

# **Integrazione tra le metodologie BIM e LIM per la conservazione e la valorizzazione dei beni architettonici e archeologici**

Autori: Alessandra Monorchio

Sergio Pratali Maffei

Referente Scientifico: Sergio Pratali Maffei

Dipartimento di Ingegneria e Architettura

## ABSTRACT

La ricerca indaga le relazioni tra il BIM - Building Information Modeling e il LIM - Lidar Information Model (Advanced 3D), al fine di individuare i procedimenti più idonei da adottare con riferimento all'analisi e all'intervento sul patrimonio costruito storico.

La prima fase della ricerca è stata dedicata alla definizione dello stato dell'arte, ovvero alla elaborazione di un quadro conoscitivo comparativo delle metodologie e degli applicativi software utilizzati nel settore del BIM applicato ai beni culturali. Parallelamente sono state analizzate le peculiarità dei sistemi LIM, individuando gli elementi attraverso i quali poter sovrapporre le caratteristiche dell'Advanced 3D ai sistemi tradizionali di modellazione parametrica, propri dei sistemi BIM.

La seconda fase della ricerca ha previsto la sperimentazione e la verifica delle possibilità di interazione tra i due sistemi, affrontando contestualmente gli aspetti concettuali e operativi, attraverso la definizione di diversi approcci metodologici, in relazione ai differenti obiettivi, in grado di contemperare le varie esigenze, in particolare quelle di correttezza scientifica e di interoperabilità tra i due sistemi.

## KEYWORDS

HBIM, conservazione, valorizzazione, beni architettonici, beni archeologici.

## PROFILO BIOGRAFICO

Alessandra Monorchio, architetto, consegue la laurea presso l'Università degli Studi di Trieste nel 2010 con la tesi "Storia e restauro di un castello: il caso di Gradisca d'Isonzo". Dal 2015 svolge attività professionale nel campo della progettazione architettonica e del restauro, intervenendo su beni tutelati quali la cinta muraria della Fortezza di Gradisca d'Isonzo, Palazzo Attems Petzenstein a Gorizia e Porta Udine a Palmanova.

Sergio Pratali Maffei, architetto e dottore di ricerca in Conservazione dei beni architettonici, è professore associato di Restauro all'Università degli Studi di Trieste, dove coordina il Centro Interdipartimentale per la Scienza e la Tecnologia applicate ai beni culturali. Autore di oltre duecento pubblicazioni, ha collaborato con diverse riviste scientifiche, coordinato ricerche nel campo della conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico, diretto progetti di cooperazione internazionale per la tutela del patrimonio culturale nell'area balcanica e in America Latina.

### 1. PREMESSA

La ricerca della quale si presenta qui una sintesi, dal titolo "Integrazione tra le metodologie BIM e LIM per la conservazione e la valorizzazione dei beni architettonici e archeologici", si è posta come obiettivo quello di indagare le relazioni tra il BIM - Building Information Modeling e il LIM - Lidar Information Model (Advanced 3D)<sup>1</sup>, al fine di individuare i procedimenti più idonei da adottare con riferimento all'analisi e all'intervento sul patrimonio costruito storico.

Sono state quindi verificate le possibili interazioni tra la modellazione BIM, concepita esclusivamente per le nuove costruzioni, e quella LIM, in grado invece di documentare con un altissimo livello di precisione le peculiari caratteristiche morfologiche e fisico-materiche dell'architettura storica e dei siti archeologici. Si è evidenziato come uno strumento, per quanto sofisticato, come il BIM spinga a ricondurre la realtà fisica a geometrie semplificate, non potendo quindi essere direttamente applicato a elementi che viceversa presentano sempre morfologie complesse e articolate. Inoltre il BIM non consente di registrare e rappresentare le differenti condizioni delle superfici dei manufatti architettonici e archeologici, dovute non solo alla compresenza di materiali disomogenei, ma anche al loro diverso stato di conservazione. Allo stesso modo anche le deformazioni strutturali, dalle quali derivano condizioni morfologiche

---

<sup>1</sup> Termine utilizzato per indicare i modelli LIM "Lidar Information Model" e i modelli PDM "Photo 3D Model" sviluppati da Virtualgeo srl. I modelli Advanced 3D sono dei modelli a superfici poligonali di elevata accuratezza ottenuti mediante un processo di *reverse modelling* a partire dai dati acquisiti nella fase di rilievo (nuvola di punti).

irregolari, non possono essere ricondotte a geometrie semplificate, quali il BIM tendenzialmente richiederebbe.

