

LA DOMUS DEI CANDELABRI DORATI A CREMONA. L'APPLICAZIONE DEL BIM ALLO STUDIO DI UN COMPLESSO ARCHITETTONICO ANTICO

1. INTRODUZIONE

Questo articolo vuole porre in evidenza come la tecnologia BIM – Building Information Modelling – possa essere al contempo uno strumento di raccolta dati e studio di un manufatto archeologico. Viene qui illustrato il caso studio della *Domus* dei Candelabri Dorati di Cremona, complesso architettonico di edilizia privata del quale vengono passate in rassegna tutte le fasi che portano alla costruzione di un modello informativo. La prima fase del lavoro è quella del rilievo e delle successive elaborazioni in 2D; questo primo livello costituisce la base per comprendere le dimensioni in pianta dell'edificio e per creare i materiali che compongono lo stesso da immettere nel dato 3D. Elaborati questi dati di base si procede alla creazione del modello tridimensionale del complesso, il quale non è costituito solo da mera grafica ma possiede le informazioni delle US in tutte le sue fasi di vita consentendo di comprenderne tutte le trasformazioni. Grazie a questi dati è possibile, come si vedrà di seguito, affrontare i processi di cantiere che determinano la costruzione di un edificio. Per raggiungere tali scopi si è scelto di utilizzare il software Autodesk Revit che concede molta libertà nella modellazione grazie alla sua flessibilità nelle modifiche, elemento indispensabile per affrontare lo studio di un manufatto archeologico.

2. IL CONTESTO

Il caso studio qui esposto è costituito da un complesso residenziale situato nella città di Cremona, frutto di un'indagine di scavo d'emergenza iniziata nel luglio 2014 in via Colletta per la realizzazione di due autorimesse nel cortile di Palazzo Zuccari. Lo scavo è stato condotto dalla ditta RAGA. S.r.l. sotto la direzione scientifica della Dott.ssa Nicoletta Cecchini (CECCHINI 2023, 101-106) della Soprintendenza archeologia, belle arti e paesaggio per le province di Cremona, Mantova e Lodi.

Lo scavo ha posto in evidenza diverse fasi inquadrabili in tre aree differenti denominate “Cortile maggiore”, “Cortile minore” e “Tunnel”. Per quanto riguarda la prima area, Cortile maggiore, sono presenti una serie di evidenze che portano a identificare brandelli di una *domus* con varie aree aperte, il tutto inquadrato ad O da una strada basolata; per la seconda, il Cortile minore, si riscontrano evidenze di una prima frequentazione che partono dal II sec. a.C. (CECCHINI, VOLONTÉ 2015, 141-147) per giungere ad un'edificazione di una *domus* ad atrio alla fine del I sec. a.C., anch'essa inquadrata a E da una strada;

infine, nell'ultima area di scavo denominata Tunnel sono stati identificati nella fase IIA elementi divisorii tra la dimora del Cortile maggiore e quella del Cortile minore mentre, nella IIB, sono emerse tracce della demolizione di muri e del conseguente raccordo delle due dimore. A questa unione seguirono poi delle fasi di momentaneo abbandono, demolizioni e asportazioni di strutture che portarono ad un abbandono definitivo in epoca tardoantica.

Le fasi che interessano questo lavoro sono le IIA (fine I sec. a.C.-inizi I sec. d.C.) e IIB (inizi I d.C.-69 d.C.) dell'area del Cortile minore, quando le dimore vengono raccordate tra di loro, è stato possibile ricostruire l'atrio della cosiddetta *Domus* dei Candelabri Dorati (MARIANI 2023, 107-114), per via delle sue decorazioni parietali, mettendolo in relazione alla fase precedente e ponendo in evidenza tutte le attività di modifica e demolizione tra le due fasi. L'analisi si è concentrata su queste due fasi poiché lo studio del complesso è in itinere e solo queste sono state determinate sotto ogni aspetto.

3. IL BIM E IL SUO FUNZIONAMENTO

Il nucleo base che consente di esercitare a pieno le potenzialità del BIM¹ è il modello 3D generato dal software, il quale non risulta soltanto come una rappresentazione geometrica ma anche come una ricostruzione virtuale dell'edificio, che va dal progetto alla messa in opera passando per le fasi di cantiere; è dunque una ricostruzione della storia dell'edificio per tutto il suo ciclo di vita. Tale processo avviene mediante elementi costruttivi predeterminati i quali, oltre a possedere le geometrie desiderate, portano con sé informazioni sulla loro composizione, sulla loro fattura e fattibilità all'interno di un edificio e sulla relazione che hanno con gli altri elementi componenti la struttura. Queste informazioni del processo BIM possono essere analizzate sotto qualsiasi chiave si voglia, come la tenuta statica dell'edificio o la sua fattibilità in un determinato contesto. I dati sono gestiti dai vari software che utilizzano questa tecnologia come elementi numerici e possono essere esportati in unità tabellari attraverso specifici abachi. Oltre all'analisi del complesso architettonico, sia nelle sue singole componenti che nella sua totalità, un'altra finalità del BIM è quella della visualizzazione grafica dell'edificio nel suo contesto e nel modo più verosimile possibile.

