

## BIM E ARCHEOLOGIA: I CASI STUDIO DEGLI ANFITEATRI ROMANI DI VERONA E POLA

### 1. INTRODUZIONE

L'impiego del Building Information Modeling in ambito ingegneristico e architettonico è pratica ormai assodata e largamente diffusa. Particolarmente rilevante, ai fini della definitiva affermazione di tale tecnologia, è stata la Direttiva Comunitaria 2014/24/CE del 26 febbraio 2014, la quale, nel tentativo di promuovere una modernizzazione intelligente, sostenibile ed inclusiva del settore dei contratti pubblici, ha proposto a tutti paesi membri l'adozione del BIM come principale metodo di progettazione e gestione di nuovi e vecchi edifici, in virtù delle sue evidenti capacità in termini di digitalizzazione, gestione, analisi e condivisione dei dati. Decisamente diversa appare, invece, la situazione nell'ambito dei beni culturali, dove, complice l'assenza di qualsiasi tipo di normativa al riguardo, si continua a discutere da oltre un decennio sul ruolo che il BIM può avere nello studio e nella gestione del patrimonio storico costruito, evidenziandone, caso per caso, vantaggi e svantaggi anche alla luce dei più recenti avanzamenti tecnologici in materia. L'ultima delle sfide lanciate al Building Information Modeling in tale settore è quella che prevede la sua applicazione a realtà di tipo archeologico. Si tratta di un ambito relativamente giovane e assolutamente singolare che mette a contatto due mondi apparentemente lontani tra loro costringendoli al dialogo e alla collaborazione, nell'ottica di dar vita ad un nuovo strumento che possa supportare ciascuna fase della ricerca archeologica sul campo, ma anche della gestione e valorizzazione di un sito archeologico (CARPENTIERO 2020).

Il seguente contributo mira ad analizzare le potenzialità, i vantaggi e i limiti di questo particolare campo d'applicazione del BIM attraverso la presentazione di due casi studio, quali gli anfiteatri romani di Verona e Pola, per ciascuno dei quali è stato realizzato un modello BIM basato su dati ottenuti tramite i tradizionali metodi della ricerca archeologica.

L.D., C.P.

### 2. BUILDING INFORMATION MODELING: DEFINIZIONE, GENESI E SVILUPPO

Molte sono le domande che possono affollare la mente di chi per la prima volta si affaccia al mondo del Building Information Modeling. Quesiti leciti, certo, ma a cui non è per nulla semplice dare una risposta, in quanto si pongono come interrogativi di un settore ancora giovane e caratterizzato da una forte e continua evoluzione. Alla stessa sigla BIM non è associabile una

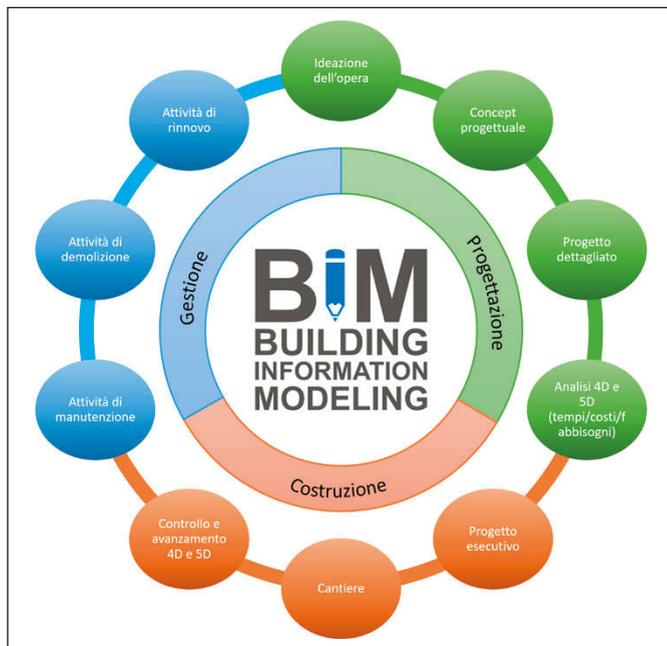


Fig. 1 – Resa schematica delle varie fasi componenti un processo BIM (elaborazione L. Doria).

definizione univoca, in quanto essa dipende dal peso e dal significato dato, di volta in volta, a ciascuno dei tre vocaboli componenti l’acronimo, ovvero ai termini Building, Information e Modeling. Allo stato attuale delle ricerche, la tendenza generale è quella di identificare il BIM non tanto con una particolare tipologia di modello 3D digitale informativo (CAPPARELLI 2019) quanto con tutte le attività che hanno portato alla realizzazione di quest’ultimo e con tutti i comportamenti futuri che da esso dipendono. In altre parole, il BIM è quel processo che, sfruttando le più moderne ICT technologies, porta alla creazione di strumenti digitali utili a pianificare e gestire tutto il lifecycle di un edificio, dalla fase concettuale a quelle di gestione e manutenzione (GARAGNANI *et al.* 2011, 2021; COUNSELL, TAYLOR 2017; SACKS *et al.* 2018) (Fig. 1).

Aspetto fondamentale di tale processo è la componente informativa, la quale, nonostante l’eterogeneità, viene raccolta e gestita tramite un sistema univoco, configurato come un grande archivio digitale interattivo. Ciò consente da un lato di ridurre al minimo le possibilità di errore e dall’altro di aumentare quelle di interrogazione, visualizzazione e analisi integrata dei dati, portando dei benefici anche in termini di ottimizzazione delle risorse disponibili, efficienza, sostenibilità e sicurezza sul lavoro e condivisione e

collaborazione tra i vari professionisti coinvolti nel progetto (GARAGNANI *et al.* 2012; ARAYICI 2015).

Tali risultati sono possibili grazie alla cosiddetta modellazione semantica o object-oriented: particolare tipo di modellazione digitale 3D, teorizzata da D.C. Engelbart agli inizi degli anni '60, basata sull'uso esclusivo di oggetti semantici, ovvero di strumenti virtuali dotati di attributi informativi (CAPPARELLI 2019; SCANDURRA 2020). Il primo a comprendere a pieno questa nuova tecnica di modellazione è stato C. Eastman, il quale, verso la metà degli anni '70, ne ha sfruttato le potenzialità per dare vita al BDS (Building Description System), innovativo approccio alla progettazione e alla gestione edilizia da molti considerato come il vero e unico antenato del BIM (EASTMAN 1974). Nonostante i vantaggi derivanti dall'uso di tale tecnologia siano più che evidenti, il BDS prima e il BIM poi hanno faticato a farsi strada nel complesso mondo della progettazione edilizia, a causa sia delle resistenze incontrate tra i fautori della tradizionale logica in auge nel settore in questione, quella che prevede l'utilizzo di un gran numero di tavole e viste 2D e 3D, sia dell'assenza di regolamenti ufficiali e di un linguaggio settoriale universale. Solo a partire dai primi anni 2000 si è cercato di sopperire a queste due mancanze, introducendo da un lato regolamenti e direttive che impongono l'utilizzo del BIM a livello nazionale e internazionale e dall'altro ideando un sistema di standard globalmente riconosciuti, noti sotto il nome di Industry Foundation Classes (IFC), utili alla generazione di database aperti, fruibili e interrogabili da chiunque senza problemi di linguaggio, copyright e altri diritti economici e commerciali (CAPPARELLI 2019; SCANDURRA 2020).

L.D.