L'integrazione tra i due processi, BIM e LIM, risulta quindi un passo necessario per quanto riguarda la conoscenza, la descrizione e la possibilità di intervenire sul patrimonio storico-artistico che caratterizza il nostro paese e la Regione Friuli Venezia Giulia in particolare, nella quale sono presenti siti, complessi e singoli edifici di eccezionale valore.

La prima fase della ricerca è stata dedicata alla definizione dello stato dell'arte, ovvero alla elaborazione di un quadro conoscitivo comparativo delle metodologie e degli applicativi software utilizzati nel settore del BIM applicato ai beni culturali. L'obiettivo principale di questa fase è stato quello di individuare le caratteristiche specifiche dei diversi sistemi, confrontandoli tra di loro, in modo tale da individuare quelli più idonei a interagire con il sistema LIM. Parallelamente sono state analizzate le peculiarità dei sistemi LIM, individuando gli elementi attraverso i quali poter sovrapporre le caratteristiche dell'Advanced 3D ai sistemi tradizionali di modellazione parametrica, propri dei sistemi BIM. A tal fine sono stati analizzati e schedati sessanta casi studio, ritenuti i più interessanti da questo punto di vista.

Tenendo conto che l'utilizzo dei processi BIM ha costituito una sorta di rivoluzione copernicana nei processi di progettazione, analogamente a quello che avvenne in passato con l'avvento del disegno digitale, sono subito risultate evidenti dall'analisi dei casi le difficoltà di adattamento di metodologie progettuali da tempo consolidate e in particolare la necessità di adeguare tali sistemi al patrimonio costruito esistente, che ovviamente non è stato concepito con tali sistemi.

Una volta definito il quadro delle conoscenze, è stata avviata la seconda fase della ricerca, che ha previsto la sperimentazione e la verifica delle diverse possibilità di interazione tra i due sistemi, BIM e LIM, al fine di individuare le possibili connessioni tra un modello tridimensionale virtuale semplificato e uno avanzato, fedele al reale, ottenuto tramite l'acquisizione diretta dei dati che ne definiscono la forma e le relative caratteristiche fisiche (aspetto cromatico, materiali, stato di conservazione...).

La sperimentazione ha riguardato contestualmente gli aspetti concettuali e operativi, attraverso la definizione di diversi approcci metodologici, in relazione ai differenti obiettivi, in grado di contemperare le molteplici esigenze, in particolare quelle di correttezza scientifica e di interoperabilità tra i due sistemi. Il caso sul quale sono state testate le diverse procedure è quello del porto fluviale romano di Aquileia, sul quale erano già state

avviate delle sperimentazioni in passato e del quale si disponeva già di tutta la documentazione di rilievo e di analisi<sup>2</sup>.

Le tre diverse sperimentazioni, denominate “applicazioni”, hanno consentito di verificare le possibili integrazioni tra i sistemi BIM e LIM, evidenziando in ciascun caso le potenzialità e le criticità, a oggi presenti, nonché delineando i possibili sviluppi delle ricerche in tali ambiti.

## 2. LO STATO DELL’ARTE

La prima fase della ricerca è stata dedicata all’analisi di esperienze e sperimentazioni che hanno affrontato il tema dell’HBIM - Historic o Heritage Building Information Modelling<sup>3</sup>, inteso nella sua accezione più ampia di processo *BIM-oriented* applicato al costruito e in particolare ai beni architettonici con valore culturale. È stato quindi elaborato un quadro conoscitivo delle metodologie utilizzate nel settore dell’HBIM al fine di individuare le caratteristiche specifiche dei diversi sistemi e identificare quelli più idonei a interagire con il sistema LIM.