Per ottenere un risultato consono agli obiettivi predisposti ed avere una base solida su cui elaborare il modello è necessaria come prima operazione una fase di rilievo sul campo. Questa deve essere attenta, scrupolosa e ragionata sul dato da mettere in evidenza (BARATTI 2012). Dal rilievo vengono estrapolati

¹ Per un approfondimento sulla definizione di BIM si veda: *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* secondo il quale è «una tecnologia di modellazione assistita dai computer volta a gestire e generare informazioni edilizie e che presuppone i relativi processi di produzione, comunicazione e analisi dei modelli di informazioni di un edificio» o, come definito dalla M.A. Mortenson Company, ditta di costruzioni statunitense, «una simulazione intelligente dell'architettura».

riferimenti in 2D, come piante e sezioni, consultabili in corso di elaborazione al fine di garantire l'accuratezza del processo di modellazione. Ottenute le basi per avere un elaborato il più accurato possibile, è necessario definire le caratteristiche dei materiali strutturali e delle tecniche costruttive che prenderanno forma all'interno del modello, basandosi sui dati di cantiere e post-scavo; questi vengono raccolti e raggruppati in librerie tematiche composte da famiglie di oggetti alle quali sono sottoposte famiglie di materiali da porre in relazione alle prime, alle quali a loro volta sono sottoposte le specifiche dei materiali, ad esempio:

famiglia – muro in opera reticolata
famiglia di materiali – *cubilia*
specifiche materiali – tufo

Viene così a definirsi una struttura base del modello da ricreare attraverso il BIM. Di questo deve esser decisa l'accuratezza di dettaglio che è direttamente proporzionale agli obiettivi che ci si pone e ai tempi che occorrono per la modellazione; questa proporzione è definita LOD (CARPENTIERO 2018) ed ha una valenza duplice: nel primo caso *level of detail* ossia quanti dettagli sono stati inseriti nella progettazione del modello, nel secondo *level of development* facendo riferimento alla cura dei dettagli della geometria che costituiscono gli elementi e le informazioni che questi ultimi si trascinano.

Il livello di dettaglio, LOD, va quindi ponderato rispetto agli obiettivi che ci si pone per la creazione del modello BIM.

4. IL BIM PER L'ARCHEOLOGIA

L'applicazione della tecnologia BIM al campo archeologico e al patrimonio storico/artistico (LICHERI 2016, 197-201), al contrario dell'edilizia moderna, è un'area in corso di definizione e relativamente nuova (ATTENNI 2018, 34-48).

Negli ultimi anni è nata la definizione HBIM (Historic Building Information Modeling) che applica la tecnologia BIM allo studio di complessi architettonici antichi per una valutazione del loro stato di conservazione, al fine di progettare una corretta tutela del bene (GARAGNANI *et al.* 2021). In seguito, è stata prodotta la definizione ArchaeoBIM, legata allo studio di un manufatto archeologico e alla sua possibile integrazione (GARAGNANI *et al.* 2021, 123-144.). Questa nuova gestione del BIM ha messo in evidenza vantaggi e svantaggi di questa tecnologia in relazione all'archeologia (SCIANNA *et al.* 2015). L'aspetto che ha sollevato più problemi è quello della modellazione parametrica con la creazione di famiglie specifiche per ogni contesto archeologico, ad esempio di "muri", "pavimenti" o "coperture"; a differenza dell'edilizia moderna, non vi è un'omologazione nelle componenti che variano da caso a caso.

Per superare tale inconveniente è necessario creare delle famiglie specifiche, elaborate partendo dai dati di scavo per creare degli apparati il più verosimili possibile (GARAGNANI *et al.* 2016). Queste famiglie possono essere

raccolte in librerie, richiamate in qualsiasi progetto e sono sempre editabili, inoltre, possono essere create delle famiglie parametriche dette “adattive” che modificano le loro caratteristiche a seconda dei casi.

L’altro ostacolo è quello di rendere le diverse fasi di cui un manufatto archeologico è composto: la progettazione di un edificio moderno eseguita con il BIM, permette di gestire le attività di costruzione, demolizione, ampliamenti e modifiche varie all’interno di un cantiere attraverso l’utilizzo di “fasi di lavoro”; queste possono senz’altro essere adattate ad un manufatto archeologico, come un complesso architettonico, che presenta come in un cantiere moderno fasi diverse di costruzione, demolizione o ampliamenti dell’edificio stesso.

Per questo lavoro si è scelto di puntare su Revit, software della casa Autodesk. Questo programma permette di superare in modo agile le diverse problematiche esposte e al contempo riesce a garantire, attraverso diversi applicativi, un’ottima resa grafica.

5. COME FUNZIONA REVIT: LE FAMIGLIE

Per operare in modo efficiente, Revit utilizza una struttura gerarchica organizzata in livelli detti “famiglie” divise in tre tipologie: famiglie di sistema, famiglie caricabili, famiglie locali (POZZOLI *et al.* 2020, 69-72).

Le famiglie di sistema comprendono tutti gli elementi di base utilizzati in una costruzione come muri, tetti e pavimenti, definibili indispensabili per la realizzazione di una struttura e costituiscono l’ossatura portante del progetto; essi sono modificabili, entro certi limiti, solo attraverso finestre predefinite. Questi vincoli sono imposti per garantire un corretto funzionamento della famiglia stessa e per questo i cambiamenti sono possibili solo sulla base di schemi e parametri predeterminati.

Il secondo gruppo, le famiglie caricabili, non sono presenti nel progetto ma vanno inserite importandole da librerie esterne. In questo caso il livello di modifica e personalizzazione è elevato: nell’editor di questi elementi è possibile definire un numero pressoché illimitato di parametri e interazioni. Per l’applicazione di questo software all’archeologia, l’utilizzo delle famiglie caricabili è indispensabile in quanto le casistiche sono estremamente variabili da sito a sito.

Ancora più in basso nelle gerarchie sono le cosiddette famiglie locali, le quali comprendono gli elementi specifici ed unici di un progetto che sarebbero troppo complicati da realizzare partendo da una famiglia caricabile. Come per quelle di sistema, queste famiglie sono editabili all’interno di un singolo progetto ma possiedono la stessa libertà di modifica e editazione grafica di quelle caricabili.

5.1 *I materiali*

Revit consente di gestire i materiali che compongono queste famiglie in modo estremamente agile. Il programma gestisce i materiali applicando

le proprietà che essi possiedono nel mondo reale (POZZOLI *et al.* 2020, 91-98); il nesso tra questi e le geometrie in cui essi vengono immessi è molto più complesso e specifico di quello che si sarebbe portati a pensare avendo a disposizione il solo modello grafico. In questo passaggio si racchiude la forza di questo programma: un'elevata capacità di resa grafica che contiene al suo interno tutti i dati dei singoli elementi, spaziali e temporali, e le relazioni che essi hanno tra di loro nel corretto funzionamento della struttura e quindi del modello stesso. Possono esser create delle librerie personalizzate di materiali e dunque essere richiamati anche in altri progetti, dove possono essere facilmente immessi e modificati a seconda delle esigenze.