### 3. IL BIM APPLICATO AL PATRIMONIO ARCHITETTONICO ESISTENTE

Da circa quindici anni, si è fatta largo l'idea di applicare il BIM al patrimonio architettonico esistente. I motivi alla base di tale intuizione sono essenzialmente due: uno di natura numerica, gli edifici storici sono molti di più rispetto alle nuove costruzioni, e l'altro di natura politica, le attuali normative in materia di edilizia e ambiente impongono di adeguare queste strutture a particolari standard qualitativi (FAI *et al.* 2010; EDWARDS 2017; CAPPARELLI 2019). Nonostante il BIM sia stato fin da subito individuato come il procedimento più adatto ad ottenere dei prodotti in grado di supportare le varie attività da condurre sull'architettura storica, il suo utilizzo in questo particolare ramo del settore edilizio risulta ancora limitato. Basti pensare che dal 2009, anno in cui il prof. M. Murphy applicò per la prima volta il BIM allo studio di edifici storici (MURPHY *et al.* 2013), i casi in cui tale approccio è stato utilizzato in contesti architettonici esistenti sono pochi. Tra i più virtuosi e noti a livello internazionale vi sono sicuramente quelli che hanno visto per

protagonisti l'Heritage Cottage in Galles (EDWARDS 2017), la Sidney Opera House in Australia (COUNSELL, TAYLOR 2017) e il villaggio industriale di Batawa in Canada (FAI *et al.* 2011). In Italia, invece, si possono citare i casi studio della Basilica di Sant'Ambrogio a Milano (BANFI *et al.* 2018) e della Chiesa dei Santi Sergio e Bacco a Roma (SCIANNA *et al.* 2015).

È chiaro che a questo deficit numerico corrisponda tutta una serie di problematiche, non sempre semplici da risolvere, di volta in volta riscontrate dai progettisti. Applicare la filosofia BIM a contesti appartenenti al patrimonio architettonico storico, infatti, implica rovesciarne completamente la logica, in quanto il fine ultimo non sarà più quello di progettare un edificio da costruire, ma quello di arrivare ad ottenere una rappresentazione digitale di uno stabile già esistente (GARAGNANI *et al.* 2016). Si tratta, in poche parole, di simulare digitalmente il processo costruttivo di un edificio esistente tramite l'utilizzo di oggetti semantici, ai quali viene associato il contenuto informativo derivante dallo studio preliminare dell'edificio stesso. A questa principale difficoltà se ne sommano spesso altre di natura più tecnica. La modellazione dei vari elementi architettonici costituenti gli edifici storici risulta di norma assai complicata, a causa delle loro forti irregolarità e specificità geometriche (GARAGNANI *et al.* 2012; CAPPARELLI 2019). Anche l'aspetto informativo del modello finale non è sempre di semplice realizzazione, i dati disponibili sono spesso incompleti o, comunque, difficili da trasferire all'interno di un ambiente BIM.

I metodi messi a punto finora sono essenzialmente due: lo Scan2BIM o HeritageBIM (HBIM) e l'HistoricBIM (HBIM) (GARAGNANI *et al.* 2021). Nello Scan2BIM gli output delle attività conoscitive preliminari, restituiti sotto forma di nuvole di punti, vengono direttamente utilizzati come base guida per la realizzazione del modello, ovvero vengono importati nel software di modellazione e ricalcati con gli oggetti semantici da questo offerto, ottenendo il cosiddetto digital twin dell'edificio considerato. Il più grande limite di questo approccio consiste nel fatto che nei casi in cui non è possibile soddisfare contemporaneamente canoni estetici e contenuto informativo, i primi prevalgono sempre sui secondi, dando luogo ad un modello BIM perfetto sotto il profilo realistico, ma poco preciso a livello informativo (GARAGNANI *et al.* 2012, 2021; CAPPARELLI 2019).

L'HistoricBIM, invece, prevede un uso indiretto delle nuvole di punti. Esse, preventivamente frazionate in tante parti quanti sono gli elementi architettonici dell'edificio da rappresentare, vengono utilizzate come database per estrarre dati geometrici, metrici ed estetici da sfruttare, assieme ad informazioni storiche, culturali, materiche e costruttive, in fase di modellazione di ciascun oggetto semantico. Così facendo si ottiene un prodotto finale molto ricco dal punto di vista informativo ma meno preciso sotto il profilo della resa stilistica in quanto, dove non è possibile soddisfarle entrambe, la

parametricità dei singoli oggetti semantici prevale sull'accuratezza estetica del modello finale (GARAGNANI *et al.* 2021).

Al netto di quanto appena detto, è bene sottolineare quali possono essere i vantaggi derivanti dall'applicazione di tali procedimenti. Oltre all'aumento delle conoscenze sull'edilizia storica, particolarmente interessante è lo scenario che individua in essi degli strumenti capaci di soddisfare le più attuali necessità in materia di ambiente e cultura. Sfruttando al massimo il contenuto informativo e le capacità simulative dei modelli BIM, infatti, è possibile ottenere dei prodotti in grado di gestire a 360° il patrimonio architettonico, dalla progettazione e realizzazione di interventi di restauro conservativo all'installazione di sistemi termici ed energetici in linea con gli attuali standard di emissione previsti dalle politiche ambientali internazionali (BAKR KHALIL 2017; EDWARDS 2017). Il workflow di tali processi, inoltre, ben si presta a dare una risposta alla tanto sentita questione dell'inclusività del patrimonio culturale. Le fasi di raccolta dati preliminare e di mantenimento e implementazione del modello possono favorire il coinvolgimento delle comunità locali nel settore culturale, offrendo a queste ultime la possibilità di contribuire più o meno attivamente e autonomamente al reperimento di informazioni (COUNSELL, NAGY 2017). Infine, non meno importante è la potenziale ricaduta positiva dell'HBIM in termini di sensibilizzazione delle comunità locali (COUNSELL, NAGY 2017). I prodotti finali di tali processi, infatti, possono essere sfruttati anche come supporti alla valorizzazione e alla divulgazione di massa.

L.D.

#### 4. BIM E ARCHEOLOGIA: UN BINOMIO (QUASI) INASPETTATO DAL FUTURO PROMETTENTE

Una delle sfide più stimolanti lanciate al BIM in ambito culturale è sicuramente quella che prevede la sua applicazione a realtà di tipo archeologico. Adattare la filosofia del Building Information Modeling all'archeologia, però, non è cosa semplice. A differenza degli edifici appartenenti al patrimonio storico costruito, quelli rinvenuti in contesti archeologici godono di uno stato di conservazione alquanto ridotto, risultando spesso allo stato di ruderi, fatto che rende necessaria l'ideazione di una metodologia diversa da quelle descritte in precedenza, capace sia di descrivere e rappresentare l'esistente che di proporre una ricostruzione attendibile e verosimile di ciò che è andato perso. Estremamente importanti in tal senso si sono rivelate le sperimentazioni effettuate, a partire dal 2016, da un team di ricercatori dell'Università di Bologna nell'ambito di un progetto di ricerca volto allo scavo, allo studio e alla ricostruzione grafica virtuale dell'antica città etrusca di Marzabotto (GAUCCI *et al.* 2015; GARAGNANI *et al.* 2021). È in questa occasione che S. Garagnani, sulla scia di quanto già proposto da A. Scianna

(SCIANNA *et al.* 2015), ha introdotto e sistematizzato un nuovo metodo da ricondurre alla vasta famiglia dei processi BIM: l'ArcheoBIM. Si tratta di un processo a metà tra il BIM e l'HBIM, poiché come il primo “progetta” o per meglio dire “ricostruisce” un edificio da zero, sulla base di dati ottenuti con la ricerca archeologica, ma, proprio come succede nel secondo, il modello realizzato non rappresenta una nuova costruzione ma riproduce qualcosa che è già esistito (GARAGNANI *et al.* 2016, 2021).

Tra i principali vantaggi derivanti dall'uso di questa metodologia vi sono sicuramente quelli legati alla possibilità di archiviare tutti i dati relativi al contesto analizzato all'interno di un solo database costantemente aggiornabile e facilmente visualizzabile e interrogabile dai fruitori e alla facoltà di validare dal punto di vista costruttivo le varie ipotesi ricostruttive avanzate dagli studiosi, tenendo conto delle informazioni concernenti i materiali e le tecniche costruttive in voga al tempo dell'effettiva edificazione. La validazione viene assicurata dallo stesso processo BIM: è quest'ultimo, infatti, che sottolinea di volta in volta le criticità e le problematiche della ricostruzione proposta, arrivando ad individuare la ricostruzione architettonicamente più convincente e, quindi, maggiormente verosimile.