La ricchezza del patrimonio architettonico storico presente sul territorio ha favorito il dibattito sul tema dell’HBIM soprattutto in Italia, dove molti gruppi di lavoro, perlopiù appartenenti agli ambienti accademici, hanno condotto molteplici sperimentazioni. Sono state esaminate 60 ricerche, condotte tra il 2008 e il 2022, la maggior parte delle quali sviluppate da università italiane.

Al fine di facilitare la lettura dei casi e la loro comparazione è stata redatta una scheda di lettura, strutturata in modo da evidenziare l’oggetto e il gruppo di ricerca, le finalità del progetto, la metodologia, la prassi e i software utilizzati, le criticità rilevate dallo stesso gruppo di ricerca.

I casi studio analizzati fanno riferimento ad approcci *BIM-oriented*, applicati ai beni culturali: un campo molto vasto, dove la ricerca può avere finalità molto diverse, tanto da sviluppare e proporre metodologie diversificate, a volte identificate con acronimi creati ad hoc come

---

2 L’area del porto fluviale romano di Aquileia era già stata oggetto di uno studio da parte del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell’Università degli Studi di Trieste in collaborazione con Virtualgeo srl, nello specifico in occasione delle attività di formazione e ricerca svolte nell’ambito del corso sperimentale “Tecnologie per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico”, negli anni accademici 2017-2020, tenuto dal prof. Sergio Pratali Maffei.

3 Il termine Historic Building Information Modelling è stato introdotto per la prima volta nel 2009 da Maurice Murphy, professore del Dublin Institute of Technology, definendolo “una nuova soluzione in base alla quale oggetti parametrici interattivi che rappresentano elementi architettonici sono costruiti da dati storici, questi elementi (inclusi i dettagli dietro la superficie di scansione) sono accuratamente mappati su una nuvola di punti o un rilevamento basato su immagini” (Murphy: 2013, p. 89).

M-BIM<sup>4</sup>, A-BIM o ArcheoBIM<sup>5</sup>. In alcuni casi le sperimentazioni impiegano anche altre metodologie digitali quali: eXtended Reality (XR)<sup>6</sup>, Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) e *serious games*<sup>7</sup>, che si discostano formalmente dall'HBIM ma che ne condividono spesso le tecnologie e in alcuni casi gli obiettivi.

Le finalità dell'HBIM determinano l'individuazione delle metodologie più idonee per il loro raggiungimento: dall'acquisizione dei dati alla modellazione e strutturazione del database alla fruizione finale. Gli scopi definiscono infatti il tipo di modello (a superfici o a solidi parametrici), la tecnica di modellazione (inversa, diretta, generativa o parametrica), la rappresentazione (il manufatto nella sua interezza oppure solo alcuni suoi elementi), il grado di dettaglio o accuratezza (LOD<sup>8</sup>, LOA<sup>9</sup>, ecc.), la classificazione semantica degli elementi costitutivi, le informazioni da inserire nel database, i software da utilizzare.

Anche per quanto riguarda la fruizione del modello gli obiettivi condizionano i contenuti informativi (analisi dello stato di conservazione, individuazione degli interventi, interrogazioni metriche ed esportazione dei dati quantitativi...), gli elaborati da estrapolare (disegni 2D, video, testi...), le informazioni da condividere, le modalità e gli strumenti da impiegare.

La realizzazione di un modello HBIM segue un processo inverso rispetto a quello di uno BIM, partendo da un edificio esistente per elaborare un suo modello digitale. Dall'analisi dei casi studio si è riscontrato che le fasi di questo processo, indipendentemente dall'obiettivo e dall'oggetto della ricerca, presentano la stessa successione: acquisizione dei dati; modellazione e strutturazione del database; fruizione e gestione del modello.

---

4 Modello BIM di un edificio adibito a museo e delle opere d'arte che conserva al suo interno (cfr. Tucci: 2019).

5 Applicazione del processo BIM ai beni archeologici (cfr. Carpentiero: 2018; Groux: 2022).

6 La realtà estesa (XR) è un termine generico che si riferisce a una gamma di tecnologie immersive e interattive. Include la realtà aumentata (AR), la realtà virtuale (VR) e la realtà mista (MR).

7 Giochi che non hanno come scopo principale l'intrattenimento, ma sono progettati soprattutto a fini educativi e formativi (Bagnolo: 2021, p. 59).