La personalizzazione del materiale è gestita da un'apposita finestra che dispone dei seguenti parametri: identità, grafico, aspetto, fisico e termico.

6. IL FUNZIONAMENTO DEL SOFTWARE

Per comprendere il funzionamento di Revit nella gestione delle famiglie di sistema si analizzerà a titolo esemplificativo quella dei muri, basata sui rilievi e le misurazioni condotte sullo scavo di via Colletta: per quanto questa possa risultare in apparenza rigida si adatta bene a quelle che sono le esigenze di resa e ricostruzione di un manufatto archeologico, poiché permette di gestire la stratigrafia delle sue componenti. La famiglia muro è composta da diverse voci come nucleo e finitura (Fig. 1). Queste rappresentano delle identità fisiche, dei materiali veri e propri, ai quali è possibile imprimere caratteristiche specifiche

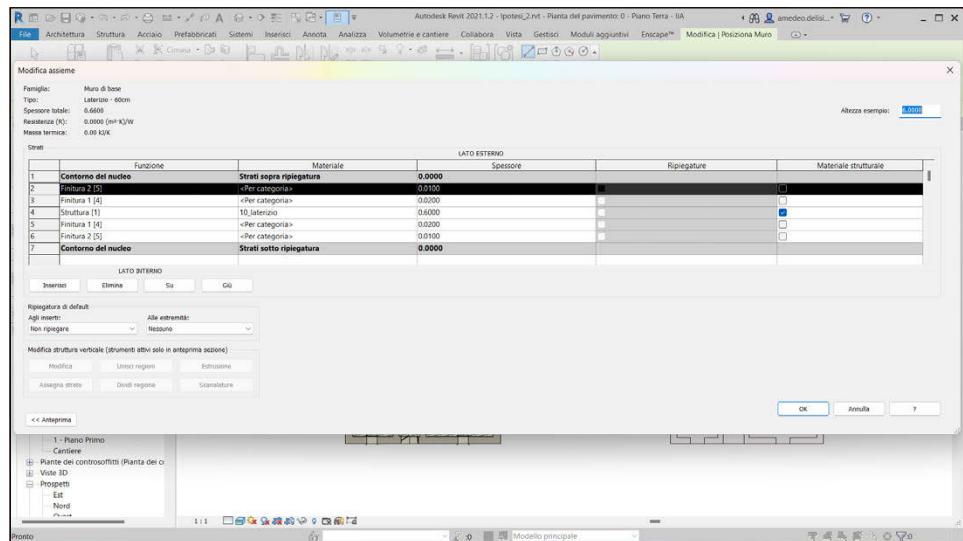


Fig. 1 – Esempio di una scheda della famiglia “Muro di Base” con stratigrafia muraria.

e spessori. I suddetti elementi formano la stratigrafia del muro che in questo caso sarà composta da un nucleo in laterizi, due strati di finitura equivalenti alle preparazioni dell'intonaco e un ultimo strato impercettibile, senza spessore alcuno, che sarà la pellicola pittorica. Questi strati hanno dunque una funzione, un materiale e una posizione all'interno della stratigrafia muraria.

6.1 *Le fasi*

Le fasi permettono di gestire la temporalità del progetto: partendo da uno stato di fatto, ossia la prima fase di un edificio, è possibile definirne diverse attività collocabili nel tempo (POZZOLI *et al.* 2020, 906-916). Questi interventi sono previsti e classificati dal programma come attività cronologicamente logiche: si parte dunque da un'istantanea della prima fase dell'edificio; a questa possono essere apportate diverse modifiche inserendo nuovi elementi, come interventi di ampliamento dell'edificio o di demolizione di parti di esso, come accade a cavallo tra le fasi IIA e IIB della *Domus* dei Candelabri Dorati. Tutte queste attività sono inquadrabili in un determinato arco di tempo e sovrapponibili tra di loro in un unico spazio di lavoro.

6.2 *L'analisi, gli abachi*

Come si evince da questa breve rassegna, tutti gli elementi che compongono il modello possiedono delle caratteristiche intrinseche che possono essere analizzate. Lo strumento che Revit dispone per questo tipo di operazione è quello degli abachi (POZZOLI *et al.* 2020, 561-574), unità tabellari che raccolgono tutti i dati di ogni singolo elemento come il suo volume o la superficie occupata; su queste tabelle deve essere operata una formattazione immettendo una chiave di lettura come “volume” o “superficie” per filtrare i dati. Oltre al mero computo degli elementi presenti è possibile inserire delle formule che permettano di calcolare, ad esempio, il costo della manodopera per la realizzazione di un muro o il tempo impiegato per la realizzazione di esso in base alle risorse a disposizione. È possibile riportare voci esterne come la provenienza del materiale o il costo del trasporto dello stesso, che andranno a sommarsi a quello della manodopera e quindi alla spesa totale della costruzione di un edificio. In campo archeologico sarebbe dunque possibile fare un'analisi sulle tempistiche di un cantiere basandoci su un modello elaborato partendo da dati certi integrati con la ricostruzione dell'ipotetico.

7. METODOLOGIA

Sulla scorta di diversi lavori effettuati con il BIM, dalla ricostruzione per la salvaguardia del patrimonio (ACCETTULLI *et al.* 2021) a quelle per la comprensione e le possibilità statistiche di edifici architettonici antichi, alle diverse soluzioni decorative dello stesso (GARAGNANI *et al.* 2016, 2021) e in base ai dati

raccolti finora si effettua in questa sede una proposta di metodologia da applicare per lo studio, l'integrazione virtuale e l'analisi di un manufatto archeologico.