Ovviamente, l'ArcheoBIM è affetto anche da alcune criticità. Una delle maggiori è senza dubbio quella di dover riprodurre le specificità e le irregolarità degli elementi architettonici antichi tramite l'utilizzo di oggetti semantici concepiti per la progettazione *ex-novo*. Ad oggi, infatti, non esistono sul mercato software per la progettazione BIM aventi nelle loro librerie standard oggetti parametrici capaci di riprodurre realisticamente le infinite peculiarità dell'architettura antica sia sotto il profilo visivo che dal punto di vista informativo. Ciò costringe gli operatori a dover progettare e realizzare degli oggetti semantici *ad hoc* per ogni caso studio, aumentando, e non poco, sia i tempi di elaborazione sia il grado di difficoltà del procedimento di produzione del modello digitale finale. Altra problematicità rilevante è quella dovuta alla non sempre esaustiva presenza di tutte le informazioni utili a caratterizzare sotto il profilo semantico gli oggetti da impiegare in fase di modellazione, fatto che si ripercuote negativamente sul carattere informativo del prodotto digitale finale, alimentandone l'imprecisione e aumentando i dubbi sulla sua attendibilità storica (GARAGNANI *et al.* 2021).

Attualmente le ricerche aventi per protagonista l'applicazione del BIM a contesti archeologici sono ancora poche, in virtù sia delle difficoltà metodologiche appena descritte che, soprattutto, della giovinezza del settore in questione. Tra queste, oltre alla già citata Marzabotto, sono da menzionare i casi di Altino (DEL POZZO, BALLETTI 2023), Massaciuccoli (SALA 2023), Pompei (BIANCARDO *et al.* 2023), del Foro Romano di *Liternum* (CANGIANO 2019) e di *Paestum* (BOSCO *et al.* 2020, 2021).

L.D.

## 5. IL BIM PER L'ARCHEOLOGIA: I CASI STUDIO DEGLI ANFITEATRI ROMANI DI VERONA E POLA

Al fine di testare le potenzialità dei processi BIM applicati a contesti archeologici e di valutarne criticamente i possibili vantaggi e svantaggi, si è deciso, nell'ambito di due ricerche condotte tra il 2020 e il 2022<sup>1</sup>, di applicare il metodo ArcheoBIM nello studio degli anfiteatri romani di Verona (MAFFEI 1728; GIULIARI 1821; POMPEI 1877; BASSO 1999, 2013; TOSI 2003; BOLLA 2012; MAGGI 2017) e Pola (MAFFEI 1728; MLAKAR 1997; BASSO 1999, 2013; KRIZMANIĆ 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), utilizzando due diversi software e progettando due diversi workflow.

Gli edifici sono stati selezionati quali casi studio in virtù sia del loro ottimo stato di conservazione, fatto che ha facilitato l'applicazione del BIM riducendo le operazioni di ricostruzione virtuale e offrendo l'opportunità di utilizzare un procedimento a metà tra l'ArcheoBIM e il più collaudato HistoricBIM, sia delle loro forti somiglianze morfologiche, dimensionali, materico-costruttive e storico-archeologiche, elementi funzionali a facilitare il confronto tra le metodologie utilizzate. Entrambi gli anfiteatri, infatti, si distinguono per le loro grandi dimensioni, la loro particolare planimetria pseudo-ellittica e l'utilizzo di materiali da costruzione ricavati da litotipi calcarei locali messi in opera secondo le medesime tecniche edilizie.

Anche dal punto di vista strutturale le analogie sono più che evidenti: tanto a Verona quanto a Pola infatti si è in presenza di edifici autoportanti caratterizzati da ambienti di sostruzione cavi e completamente percorribili. Uniche differenze in tal senso sono i condizionamenti imposti dal luogo scelto per la costruzione dei due complessi, fatto che ha permesso di testare le potenzialità del BIM anche nella riproduzione dei contesti ambientali limitrofi a questi ultimi. Infatti, se l'anfiteatro veronese è stato edificato, a seguito di interventi di bonifica e consolidamento geotecnico, su una porzione di piana alluvionale del fiume Adige, quello polese ha dovuto fare i conti con la presenza di un pendio collinare che, opportunamente adattato tramite una serie di tagli verticali e orizzontali, costituiva il sostegno del primo *maenium* delle gradinate orientali. Infine, altro punto di contatto tra le due realtà considerate è quello storico-archeologico. Esse sono state protagoniste di una sorte alquanto simile che le ha viste passare da frequentatissimi luoghi per cruenti spettacoli a cave di materiale edilizio a vetuste rovine in grado,

<sup>1</sup> Condotte rispettivamente in occasione di una tesi di laurea magistrale in Scienze Archeologiche (L. Doria, *Gli anfiteatri romani di Verona e Padova: dall'analisi alla restituzione grafica delle caratteristiche tecnico-costruttive*, relatrice: prof.ssa C. Previato, a.a. 2019/2020) e di una tesi di specializzazione in Archeologia (L. Doria, *L'uso del BIM in ambito archeologico: il caso studio dell'anfiteatro romano di Pola*, relatrice: prof.ssa C. Previato, a.a. 2021/2022), entrambe discusse presso l'Università di Padova.

a partire dalla fine del XVIII secolo, di attirare a più riprese le attenzioni di numerosi studiosi, ognuno dei quali ha contribuito alla formazione di una folta documentazione ad esse relativa. Come si vedrà, proprio quest’ultima è stata la principale fonte di informazione sfruttata nelle prime fasi dei workflow di seguito presentati.

L.D.

### 5.1 Workflow utilizzati

I workflow seguiti per la messa a punto dei modelli BIM ricostruttivi dei due anfiteatri (Fig. 2) risultano molto simili tra loro, differenziandosi solamente nella scelta del software di modellazione e nell’*iter* di realizzazione dei vari oggetti semantici utilizzati. Punto di partenza comune è stata una lunga e paziente fase di studio, momento che, complice l’impossibilità di recarsi direttamente sul campo dovuta alla pandemia, è per lo più coinciso con un’accurata ricerca bibliografica. Quest’ultima, finalizzata al recupero di tutte le informazioni, i rilievi e le rappresentazioni grafiche e fotografiche disponibili, ha permesso la realizzazione di esaustive banche dati, utili strumenti per un’analisi architettonica da remoto dei due monumenti e per la formulazione di ipotesi ricostruttive circa le loro fattezze originarie.

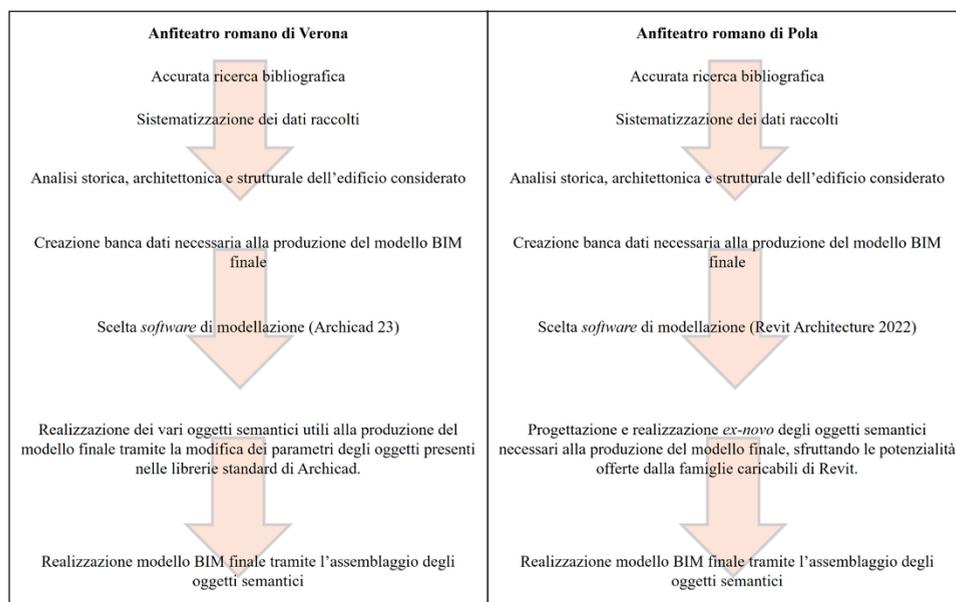


Fig. 2 – Schema riassuntivo di confronto dei workflow utilizzati (elaborazione L. Doria).

