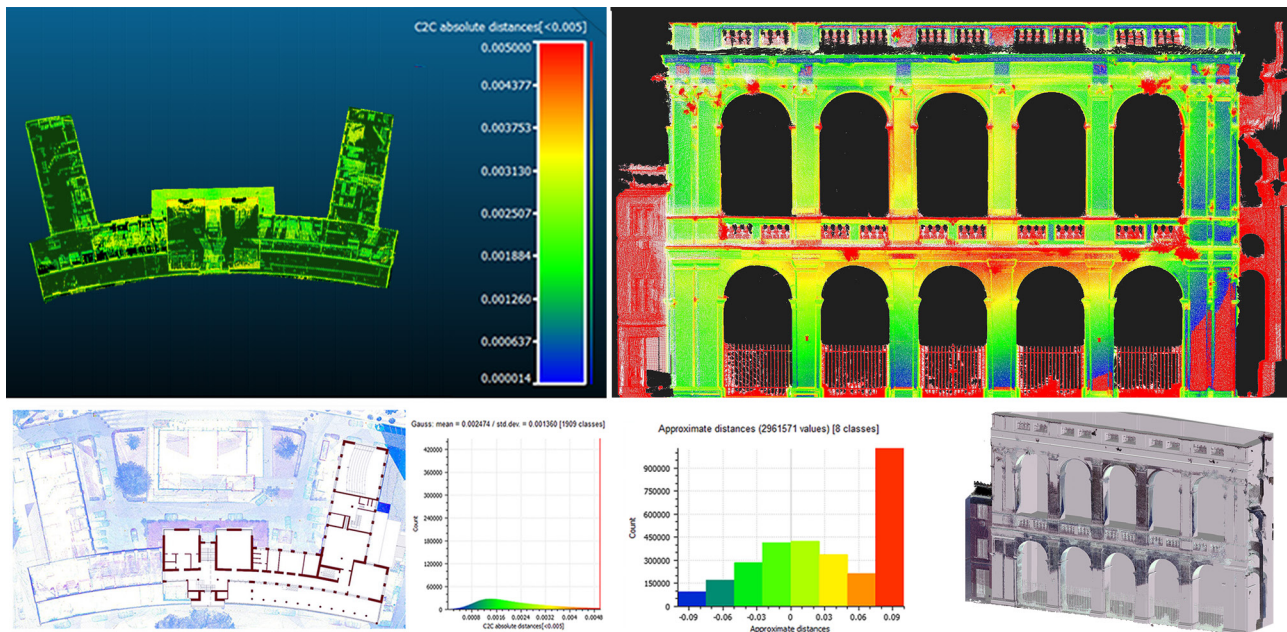
Conclusioni

La sperimentazione si basa sulla ricerca di un metodo fondato su un procedimento generale applicato a casi particolari. In seguito al riconoscimento di elementi seriali e ripetibili e le regole (geometriche, dimensionali, etc.) su cui incidere è stato possibile tradurre le relazioni tra le parti in una logica parametrica digitale, valida tanto per un caso quanto per l'altro. I processi seguiti per i casi studio analizzati concorrono alla definizione di modelli ideali; tuttavia emergono alcune sostanziali differenze riscontrate in fase di modellazione. Nel caso dell'istituto di Botanica la parametrizzazione all'interno del *software* utilizzato [2] consente di riproporre l'effettiva configurazione degli elementi reali, progettati secondo una logica razionale che ne prevedeva la produzione in serie. La standardizzazione degli elementi ha prevalso rispetto alle difformità che possono essere riscontrate tra diversi elementi della stessa categoria. La ripetizione di componenti architettoniche mostra variazioni dell'ordine del centime-

tro, per cui è stato possibile apportare delle semplificazioni, considerando tali variazioni legate alle operazioni pratiche di posa in opera, che non sono mai esenti da imprecisioni. Tale semplificazione, tuttavia, non corrisponde ad un'approssimazione metrica e geometrica nella descrizione delle forme, e rende il modello parametrico coincidente con l'*as built*.