Per il caso dell'atrio della *Domus* dei candelabri dorati si è proceduto nel seguente modo:

- Messa in pianta dell'edificio al fine di analizzarne lo sviluppo nella sua estensione planimetrica, per estrapolare lo spessore dei muri e per comprendere tutte le fasi poste in evidenza durante le operazioni di scavo.
- Studio ipotetico dello sviluppo degli alzati basato sugli elementi acquisiti in pianta e sui confronti con casi simili.
- Acquisizione dei frammenti di intonaco tramite rilievo fotogrammetrico al fine di ricreare virtualmente l'ambiente di lavoro con le immagini importate su AutoCAD. L'importanza di questo spazio di lavoro è data dal fatto che le diverse soluzioni sono operabili e confrontabili avendo sempre i frammenti a disposizione sul supporto informatico, potendo lavorare in qualunque luogo in assenza dei frammenti materici e risparmiando al contempo l'usura di questo materiale delicato.
- In base al primo punto si sono create specifiche famiglie strutturali di muri e pavimenti in base alle tipologie individuate durante lo svolgimento del cantiere. Questi sono stati dotati di un'opportuna stratigrafia ricavata dai risultati delle analisi effettuate dall'università d Pavia (CANEPA 2023, 145-152), sui frammenti di intonaci rinvenuti in giacitura secondaria.
- Creazione di materiali *ad hoc* basandosi sulla tecnologia PBR – *Physically Based Rendering*: il materiale descrive le proprietà visive di una superficie in modo fisicamente plausibile, producendo risultati realistici con qualsiasi tipologia d'illuminazione (<http://Rhino3d.com>).
- Creazione degli abachi, dove sono espresse le proprietà delle strutture murarie, dei pavimenti e dell'intonaco.
- Rendering con plugin Enscape (<https://enscape3d.com>): il primo risultato visivo è quello di un rendering ad alta definizione per poi ottenere un risultato finale che è quello di ricreare la percezione del luogo attraverso il *walkthrough*, ottenendo una vera e propria fruizione virtuale del contesto.

8. ANALISI DELLE PARTI E CREAZIONE DELLE FAMIGLIE

Il primo elemento preso in esame è quello della decorazione parietale della *domus* nella sua ultima fase; per ottenere diversi dati nel minor tempo possibile si è deciso di effettuare un rilievo fotogrammetrico dei frammenti per avere a disposizione:

- frammenti misurabili;
- strati di preparazione con i loro effettivi spessori;
- colori per la futura integrazione delle lacune.

Per lo studio degli intonaci viene estrapolata dal software un'ortofoto che consente di ricreare l'ambiente di lavoro sul supporto virtuale, il quale diviene una tavola CAD. Qui i frammenti vengono ritagliati singolarmente e provati gli attacchi come avviene nella pratica reale. Con AutoCAD viene disegnata la parete, con tutte le sue variazioni, per effettuare uno studio di fattibilità delle partiture decorative in base alla stessa. Nel caso qui preso in esame si è proceduto dapprima allo studio dei candelabri, elaborando due modelli che vanno ad affiancare quadri nilotici al centro (BRAGANTINI 2023, 27-36). Il modello è stato redatto per ogni singola parete e importato in GIMP, software per l'elaborazione di immagini, dove vengono aperti due file: il primo è la parete che deve essere campita e il secondo è quello del frammento che viene utilizzato come supporto cromatico; viene così ricreata la parete con colori verosimili a quelli reali.

Il secondo elemento da analizzare nel dettaglio è quello dei pavimenti; anche per questi si è resa necessaria una prima campagna di rilievo. Sono state estrapolate ortofoto dei diversi lacerti musivi della *Domus* dei Candelabri Dorati, importate poi su AutoCAD e qui elaborate. Si è proceduto, come per gli intonaci, cercando diverse soluzioni in base alla pianta dell'edificio e ai motivi decorativi; per quanto riguarda l'atrio, è bastato ricreare una texture del cocciopesto a base fittile, poiché non è presente un motivo decorativo; si è rivelato sufficiente reiterare l'immagine su tutta l'area con piccoli accorgimenti al fine di nascondere le cosiddette cuciture delle texture che portano ad avere linee tra le varie immagini affiancate.

9. DAL 2D AL 3D

In seguito a questa prima fase di studio degli elementi che compongono l'architettura e dell'editazione di questi in uno spazio 2D, si dispone dei requisiti per passare ad uno spazio 3D. La ricostruzione degli elevati della *Domus* è basata su confronti con alcune dimore pompeiane come la casa di *M. Lucretius Fronto* (V, 4), la casa di Apollo (VI, 7), del Bell'Impluvium (I, 9) e del Frutteto (I, 9) che possiedono una pianta impostata su un atrio tuscanico definito a "T".

Il primo passaggio è quello di creare in Revit le diverse famiglie che vanno a comporre gli elementi essenziali della nostra struttura: muri e pavimenti. Per i primi, tenendo conto della tecnica edilizia rilevata *in situ* (BACCHETTA 2017) sono stati creati due muri con spessori diversi, uno da 45 cm e uno da 60 cm: il primo è attestato in tutti gli ambienti della dimora mentre il secondo è presente nei perimetrali di chiusura. È stata creata una scheda che esplica le caratteristiche dei muri: una struttura con materiale in laterizi dello spessore di 45 o 60 cm e due strati di finitura che individuano gli strati di preparazione dell'intonaco con spessori rispettivi di 2 cm e 1 cm. La decorazione pittorica

non presenta un volume in quanto essa è un'applicazione che tramite carbonatazione viene sigillata all'interno dell'ultimo strato di preparazione. Anche per i pavimenti è presente una scheda dove sono rappresentati tutti gli strati di preparazione e finitura; partendo dal basso si ha: *statumen* di 15 cm, *rudus* 15 cm, *nucleus* 10 cm, malta 6,5 cm, pavimento 2 cm (GIULIANI 2006).