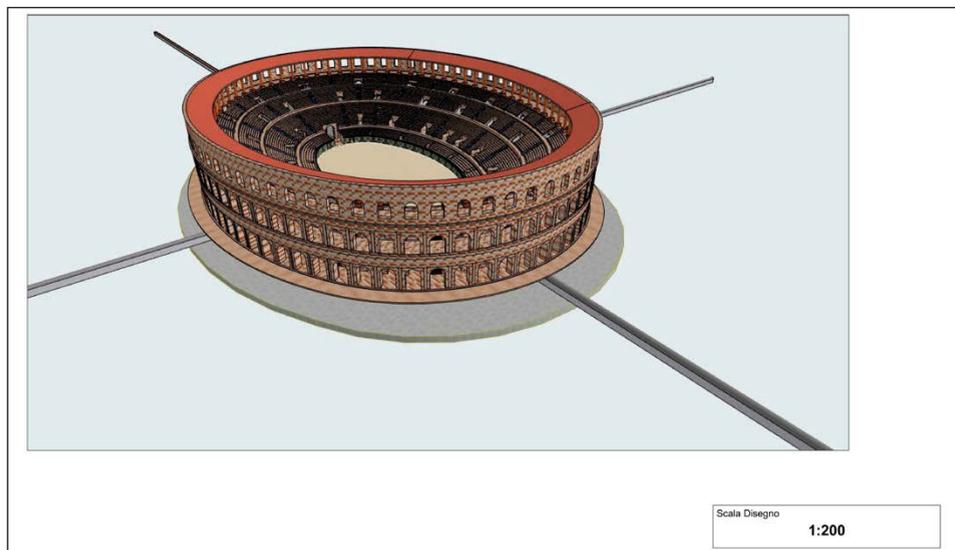


Fig. 3 – Modello BIM ricostruttivo del probabile stato originario dell’anfiteatro romano di Verona (elaborazione L. Doria).

Identica è stata anche la scelta di impiegare come base di riferimento per la realizzazione del modello finale una planimetria quanto più aggiornata possibile dello stato di fatto dei due edifici. Anche in questo caso ci si è dovuti affidare a quanto già presente in bibliografia, andando a selezionare le migliori planimetrie disponibili che, per quanto riguarda gli anfiteatri di Verona e Pola, sono state individuate in quelle pubblicate rispettivamente da J.C. GOLVIN (1988) e da Š. MLAKAR (1997). Le due rappresentazioni, opportunamente digitalizzate e ridimensionate in scala 1:1 grazie all’utilizzo di un software per il disegno vettoriale (Vectorworks v. 2020 e 2022), sono state importate nei programmi di modellazione e fissate, in un apposito layer, al centro dell’area di lavoro. L’accuratezza non sempre esaustiva dei dati metrici e dimensionali disponibili in bibliografia ha reso necessarie alcune integrazioni, effettuate sia attraverso sopralluoghi sul campo sia, soprattutto, tramite una minuziosa analisi di tutte le rappresentazioni grafiche recuperate. Queste ultime infatti, dopo essere state opportunamente ridimensionate e digitalizzate in ambiente CAD, si sono rivelate alquanto preziose nel recupero di informazioni metriche e dettagli non riportati in bibliografia.

Portate a termine queste prime fasi comuni ad entrambi i workflow, si è proceduto con la vera e propria realizzazione dei modelli BIM, attività che ha visto l’impiego di due software e due iter di modellazione diversi. Nel caso dell’anfiteatro veronese, si è optato per l’utilizzo di ARCHICAD 23. Il

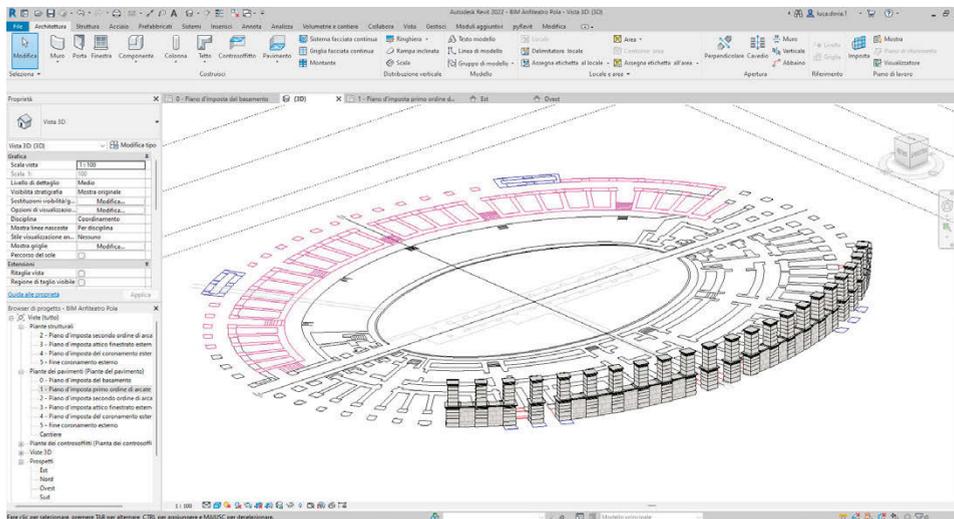


Fig. 4 – Modello BIM dell’anfiteatro romano di Pola in fase di realizzazione (elaborazione L. Doria).

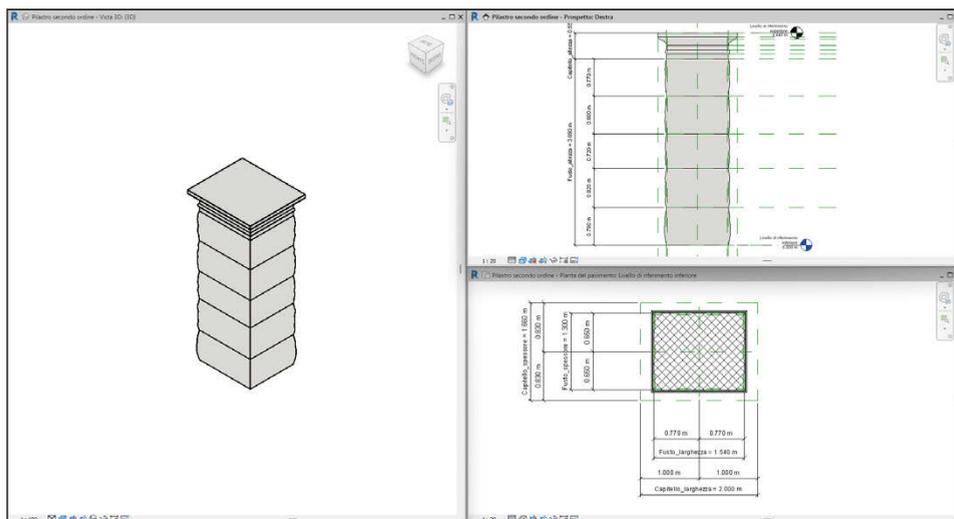


Fig. 5 – Vista tridimensionale, frontale e planimetrica di uno degli oggetti semantici realizzati tramite l’Editor delle Famiglie di Revit (elaborazione L. Doria).