Negli ordini architettonici che definiscono la facciata di palazzo Camuccini, non è possibile ritrovare lo stesso concetto di standardizzazione che insiste sul caso dell'Istituto di Botanica, a partire dal progetto sino alla sua realizzazione. Sebbene sia possibile trasferire al modello digitale l'intenzione progettuale della ripetizione di alcune componenti architettoniche (basi, capitelli, modanature), non è però possibile interpretare allo stesso modo lo stato di fatto, che si costituisce di elementi realizzati artigianalmente e soggetti all'usura e alla deformazione della materia nel corso del tempo. La costruzione del modello ricalca quindi l'attività progettuale modulatrice della norma alla base della struttura dell'edificio rinascimentale,

Fig. 10. L'istituto di Botanica e Palazzo Camuccini. Confronto tra il modello numerico e il modello parametrico espresso tramite la deviazione standard.



che prevedeva la ripetizione degli elementi pur avendo la consapevolezza delle caratteristiche peculiari di ognuno di essi. Nel primo caso, quindi, la standardizzazione delle componenti non corrisponde ad un'approssimazione nella modellazione degli stessi, mentre nel secondo caso le operazioni di semplificazione geometrica sono state necessarie per la costruzione del modello ideale.

Note

[1] Attività di costruzione del modello digitale inteso non come la somma di oggetti tridimensionali ma come processo cognitivo di creazione delle forme che lo costituiscono [Marotta, Lo Turco 2014, p. 55].

[2] Revit Architecture 2017.

Autori

Martina Atteni, Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, Sapienza Università di Roma, martina.atteni@uniroma1.it.
 Maria Laura Rossi, Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, Sapienza Università di Roma, marialaura.rossi@uniroma1.it.

Riferimenti bibliografici

Barozzi, J. (1562). *Regola delli cinque ordini d'architettura di m. Iacomo Barozzi da Vignola*. Roma: Stamperia della Camera Apostolica.

Chiabrando, F., Sammartano, G., Spanò, A. (2016). Historical Buildings Models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, XXIII ISPRS Congress, pp. 633-640.

Costa, G., Madrazo, L. (2015). Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: an application for precast concrete components. In *Automation in construction*, n. 57, pp. 239-248.

Dal Mas, R.M. (2015). Palazzo Cesi Camuccini a Cantalupo in Sabina: dal castello alla dimora signorile. In R. Dal Mas, R. Mancini (a cura di). *Cinte murarie e abitati: restauro, riuso e valorizzazione*, pp. 145-153. Roma: Aracne.

Marotta, A., Lo Turco, M., (2014). Modellazione 3D, ambiente BIM, modellazione solida per l'Architettura e il Design. In M. Rossi, A. Casale (a cura di). *Uno (nessuno) centomila prototipi in movimento. Trasformazioni*

La modellazione parametrica di componenti del patrimonio architettonico – e delle loro possibili varianti – offerta da un sistema informativo complesso quale l'HBIM, consente un'accelerazione nella costruzione di modelli 3D (se non si considerano i tempi di elaborazione legati a processi non ancora completamente strutturati) che deve comunque tener presente la qualità architettonica di ogni elemento unico nel suo genere.

dinamiche del disegno e nuove tecnologie per il design, pp. 53-60. Milano: DigitalPrint Service.

Messaoudia, V.P., Halin, G., De Luca, L. (2018). An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. In *Journal of Cultural Heritage*, n. 29, pp. 100-112.

Quattrini, R., Malinverni, E.S., Clini, P., Nespeca, R., Orlietti, E. (2015). From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3d modeling of complex architecture. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W4, pp. 367-374.

Quattrini, R., Pierdicca, R., Morbidoni, C. (2017). Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic web. In *Journal of Cultural Heritage*, n. 28, pp. 129-139.

Siemeone, D., Cursi, S., Toldo, I., Carrara, G. (2015). BIM and knowledge management for building heritage. In D. Gerber, A. Huang, J. Sanchez (eds.). *ACADIA 14: Design Agency. Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*. Los Angeles, California, October 23-25, 2014, pp. 681-690. Toronto: ACADIA/Riverside Architectural Press.