Altro elemento strutturale base è il sistema di trabeazione dell'impluvio e quello del tetto. Per creare tali strutture si è resa necessaria l'importazione di una famiglia di travi alle quali sono stati dati differenti spessori. Prima è però necessario chiarire da quali elementi è composto un tetto e come essi si legano tra di loro: la tipologia alla quale appartiene la copertura della *domus* è quella definita dall'atrio tuscanico, privo di sostegni intermedi e costituita da due travi (*trabes*) poggianti su muri d'ambito alle quali si intersecano perpendicolarmente due travi dette *interpensivae*; l'incrocio di *trabes* e *interpensivae* ricalca il profilo dell'*impluvium* (Fig. 3). Questi due sistemi di travi costituiscono la base d'appoggio per le *colliciae*, travi formanti le falde del compluvio del tetto. Infine, sono posti gli *asseris*, piccole travi che possiedono la stessa inclinazione del compluvio facenti base per la copertura in tegole. Alle *trabes* è stato dato uno spessore di 25×25 cm, alle *interpensivae* 25×40 cm, alle *colliciae* 17×20 cm e infine agli *asseres* 5×8 cm (RUGGIERI 2017; CENTOLA 2018). Non essendo presente alcun dato sulla tipologia di legno adottato si è scelto un materiale generico sia per aspetto che per caratteristiche fisiche.

9.1 Creazione di famiglie specifiche

La copertura in coppi e tegole ha richiesto invece la creazione di una famiglia *ad hoc* basandosi su due tipologie di famiglie vuote di Revit denominate “pannelli di facciata continua” e “modelli generici metrici adattivi”: la prima si è resa necessaria per creare un motivo, definito da una tegola e un coppo al quale è stato assegnato un materiale di tipo “cotto” per rendere più verosimile l'elemento fittile. In una seconda fase questa famiglia è stata importata nella seconda, dove è stato creato un pannello basato su quattro punti che vanno a definire le falde di un tetto. A questo pannello è stato assegnato il motivo precedentemente descritto per ottenere una copertura in coppi e tegole applicabile nel progetto (Fig. 2). Per quanto riguarda le dimensioni egli elementi ci si è rifatti ai materiali rinvenuti durante lo scavo e mediante confronti con altre tecniche edilizie di siti in pianura padana (BACCHETTA 2003) e non (ADAM 1988; GIULIANI 2006).

9.2 Gli elementi di dettaglio

In ultimo sono state create delle componenti indispensabili per un edificio, come porte ed elementi decorativi particolari, grazie all'utilizzo delle “famiglie caricabili” e delle “famiglie locali”. Per la creazione delle prime ci si è basati

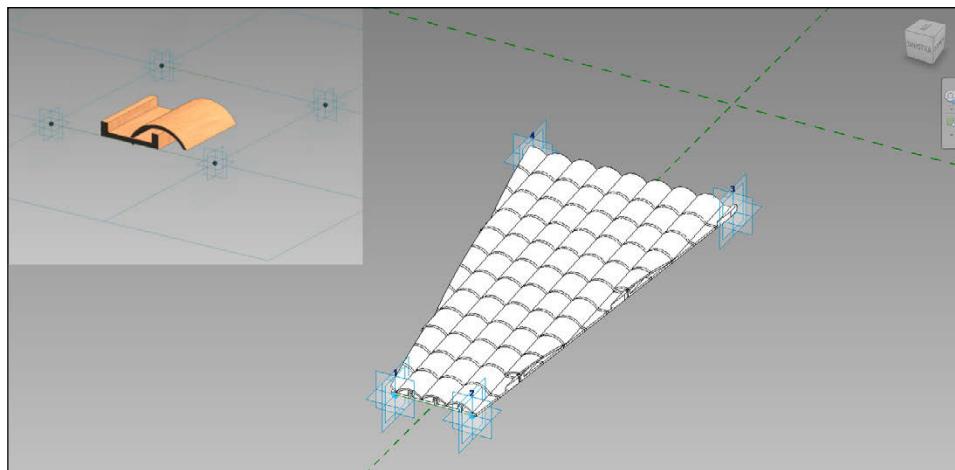


Fig. 2 – Esempio di famiglia adattiva “coppo-tegola”; in alto la base che compone il modello.

sulla famiglia “porte generiche”, dove è messo a disposizione un campo per creare una porta di dimensioni qualsiasi. In questa sezione è possibile definire dettagli come il senso d’apertura della porta, lo spessore della stessa, ma anche elementi di dettaglio come una maniglia; quest’ultima è stata creata genericamente in legno ma le possibilità, in caso di rinvenimento di elementi particolari sul campo, sono ampie e svariate. L’utilizzo delle famiglie locali si è reso invece necessario per elementi specifici come la vaschetta dell’*impluvium*, le soglie delle porte o il cordolo lapideo che separa il tablino dall’atrio.

9.3 Il rendering

Ai fini di ottenere un risultato il più verosimile possibile si è scelto di adottare dei materiali specifici che Revit mette a disposizione, i cosiddetti PBR. Per comprendere il funzionamento di questi materiali viene descritta, a titolo esemplificativo, la mappatura fatta sugli intonaci dove sono state utilizzate diverse mappe: una diffusa e una di altezza. La prima corrisponde all’immagine creata, in questo caso un pannello di una parete intonacata con i suoi colori originari; grazie a questa prima mappa è possibile regolare la riflettanza e la ruvidità; la prima gestisce la capacità di riflettere la luce irradiata sul materiale mentre la seconda gestisce la porosità del materiale e quindi le sue zone d’ombra. A questa viene affiancata la mappa di altezza, che definisce la composizione stessa del materiale, una sorta di tessitura della superficie. Per l’intonaco è stata scelta un’immagine che riproduce i leggeri e fitti avvallamenti della superficie detta a “buccia d’arancia”. Grazie a questa mappa di altezza è possibile far comprendere al motore di rendering dove sono le zone chiare, ossia in rilievo, e

quelle più basse, quindi più scure. A differenza delle altre mappe questa agisce direttamente sulla geometria del materiale. Per i laterizi, che a differenza degli intonaci non possiedono una superficie piana regolare, è stata adottata un'altra mappatura che mette in risalto la rugosità e la porosità del materiale.