Parametro	Valore
Forma sezione	Albero definito
<b>Materiali generati</b>	
Densità_Cemento	0192.00000 kg/m³
Densità_Cemento	2711.00000 kg/m³
Indice di assorbimento dell'acqua_Cemento (max. %)	1.000000
Indice di assorbimento dell'acqua_Cemento (max. %)	0.000000
Longitudinal wave velocity_Cemento asciutto (km sec <sup>-1</sup> )	3480.00000
Longitudinal wave velocity_Cemento asciutto (km sec <sup>-1</sup> )	4616.00000
Longitudinal wave velocity_Cemento saturo d'acqua (km sec <sup>-1</sup> )	2716.00000
Longitudinal wave velocity_Cemento saturo d'acqua (km sec <sup>-1</sup> )	4290.00000
Porosità_Cemento (vol. %)	16.000000
Porosità_Cemento (vol. %)	16.000000
Resistenza alla compressione_Cemento asciutto	36.500000 MPa
Resistenza alla compressione_Cemento asciutto	50.000000 MPa
Resistenza alla compressione_Cemento saturo d'acqua	32.500000 MPa
Resistenza alla compressione_Cemento post congelamento e scongelamento	22.000000 MPa
Resistenza alla compressione_Cemento post congelamento e scongelamento	26.500000 MPa
Resistenza alla compressione_Cemento post congelamento e scongelamento	40.000000 MPa
Resistenza alla compressione_Cemento	3.000000 MPa
Resistenza alla flessione_Cemento	10.000000 MPa
Resistenza alla flessione_Cemento	8.000000 MPa
<b>Proprietà fisiche</b>	
Descrizione	Placotto piano di base, con fusto dato da blocchi di calcare estratti dalle cave di Vincuran (Cemento e Coquente) lavorati a bugnato poco
Funzione	Parametro
Fonti utilizzate	Bibliografiche
Nota	Avvertire l'aspetto progettato sul piano pavimentale dell'ordine
Fonte_materiale	Calcare estratto da Vincuran (Cemento, Coquente, Macrocoquente)
Fonte_assemblaggio	Blocchi quadrati, con fusto a vite lavorati a bugnato poco aggettante e piani di base e di attacco ben rifiniti messi in opera a secco uniti
Capitolo_topologia	Tuocanna
Capitolo_materiale	Calcare estratto da Vincuran (Cemento, Coquente, Macrocoquente)
Capitolo_assemblaggio	Strada bianca messa in opera a secco sulla base del fusto.
Indice_LaD	0
Immagine tipo	Placotto secondo ordine.png
Nota schiava	
Miscelato	
Prochiloforo	
Contenenti sul tipo	
URL	
Codice anagrafe	
Carico	
Traccia minima espansione	

Fig. 6 – Tabella degli attributi di uno degli oggetti semantici realizzati tramite l'Editor delle Famiglie di Revit (elaborazione L. Doria).

lavoro è stato suddiviso in più step, in modo da tenere sempre controllata la realizzazione del modello e simulare quello che potrebbe essere stato l'iter costruttivo antico, favorendo una maggiore comprensione delle caratteristiche e delle funzionalità delle varie componenti architettoniche dell'edificio.

Innanzitutto, vista l'assenza nelle varie librerie standard del software di oggetti semantici in grado di riprodurre le fattezze e le caratteristiche degli elementi architettonici antichi, ci si è concentrati sulla loro creazione. A tal fine si è optato per la semplice modifica dei parametri descrittivi di alcuni dei materiali e degli oggetti presenti nelle librerie standard del software, limitando al minimo la creazione di strumenti semantici da zero in modo da rendere, talvolta purtroppo anche a discapito del contenuto informativo, la modellazione meno complessa e più snella. Una volta fatto ciò, si è potuto procedere con la fase di vera e propria costruzione del modello finale che è coincisa essenzialmente con il semplice assemblaggio dei vari oggetti semantici creati in precedenza. In tal modo è stato possibile ottenere l'esatta rappresentazione virtuale delle strutture ancora visibili e non dell'anfiteatro di Verona (Fig. 3). L'intero processo ha richiesto complessivamente 360 ore di lavoro, distribuite nell'arco di tre mesi, e la creazione di 2200 oggetti tridimensionali.

Per quanto concerne l'anfiteatro romano di Pola invece, si è deciso di utilizzare la versione Architecture di Revit, scelto per via della sua maggiore versatilità e del fatto che è stato impiegato anche da altri studiosi in situazioni simili a quella considerata. Ciò ha ridotto considerevolmente il tempo

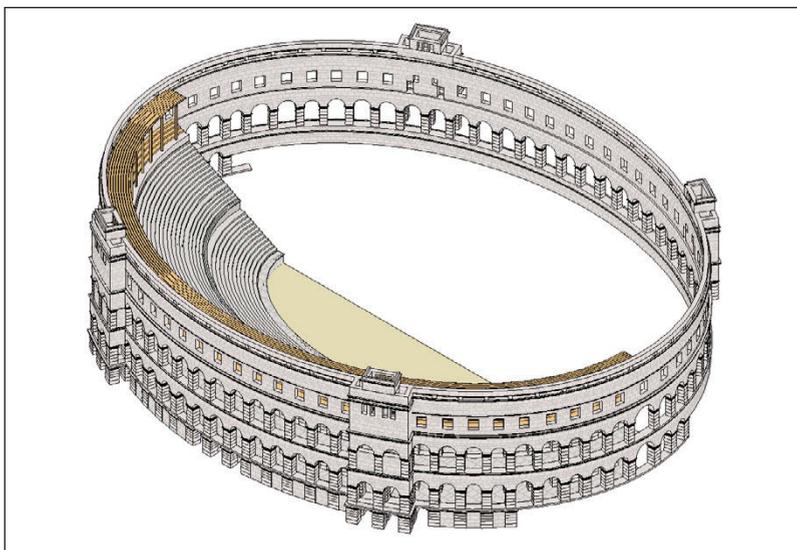


Fig. 7 – Vista prospettica da SO del modello BIM dell’anfiteatro romano di Pola (elaborazione L. Doria).

e il numero di oggetti semantici necessari alla produzione del modello BIM finale, per il quale sono state necessarie 180 ore di lavoro e poco più di 1400 elementi parametrici. Anche in questo caso si è deciso di suddividere la modellazione in più step, partendo dalla realizzazione di tutti i materiali e gli oggetti semantici necessari alla creazione del prodotto finale e arrivando al loro assemblaggio secondo quello che potrebbe essere stato l’iter costruttivo antico (Fig. 4). Diversamente da quanto fatto per il modello BIM dell’edificio veronese, ciascun elemento architettonico dell’anfiteatro romano di Pola non è stato digitalmente riprodotto modificando i parametri degli oggetti semantici presenti nelle librerie standard del software di modellazione, bensì è stato ottenuto realizzando da zero degli strumenti digitali *ad hoc* (Fig. 5). Ciò è stato possibile grazie all’utilizzo del cosiddetto Editor delle Famiglie, particolare modalità grafica offerta da Revit che permette la creazione di oggetti semantici personalizzati che, dopo essere stati memorizzati in librerie esterne a quella di sistema, possono essere caricati e liberamente impiegati in ambiente di modellazione (Fig. 6). Molto interessante, al fine di comprendere più approfonditamente le potenzialità e le funzionalità di tale strumento, potrebbe risultare un suo utilizzo in relazione alla tematica dell’interoperabilità dei modelli BIM e, in particolare, della condivisione di dati tra software diversi. Purtroppo, per ragioni legate sia ai tempi di realizzazione disponibili sia alla volontà di concentrarsi maggiormente sui processi BIM da applicare