8 "Level of Detail" o "Level of Development" o "Level of Definition". Concetto comunemente usato per definire il livello di dettaglio riferito al contenuto e all'affidabilità di un modello BIM in differenti momenti del processo di progettazione e costruzione.

9 "Level of Accuracy". Livello di deviazione del dato rilevato dal reale, conseguentemente al processo di modellazione.

La fase di acquisizione dei dati utilizza una metodologia sostanzialmente consolidata (Bruno: 2018, p. 60; Tucci: 2018, p. 5), adattata alle esigenze specifiche determinate dagli obiettivi, ma che consente di ottenere dati 3D metricamente accurati grazie alle attuali tecniche di rilevamento digitale. Al contrario, la procedura di modellazione risulta ancora dibattuta, in quanto presenta limiti e problematiche non risolte. Per quanto riguarda la strutturazione del database e la fruizione del modello è invece più difficile sviluppare delle considerazioni generali, poiché le tematiche variano in modo sostanziale di caso in caso, in base agli obiettivi prefissati.

L'analisi delle ricerche ha messo in luce le criticità dell'HBIM: il processo risulta oneroso sia per i tempi che per i costi, comportando inoltre l'utilizzo di software diversi, in quanto le varie procedure non possono essere gestite attraverso un'unica piattaforma, e il coinvolgimento di attori con competenze specifiche nell'ambito della modellazione.

La necessità di ricostruire virtualmente un manufatto esistente evidenzia infatti tutti i limiti delle piattaforme BIM, in particolare l'inadeguatezza delle librerie di oggetti parametrici e la mancanza di strumenti per la gestione di forme complesse e irregolari, inducendo i ricercatori a individuare metodologie alternative.

Alcuni gruppi di ricerca hanno ritenuto accettabile il livello di definizione raggiungibile con la modellazione parametrica, cercando un equilibrio ragionevole tra una rappresentazione "mimetica" dell'oggetto e la sua semplificazione. Ad esempio, nei casi che si ponevano come obiettivo la manutenzione programmata, è stato reputato più importante mantenere l'approccio BIM a discapito dell'accuratezza del modello, favorendo la conoscenza delle tecniche costruttive, dei materiali, dei vincoli e delle relazioni tra gli elementi, scomponendo il manufatto in elementi più semplici, con una categorizzazione di tipo semantico.

In altri casi la parametrizzazione degli elementi è stata ritenuta poco utile, prediligendo una modellazione più accurata tramite NURBS<sup>10</sup> o *mesh*<sup>11</sup> in grado di riprodurre fedelmente le imperfezioni geometriche e l'unicità delle diverse componenti.

---

10 "Non Uniform Rational Basis-Splines". Rappresentazioni matematiche che i software usano per definire la forma di un oggetto e sono definite da quattro caratteristiche: il grado, i vertici di controllo, i nodi e la regola di stima.

11 Superficie a maglie poligonali, che definisce un oggetto nello spazio, composto da vertici, spigoli e facce. Le *mesh* possono essere composte da facce triangolari, quadrangolari, miste o da poligoni arbitrari.

In altre ricerche, invece, la scelta è stata quella di realizzare due modelli sovrapposti: il primo concettuale e parametrico, per raccogliere tutte le informazioni; il secondo, rappresentato dalla nuvola di punti, per fornire i dati geometrici di dettaglio; oppure più modelli, a diversi livelli di accuratezza: di inquadramento, architettonico, parziale e di dettaglio, rifacendosi concettualmente alle rappresentazioni tradizionali, di tipo bidimensionale, a diverse scale metriche.

Appare quindi evidente come non esista una linea di indirizzo univoca o una tecnica di modellazione preferibile in assoluto alle altre, in quanto le scelte sono subordinate alle caratteristiche dei manufatti, alle necessità specifiche e agli obiettivi prefissati. Solo in relazione a queste condizioni si possono individuare le metodologie più appropriate e il livello di accuratezza adeguato a elaborare un modello virtuale di un'architettura o di un sito archeologico.