Per il rendering finale si è deciso di ricorrere ad un plugin di Revit, Enscape, motore di rendering di facile utilizzo che unisce un risultato in alta definizione a tempi molto brevi nell'elaborazione (Fig. 3).

9.4 Fasi finali del progetto

Le fasi finali del progetto prevedono la descrizione grafica di tutti i dati contenuti in esso, come le piante dell'edificio, gli spaccati assonometrici e i rendering. Oltre a questo, vengono espressi i dati informativi codificati in unità tabellari definiti abachi.

Sono dunque state redatte le classiche piante di fase dell'edificio dove, oltre alla planimetria è affiancata una pianta dei locali che definisce i vari ambienti della *domus* con cromie differenti in base alla loro destinazione funzionale. Queste piante possono essere accompagnate da tabelle o abachi, che esprimono i volumi o le superfici dei singoli ambienti (Fig. 4); questi dati possono rilevarsi molto utili se si pensa allo studio del contesto urbano della città antica, sia per la superficie occupata nelle lottizzazioni di un quartiere, sia per l'impatto volumetrico che questa costruzione poteva avere nella città antica. Salta subito all'occhio come gli ambienti più grandi siano l'atrio, il tablino e la sala triclinare. La superficie dell'atrio è di gran lunga superiore alle altre confermando quanto questo ambiente fosse il fulcro della *domus* sia dal punto di vista architettonico sia per quello sociale: l'atrio è la zona di rappresentanza per eccellenza, dove il privato incontra il pubblico e deve quindi autocelebrare la propria *Gens*.



Fig. 3 – Rendering dell'atrio della *domus* visto dal tablino.

Per comprendere fino in fondo le differenze tra le due fasi è stata creata un’ulteriore vista, una tavola comparativa che mostra le attività di demolizione e di nuova costruzione, dove è ben visibile quali siano state le zone di intervento di questa nuova fase edilizia: in blu sono evidenziati i nuovi interventi di costruzione come la vaschetta dell’*impluvium*, la tamponatura delle porte, la nuova decorazione pavimentale dell’ala, gli interventi di monumentalizzazione del tablino. Senza alcuna colorazione sono invece gli elementi creati nella fase IIA che non hanno subito modificazioni.

Nello stesso spazio di lavoro si passa dalla visione bidimensionale a quella tridimensionale mediante i rendering che meglio aiutano a comprendere il lavoro svolto dal punto di vista visivo.

10. L’INFORMAZIONE DEL PROGETTO

Si giunge quindi nella quarta dimensione del lavoro, quella del tempo che sfrutta le “fasi” di Revit e le elaborazioni che possono essere fatte attraverso le tabelle informative del progetto. È qui presentato l’abaco dei muri per la costruzione della *domus* nella sua fase IIA, dove sono riportati tutti i muri con le caratteristiche della loro famiglia, il loro volume, la fase di creazione e il materiale strutturale utilizzato. A queste colonne prodotte in modo autonomo da Revit ne sono state aggiunte due: Costo e Tempo di produzione. I calcoli di queste due colonne si basano sul lavoro di J. DeLaine “Bath of Caracalla”, dove la studiosa riesce a stilare i tempi e i costi di produzione dei materiali messi in opera; qui si è deciso di prendere in considerazione solo i tempi di produzione dei laterizi e dei costi. Nella tabella della DeLaine sono espressi un valore per il tempo di produzione di 175 giorni per persona nella produzione dei laterizi calcolato su un volume di 55 mc di sesquipedali. Questo per definire che una squadra di lavoratori specializzati, in un processo che va dalla cava alla produzione di mattoni, impiega 175 giorni.

Applicando questi valori ai volumi totali della *domus* il risultato è di 994,54 giorni per mc, ossia 2,73 anni; se per ipotesi si volesse imporre che il cantiere per la produzione sia durato un solo anno, si otterrà un risultato di 5,68 squadre per raggiungere tale obiettivo. Per quanto riguarda il costo dei lavori, DeLaine pone una relazione basata sul costo di un lavoratore specializzato ad una paga di 50 denari alla quale è dato un valore di 0,5; il costo del lavoro tiene conto di tutti i fattori nei quali incidono pesantemente il trasporto e l’approvvigionamento di legna per la cottura di mattoni. La risultante per il costo di produzione di 200 mc di mattoni è un valore di 3,8. Applicando questo ai volumi su espressi il valore è di 6,10 corrispondente a 610 *denarii* (DELAINE 1992) (Fig. 5). Quest’ultimo passaggio esprime a pieno le potenzialità dell’utilizzo del sistema BIM, grazie al quale è possibile studiare l’edificio anche all’esterno, nelle sue dinamiche di cantiere e non solo.