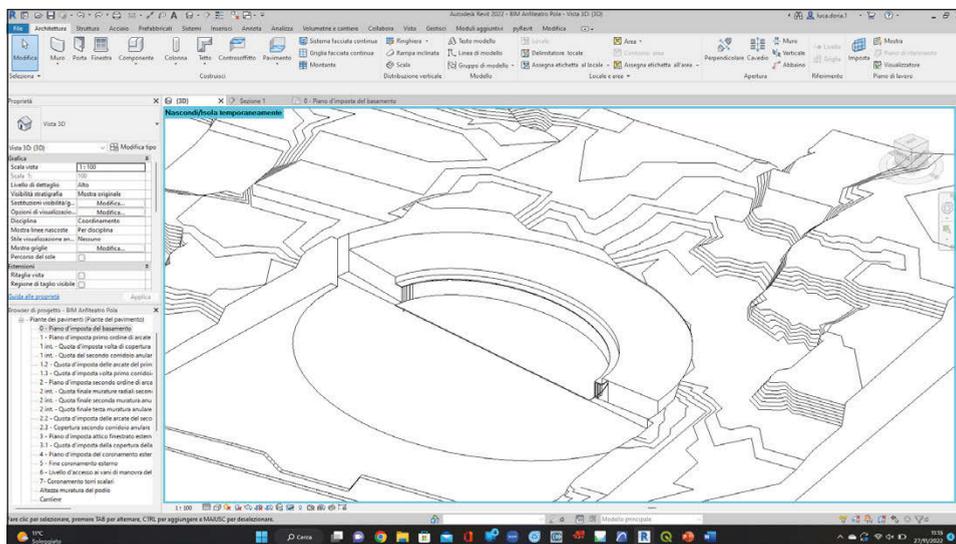


Fig. 8 – Superficie topografica riprodotte l'ambiente circostante l'anfiteatro romano di Pola in fase di modellazione (elaborazione L. Doria).

ai singoli casi studio, non è stato possibile dedicarsi adeguatamente a questo argomento che costituisce un ottimo stimolo per ricerche future.

Singolari, nel computo della realizzazione del modello BIM dell'edificio polese, sono state, poi, le scelte che hanno portato alla ricostruzione digitale dell'aspetto originario della sua sola metà occidentale e alla sommaria riproduzione del pendio collinare a cui esso venne parzialmente addossato (Fig. 7). Le motivazioni alla base di tali decisioni sono sostanzialmente due, ovvero rispettivamente mettere in pratica un procedimento BIM che si potesse a metà tra l'HistoricBIM e l'ArcheoBIM, mantenendo ben distinti gli output dei due processi nel prodotto finale, e testare le capacità del Building Information Modeling nell'analisi e nella riproduzione dei contesti ambientali, similmente a quanto già proposto da A. Bosco e A. D'Andrea per *Paestum* (Bosco *et al.* 2020, 2021).

Quest'ultimo obiettivo è stato raggiunto sfruttando le potenzialità informative di un DEM della microarea considerata che, dopo essere stato gratuitamente scaricato online e opportunamente gestito in ambiente GIS per estrapolarne un file contenente le curve di livello, è stato importato nel software di modellazione e utilizzato come guida per la realizzazione di una superficie topografica riprodotte l'ambiente circostante l'edificio (Fig. 8).

L.D.

## 6. IL BIM APPLICATO ALL'ARCHEOLOGIA: UN BILANCIO

I casi studio appena presentati si sono dimostrati estremamente utili nel testare le potenzialità del BIM applicato a realtà di tipo archeologico, mettendone a nudo i pro e i contro e permettendo di comprenderne le possibili ricadute nella tradizionale metodologia archeologica. L'alto grado di conservazione degli edifici per spettacoli di Verona e Pola, inoltre, ha permesso di saggiare la bontà e i limiti di tale tecnologia non solo quale strumento di studio, analisi, ricostruzione e riproduzione di strutture non più esistenti ma anche come procedimento in grado di esaminare, descrivere e digitalizzare le specificità geometriche, materiche, strutturali e tecnico-costruttive proprie di elementi architettonici antichi ancora visibili.

Fondamentale ai fini del raggiungimento di tutti gli obiettivi preposti è stata la presa di coscienza della natura stessa del BIM, che non è un semplice metodo di modellazione 3D digitale ma coincide con un processo volto a disciplinare tutto il ciclo di vita di un edificio. Ciò ha determinato la necessità di dover valutare il BIM non tanto in base all'aspetto e alle caratteristiche del suo prodotto finale quanto piuttosto sulla base del workflow che ha condotto alla realizzazione di quest'ultimo e delle implicazioni che esso può avere nello studio e nella gestione delle strutture reali che rappresenta.

Alla luce di quanto appena detto, non si può non giudicare positivamente il portato delle prime fasi dei flussi di lavoro descritti nel paragrafo precedente, ovvero quelle conoscitive. Il BIM, qualunque sia il suo campo di utilizzo, richiede un'approfondita conoscenza del soggetto a cui viene applicato e ciò, in ambito archeologico, si esplica nella necessità di analizzare nel dettaglio un edificio e di raccogliere quante più informazioni dimensionali, materiche e tecnico-costruttive su di esso e sul suo processo costruttivo, determinando quindi un considerevole aumento di conoscenza dell'edificio stesso. Uniche difficoltà riscontrate in queste prime fasi sono state quelle dovute al reperimento dei dati utili alla buona riuscita dei successivi step del workflow. Nel caso di realtà archeologiche già note e studiate, quali sono gli anfiteatri romani di Verona e Pola, tali criticità, ravvisabili soprattutto nella frequente assenza di informazioni dimensionali complete ed esaustive, sono state ovviate rispettivamente tramite sopralluoghi sul campo e attraverso una minuziosa analisi delle rappresentazioni grafiche disponibili in bibliografia.

Molto più ostiche si sono dimostrate le problematiche legate alle fasi di progettazione ed effettiva realizzazione dei modelli BIM finali. A prescindere dal software utilizzato, la difficoltà maggiore è stata quella di dover ripensare il normale flusso di lavoro dei processi BIM al fine di poterlo applicare ai due contesti considerati. Il punto di partenza, infatti, non era più quello di creare informazioni per progettare la realtà futura, bensì quello di acquisire dati dalla realtà per produrre una rappresentazione digitale che sostenesse la futura

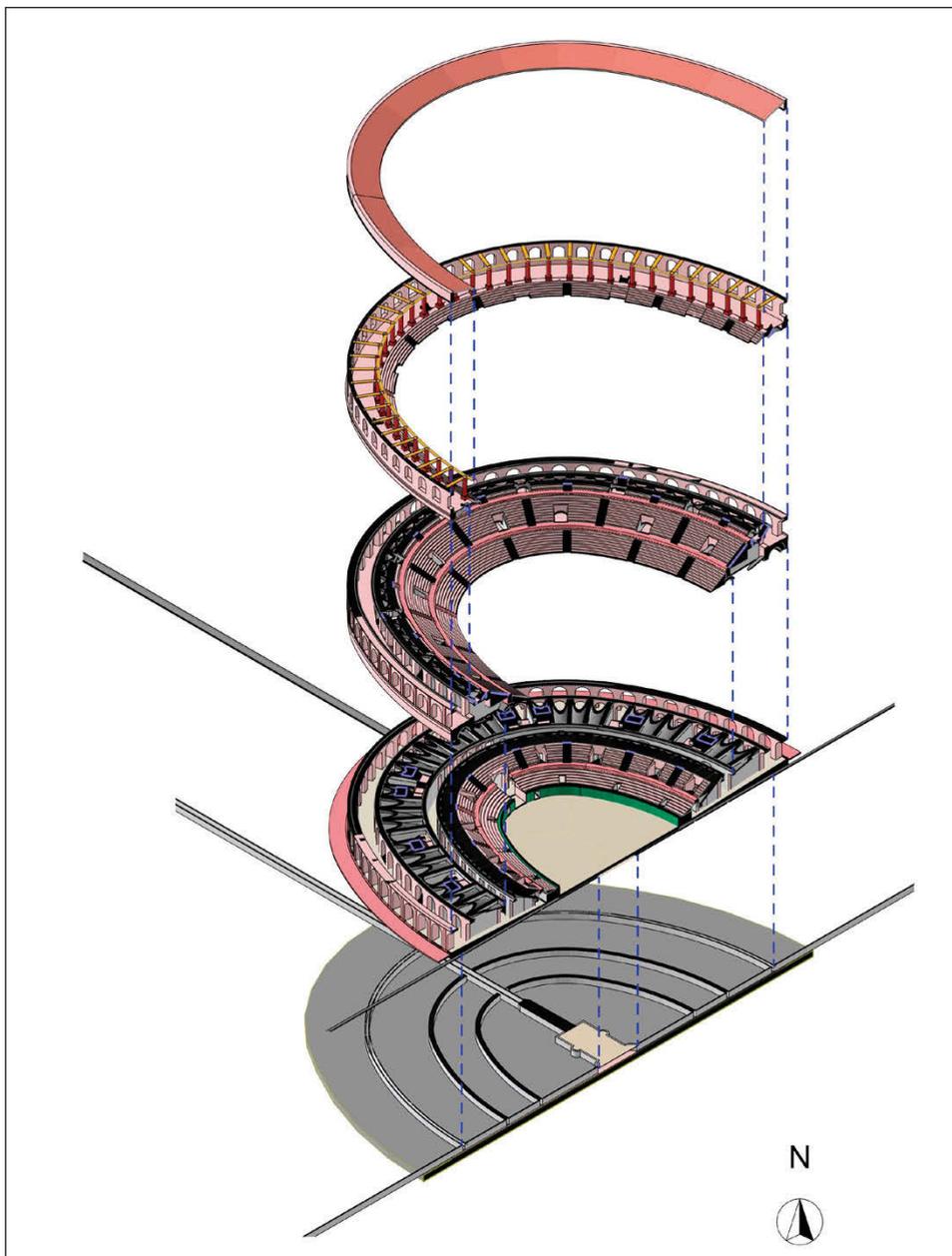


Fig. 9 – Esploso assometrico dell’anfiteatro romano di Verona, realizzato estraendo dal modello HBIM una vista assometrica tagliata lungo l’asse minore in corrispondenza di ciascun piano dell’edificio (elaborazione L. Doria).

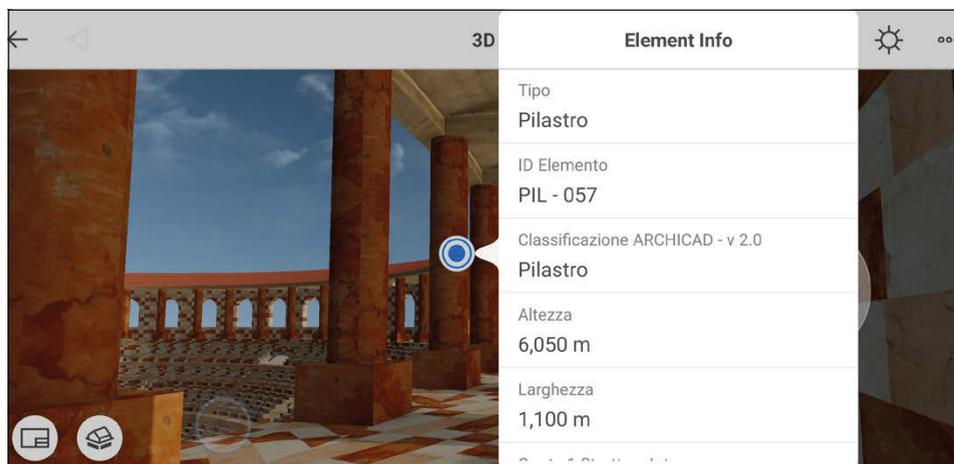


Fig. 10 – L'utilizzo del BIM per la valorizzazione e la divulgazione del patrimonio culturale. Esempio di interrogazione di uno degli oggetti semantici componenti il modello HBIM dell'anfiteatro romano di Verona tramite l'utilizzo dell'applicazione per device mobili "BIMx" (elaborazione L. Doria).

gestione della stessa. Ciò si è tradotto nella necessità di dover completamente rovesciare la tradizionale logica del Building Information Modeling, arrivando ad utilizzare quella propria dei processi HBIM e ArcheoBIM e scontrandosi con tutta una serie di criticità non sempre facili da risolvere. Tra queste la più evidente è stata sicuramente quella dovuta alla pressoché totale mancanza, nelle librerie standard dei due software scelti per la modellazione, di oggetti semantici in grado di descrivere realisticamente e sotto il profilo informativo le specificità degli elementi architettonici antichi. Problematicità che, come già riportato in precedenza (v. *supra*), è riscontrabile praticamente in tutti i casi studio aventi per protagonista questo tipo di approccio all'architettura antica e che si ripercuote negativamente sul grado di difficoltà e sui tempi di elaborazione del prodotto finale così come sulla sua autenticità.

Nei casi in questione la risposta a tale difficoltà è stata individuata nella modellazione *ad hoc* di tutti gli elementi parametrici necessari alla costruzione dei due modelli, attività che ha richiesto dei tempi di progettazione e realizzazione molto elevati e che ha puntualmente posto l'operatore di fronte ad una scelta, ovvero se privilegiare il contenuto informativo o l'aspetto realistico dell'oggetto semantico in via di sviluppo. A tal proposito è stata adottata una strategia equilibrata, cercando sempre di raggiungere un compromesso che non danneggiasse profondamente nessuno dei due valori in gioco.

Complessivamente, i risultati ottenuti sono soddisfacenti: i processi BIM utilizzati hanno infatti condotto alla realizzazione di prodotti finali estremamente efficaci tanto esteticamente quanto sotto il profilo informativo,

dimostrandosi perfettamente capaci di riprodurre le specificità delle componenti architettoniche antiche e di validare, tramite i canoni dell'edilizia contemporanea in essi insiti, le ipotesi ricostruttive proposte (Fig. 9). Significativa è, poi, anche la possibilità di aggiornare, interrogare e condividere i dati contenuti nei prodotti finali, fatto che rende il BIM un utile supporto alla pianificazione di interventi conservativi, e alla divulgazione, se condiviso e reso accessibile (Fig. 10).

Per concludere, con le opportune modifiche e migliorie, il Building Information Modeling può costituire un valido aiuto per lo studio e l'analisi degli edifici antichi, orientando con il suo rigido sistema di archiviazione dei dati la raccolta delle informazioni sul campo, "costringendo" l'operatore a ricostruire e ripercorrere le diverse tappe dei processi costruttivi antichi e aumentando la sinergia tra archeologi ed esperti di altre discipline nell'ottica di ottenere dei prodotti di qualità al servizio della ricerca, della tutela, della didattica e della valorizzazione.

L.D., C.P.