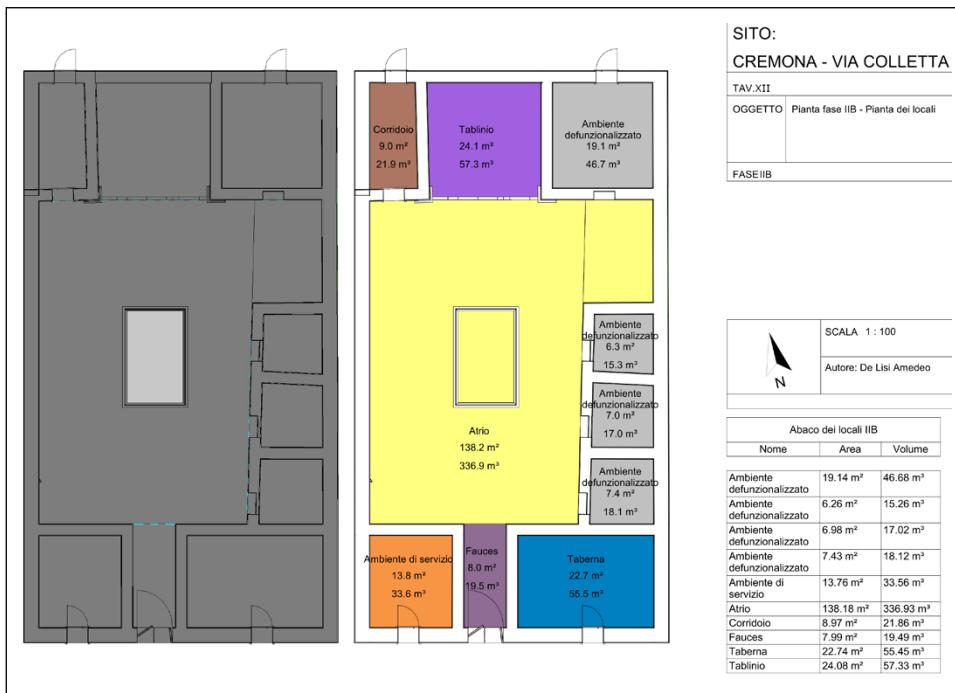


Fig. 4 – Pianta dei locali della fase IIB con abaco annesso.

11. CONCLUSIONI

In questo articolo si è voluto esporre come l'utilizzo del BIM, che a primo impatto può sembrare ostico, sia una soluzione per avere in un unico luogo l'analisi, la ricostruzione e lo studio di un manufatto archeologico. Nella prima parte si sono dovuti aggirare vincoli imposti dal programma stesso: il software è pensato per l'edilizia e l'architettura moderna ed è occorso adattarlo a quelle che sono le peculiarità dell'archeologia e dell'architettura antica. È emerso che le dinamiche di cantiere non si discostano molto da quelle moderne, come visto grazie all'utilizzo delle fasi in Revit.

La difficoltà è stata quella di creare gli elementi appartenenti all'architettura antica, colonne, elementi di finitura e dettaglio, rivestimenti parietali e pavimentali. La libertà che il programma fornisce nel creare le famiglie è stata la chiave per aggirare questo problema; dove queste non permettevano di raggiungere l'obiettivo si è ricorsi alla creazione di gruppi locali, funzionali e peculiari di un singolo edificio. I contesti archeologici non saranno mai uguali tra di loro e quest'ultimo passaggio, la creazione

Abaco dei muri X 0 - Piano Terra - IIA

<Abaco dei muri>

A	B	C	D	E	F
Famiglia	Volume	Fase di creazione	Materiale strutturale	Costo	Tempo produzione
Muro di base	3.44 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.07 m ³	10.65 m ³
Muro di base	4.71 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.09 m ³	14.60 m ³
Muro di base	5.52 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.10 m ³	17.12 m ³
Muro di base	5.71 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.11 m ³	17.70 m ³
Muro di base	7.61 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.14 m ³	23.59 m ³
Muro di base	7.82 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.15 m ³	24.23 m ³
Muro di base	9.02 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.17 m ³	27.96 m ³
Muro di base	9.46 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.18 m ³	29.34 m ³
Muro di base	10.20 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.19 m ³	31.62 m ³
Muro di base	10.88 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.21 m ³	33.74 m ³
Muro di base	10.99 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.21 m ³	34.07 m ³
Muro di base	11.59 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.22 m ³	35.93 m ³
Muro di base	12.23 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.23 m ³	37.92 m ³
Muro di base	14.03 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.27 m ³	43.49 m ³
Muro di base	15.30 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.29 m ³	47.43 m ³
Muro di base	15.54 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.30 m ³	48.18 m ³
Muro di base	15.80 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.30 m ³	48.98 m ³
Muro di base	15.83 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.30 m ³	49.07 m ³
Muro di base	18.33 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.35 m ³	56.81 m ³
Muro di base	20.05 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.38 m ³	62.14 m ³
Muro di base	21.79 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.41 m ³	67.54 m ³
Muro di base	26.78 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.51 m ³	83.03 m ³
Muro di base	48.20 m ³	Fase IIA	10_laterizio	0.92 m ³	149.41 m ³
Totale generale: 23 320.82 m ³				6.10 m ³	994.54 m ³

Fig. 5 – Abaco della famiglia “Muro di Base” con le risultanti dei calcoli per costo e tempo produzione.

di gruppi locali, sarà quasi sempre richiesta in ogni progetto. Una volta superato questo primo passaggio, il lavoro è agevolato dalla velocità con cui il programma compone l’edificio ed al tempo stesso elabora dati come volumi e superfici, che possono essere molto utili per lo studio dello stesso. Non è da dimenticare la parte preliminare che precede questo lavoro, quella archeologica vera e propria. Qui si scende nel particolare, nello studio dell’edificio in tutte le sue sfaccettature, dalla prima fase edilizia delle due dimore a quella della loro unione.

Tutte queste dinamiche sono espresse nel lavoro fatto e messe in evidenza nella redazione delle piante delle fasi edilizie IIA e IIB e nella pianta comparativa delle due dove sono posti in evidenza i lavori di demolizione e i conseguenti cambi di destinazione d’uso di alcuni ambienti. La cura del dettaglio, per quanto riguarda la composizione dei materiali utilizzati per

costruire il modello, non può non passare dallo studio dei materiali sul campo e in laboratorio. La campagna di rilievo per l'acquisizione e lo studio dei moduli dei laterizi e per le decorazioni pavimentali è stata un passaggio fondamentale per la creazione dei materiali in Revit, al fine di rendere il modello più simile al vero e soprattutto per produrre dati congrui per l'analisi dell'edificio. Lo studio delle decorazioni parietali fa ben comprendere come il lavoro sui materiali sia colonna portante di un progetto di questo tipo, ma il rapporto è bivalente poiché solo grazie all'utilizzo di un software simile è possibile mettere in risalto tutte le caratteristiche che compongono l'intonaco, i mosaici e i vari elementi di una *domus*.

Tutti questi passaggi, come lo studio delle piante, dei materiali edilizi e decorativi, del contesto, dei dati elaborati per giungere alla fruizione virtuale dell'ambiente, sono racchiusi, per così dire, in un'unica scatola che può essere aperta in diversi modi da utenti vari come lo studioso, che da questa può attingere ai dati finali prodotti, o il grande pubblico, il quale può avvicinarsi al contesto antico.

AMEDEO DE LISI
Università degli Studi di Milano
amedeo.delisi@unimi.it

BIBLIOGRAFIA

- ACCETTULLI E., FARINATI P. 2021, *Historical BIM, la metodologia applicata agli edifici storici*, Milano, Tecniche Nuove.
- ADAM J.P., 1988, *L'arte di costruire presso i romani: materiali e tecniche*, Milano, Longanesi.
- BACCHETTA A. 2003, *Edilizia rurale romana. Materiali e tecniche costruttive nella Pianura Padana (II sec. a.C.-IV sec. d.C.)*, Flos Italiae. Documenti di archeologia della Cisalpina romana, 4, Firenze.
- BACCHETTA A. 2017, *Il giardino*, in L. ARSLAN PITCHER (ed.), *Amoenissimis...aedificiis*, I, Mantova, SAP.
- BARATTI G. 2012, *Verso un approccio archeologico al rilevamento e alla modellazione tridimensionale*, «LANX», 13 (<https://doi.org/10.13130/2035-4797/3150>).
- BRAGANTINI I. 2023, *I temi egittizzanti nelle Domus del ninfeo e dei candelabri dorati*, in CECCHINI, VOLONTÉ, MARIANI 2023, 27-36.
- CANEPA M.C. 2023, *L'intervento conservativo e il riassemblaggio di alcuni frammenti pittorici della Domus dei candelabri dorati*, in CECCHINI, VOLONTÉ, MARIANI 2023, 145-152.
- CARPENTIERO L. 2018, *La metodologia BIM (Building Information Modelling) per l'acquisizione, l'elaborazione e l'integrazione dei dati di rilievo per lo studio, la conservazione e la valorizzazione del costrutto storico*, «Newsletter di Archeologia CISA», 9.
- CECCHINI N. 2023, *Rinnovamento e gusto per l'antico, la domus dei candelabri dorati in via Colletta*, in CECCHINI, VOLONTÉ, MARIANI 2023, 101-106.
- CECCHINI N., VOLONTÉ M. 2016, *Cremona, Palazzo Zuccari: i primi risultati delle indagini in un nuovo quartiere di età romana*, in C. ANGELELLI, D. MASSARA, F. SPOSITO (eds.), *Atti del XXI Colloquio AISCOM (Reggio Emilia 2015)*, Tivoli, Edizioni Scripta Manent, 141-147.
- CECCHINI N., VOLONTÉ M., MARIANI E. (eds.) 2023, *Pictura Tacitum Poema. Miti e paesaggi dipinti nelle domus di Cremona*, Bologna, Ante Quem.

- CENTOLA V. 2018, *I sistemi di copertura nelle domus di età romana*, Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Padova.
- DELAINE J. 1997, *Design and construction in Roman imperial architecture. The baths of Caracalla in Rome*, «Journal of Roman Archeology», 56, 64-88.
- EASTMAN C., LISTON K., SACKS R., TEICHHOLZ P. 2008, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractor*, Hoboken, Wiley.
- GARAGNANI S., GAUCCI A., GOVI A. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modelling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto, «Archeologia e Calcolatori»*, 27, 251-270 (<https://doi.org/10.19282/AC.27.2016.13>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A., MOSCATI P., GAIANI M. 2021, *ArchaeoBIM. Theory, Processes and Digital Methodologies for the Lost Heritage*, Bologna, Bononia University Press.
- GIULIANI C.F. 2006, *L'edilizia nell'antichità*, Roma, “L'Erma” di Bretschneider.
- LICHERI A. 2016, *Prospettive sull'utilizzo del building information modelling (BIM) in archeologia*, in P. BASSO, A. CARAVALE, P. GROSSI (eds.), *ArcheoFOSS. Free, Libre and Open Source Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica*, Atti del IX Workshop (Verona 2014), «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 8, 197-202 (<https://www.archcalc.cnr.it/supplements/articles/883>).
- MARIANI E. 2023, *Gli affreschi dalla domus dei candelabri dorati*, in CECCHINI, VOLONTÉ, MARIANI 2023, 107-113.
- POZZOLI S., BONAZZA M., VILLA W.S. 2020, *Revit 2021 per l'architettura. Guida completa per la progettazione BIM*, Milano, Tecniche nuove.
- RUGGIERI N. 2017, *Columen, cantherii, transtra et capreoli: intorno alla genesi delle incavallature lignee*, Firenze, Firenze University Press.
- SCIANNI A., SERLORENZI M., GRISTINA S., FILIPPI M., PALIAGA S. 2015, *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 7, 199-212 (<https://www.archcalc.cnr.it/supplements/articles/825>).

SITOGRAFIA

- <https://www.bimportale.com/hbim/>
<http://www.bimacademy.it/>
<http://Rhino3d.com/>
<https://enscape3d.com/>

ABSTRACT

This article aims to highlight how BIM technology can be both a tool for data collection and study of an archaeological artifact. In so doing, it will take the *Domus* dei Candelabri Dorati in Cremona, Italy, as a case study to review all the stages leading to the construction of a BIM information model from the data collection phase to the creation of a three-dimensional model. This model includes all the information of the SU in all its phases of life allowing us to follow the development of the building through time. In addition to this, the study of the dataset has the potential to contribute to understanding the dynamics behind the construction of the building, by calculating the time and cost of production of building materials.