LUCA DORIA, CATERINA PREVIATO

Dipartimento dei Beni Culturali  
Università degli Studi di Padova

luca.doria.1@studenti.unipd.it, caterina.previato@unipd.it

## BIBLIOGRAFIA

- ARAYICI Y. 2015, *Building Information Modeling*, London, Bookboon Publisher (<https://bookboon.com/premium/reader/building-information-modeling>).
- ARAYICI Y., COUNSELL J., MAHDJOUBI L., NAGY G., HAWAS S., DEWIDAR K. 2017, *Heritage Building Information Modelling*, Leipzig, Routledge.
- BAKR KHALIL H. 2017, *HBIM and environmental simulation: Possibilities and challenges*, in ARAYICI *et al.* 2017, 190-202.
- BANFI F., STANGA C., BRUMANA R. 2018, *A Digital workflow for Built Heritage: From SCANTO-BIM process to the vr-tour of the Basilica of Sant'Ambrogio in Milan*, in M. IOANNIDES, *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation and Protection*, Cham, Springer, 334-343.
- BASSO P. 1999, *Architettura e memoria dell'antico. Teatri anfiteatri e circhi della Venetia romana*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 262-267.
- BASSO P. 2013, *Gli edifici per spettacoli*, in P. BASSO, G. CAVALIERI MANASSE, *Storia dell'architettura nel Veneto. L'età romana e tardoantica*, Venezia, Marsilio Editori.
- BIANCARDO S.A., INTIGNANO M., VEROPALUMBO R., MARTINELLI R., CALVANESE V., AUTILIANO F., GARILLI E., GIULIANI F., DELL'ACQUA G. 2023, *BIM approach for stone pavements in archaeological sites: The case study of Vicolo dei Balconi of Pompeii*, «Transportation Research Interdisciplinary Perspectives», 17 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.trip.2023.100755>).
- BOLLA M. 2012, *L'arena di Verona*, Sommacampagna, Cierre Edizioni.
- BOSCO A., CARPENTIERO L., D'ANDREA A., MINUCCI E., VALENTINI R. 2020, *A parametric model to manage archaeological data*, in IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage 2020, New York, Curran Associates, 220-225.

- BOSCO A., CARPENTIERO L., D'ANDREA A., MINUCCI E., VALENTINI R. 2021, *Developing an ABIM system: A new prospective for archaeological data management*, «Archeologia e Calcolatori», 32.2, 167-176 (<https://doi.org/10.19282/ac.32.2.2021.15>).
- CANGIANO A. 2019, *Giugliano in Campania (Na). Liternum, dalla realtà al modello digitale* (<https://www.archeomedia.net/giugliano-in-campania-na-liternum-dalla-realta-al-modello-digitale/>).
- CAPPARELLI F. 2019, *Soluzioni BIM per l'architettura e l'archeologia: il caso del Kyrenia Shipwreck Museum, un percorso di 25 secoli*, Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Scuola di architettura, Firenze (<https://www.bimportale.com/wp-content/uploads/2021/03/FI-Soluzioni-BIM-per-l%E2%80%99architettura-e-l%E2%80%99archeologia.pdf>).
- CARPENTIERO L. 2020, *Il BIM come modello di gestione di un sito archeologico. Oltre i limiti dell'oggetto parametrico tra criticità e nuove proposte*, «Newsletter di Archeologia CISA», 11, 69-89.
- COUNSELL J., NAGY G. 2017, *Participatory sensing for community engagement with HBIM*, in ARAYICI *et al.* 2017, 242-256.
- COUNSELL J., TAYLOR T. 2017, *What are the goals of HBIM?*, in ARAYICI *et al.* 2017, 15-31.
- DEL POZZO E., BALLETTI C. 2023, *Bridging the gap: An open-source GIS+BIM system for archaeological data. The case study of Altinum, Italy*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLVIII-M-2, 491-498 (<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-491-2023>).
- EASTMAN C.M. 1974, *An Outline of the Building Description System* (<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf>).
- EDWARDS J. 2017, *It's BIM - but not as we know it!*, in ARAYICI *et al.* 2017, 6-14.
- FAI S., GRAHAM K., DUCKWORTH T., WOOD N., ATTAR R. 2011, *Building Information Modeling and Heritage Documentation* (<https://www.cipaheritagedocumentation.org/wp-content/uploads/2018/12/Fai-e.a.-Building-information-modelling-and-heritage-documentation.pdf>).
- GARAGNANI S., GAUCCI A., GOVI E. 2016, *ArchaeoBIM: dallo scavo al Building Information Modeling 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.
- GARAGNANI S., LUCIANI S.C., MINGUCCI R. 2011, *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura. Building Information Modeling: Digital technology serving architectural design*, «Disegnare con», 5-19.
- GARAGNANI S., LUCIANI S.C., MINGUCCI R. 2012, *Dal CAD al BIM: evoluzione di acronimi o rivoluzione nel mondo della progettazione?*, «Disegnare idee immagini», 44, 68-79.
- GAUCCI A., GARAGNANI S., MANFREDINI A.M. 2015, *Reconstructing the lost reality. Archaeological analysis and transmedial technologies for a perspective of Virtual Reality in the Etruscan city of Kainua*, in R. SCOPIGNO, G. GUIDI (eds.), *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Congress on Digital Heritage*, 2, 21, 1-8, Granada, IEEE.
- GIULIARI B. 1821, *Relazione degli scavi fatti nell'anfiteatro di Verona l'anno 1819*, Verona.
- GOLVIN J.C. 1988, *L'amphitheatre romain: essai sur la theorisation de sa forme et de ses fonctions*, Paris, Centre Pierre Paris.
- KRIZMANIĆ A. 2016, *Amfiteatar u Puli: Istraživanja o izvornom izgledu iz sredine 1. st. pr. Kr.*, «Prostor», 24, 133-155.
- KRIZMANIĆ A. 2017, *Amfiteatar u Puli: Putovi kretanja gledatelja i stubišni tornjevi*, «Prostor», 25, 217-239.
- KRIZMANIĆ A. 2018, *Amfiteatar u Puli: Vodoopskrbni sustav*, «Prostor», 26, 219-231.
- KRIZMANIĆ A. 2019, *Amfiteatar u Puli: Zbrinjavanje nečistih voda*, «Prostor», 27, 3-13.

- KRIZMANIĆ A. 2020, *Amfiteatar u Puli: Velarij*, «Prostor», 28, 203-219.
- MAFFEI S. 1728, *Degli anfiteatri e singolarmente del veronese*, Verona, Alberto Tumermani Editore.
- MAGGI S. 2017, *Anfiteatri e città nella Cisalpina romana (dall'antichità al contemporaneo)*, Pavia, Pavia University Press.
- MLAKAR Š. 1997, *L'anfiteatro di Pola*, Pola, Museo Archeologico dell'Istria.
- 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.
- POMPEI A. 1877, *Studi intorno all'anfiteatro di Verona*, Verona, Tipografia Apollonio.
- SACKS R., EASTMAN C., LEE G., TEICHOLZ P. 2018, *BIM handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers*, New Jersey, Wiley.
- SALA F. 2023, *From Vitruvio to ArchaeoBIM. BIM reconstruction of the archaeological context of Massaciucoli (LU)* (<https://www.mappalab.eu/en/from-vitruvio-to-archaeobim-bim-reconstruction-of-the-archaeological-context-of-massaciucoli-massarosa-lu/>).
- SCANDURRA S. 2020, *La modellazione informativa del patrimonio architettonico. Sperimentazioni e processi Cloud-to-HBIM*, Roma, Aracne.
- SCIANNA 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/indice/Suppl\\_7/22\\_Scianna\\_et\\_al.pdf](https://www.archcalc.cnr.it/indice/Suppl_7/22_Scianna_et_al.pdf)).
- TOSI G. 2003, *Gli edifici per spettacoli nell'Italia romana*, Roma, Quasar.

## ABSTRACT

In recent years, the experience gained in the field of historical built heritage has led scholars to propose Building Information Modeling as a new approach to archaeological research, fostering the birth and development of a new method to be ascribed to the vast family of BIM processes: ArchaeoBIM. What are the advantages and limitations of this technique? What specific skills does it require? What is its value in terms of costs and benefits? What difficulties does it present? To what results does it lead? The following contribution aims to answer these questions and to analyse the potential, advantages and limits of this particular field of application of BIM through the presentation of two case studies, namely the Roman amphitheatres of Verona and Pula, for each of which a BIM model has been created based on data obtained through traditional archaeological research methods. To this end, after an excursus on the genesis and development of BIM and its application to contexts belonging to the historical built environment and archaeology, the workflow followed, the tools used, the difficulties encountered and the results obtained will be illustrated for each case study.