### 3. INTEGRAZIONE TRA I PROCESSI BIM E LIM PER LA CONSERVAZIONE E LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO STORICO-CULTURALE

La seconda fase della ricerca si è concretizzata nella sperimentazione di tre applicazioni in grado di esemplificare le possibili integrazioni tra i sistemi BIM e Advanced 3D (LIM-PDM), individuando la loro migliore associazione in relazione a diversi obiettivi. Il loro sviluppo si è basato sia sulle considerazioni derivanti dalla preliminare analisi dei casi studio, sia sulle valutazioni emerse grazie al confronto e alla collaborazione con il nostro partner: Virtualgeo srl<sup>12</sup>.

La prima applicazione riguarda le esigenze peculiari del progetto di restauro conservativo; la seconda un progetto di integrazione tra l'esistente e un elemento di nuova realizzazione; la terza la definizione di un sistema di fruizione tecnica e culturale. Per ogni applicazione sono state specificate le finalità, esplicitate le esigenze, individuati i software più idonei, descritte le fasi operative (acquisizione dei dati, modellazione e strutturazione del database, fruizione e gestione del modello) e, infine, individuate le criticità e le possibili prospettive di sviluppo della ricerca.

Il caso studio utilizzato per le nostre sperimentazioni è stato il sito archeologico dell'antico porto fluviale romano di Aquileia (UD), uno degli esempi meglio conservati di struttura portuale del mondo romano.

Le fasi di acquisizione dei dati e di modellazione sono state condotte da Virtualgeo srl nel 2017. Le attività di rilievo sono state eseguite mediante sistemi

---

<sup>12</sup> Azienda che opera da più di vent'anni nel settore della geomatica, sviluppando applicativi software per il settore dei beni culturali, in particolare archeologici e architettonici.

di scansione laser 3D (Lidar) e immagini fotografiche ad alta definizione terrestri e aeree. Sulla base della nuvola di punti acquisita è stato restituito un modello a superfici tramite tecniche diversificate LIM, TIN<sup>13</sup> e DITM<sup>14</sup>, selezionate di volta in volta in base alle caratteristiche e alla complessità geometrica degli oggetti rilevati (strutture archeologiche o terreno). Successivamente, tramite l'applicazione delle immagini fotografiche alle superfici, è stato ottenuto il modello fotogrammetrico Advanced 3D-PDM (figura 1).

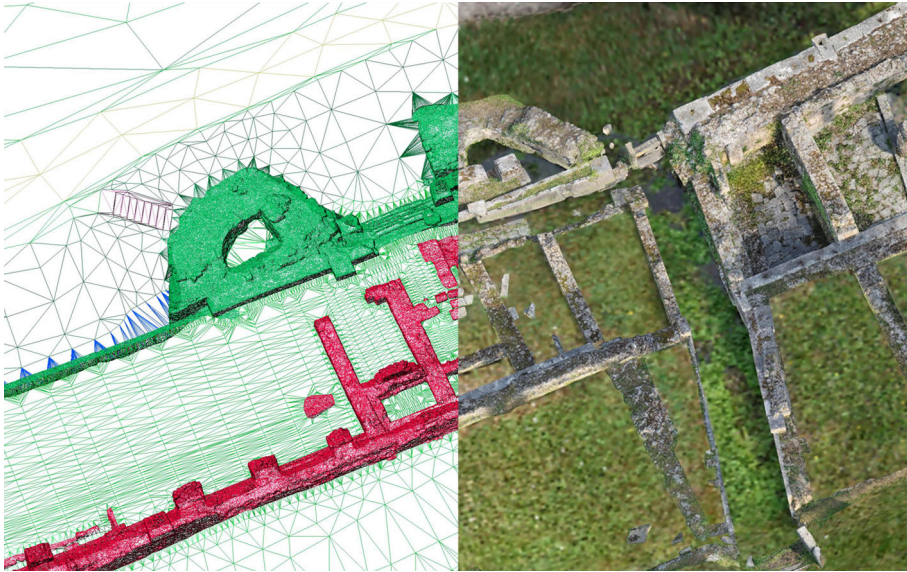


Figura 1. Vista senza e con texture di una porzione del modello Advanced 3D del porto fluviale romano di Aquileia.

### 3.1 APPLICAZIONE 1: PROGETTO DI RESTAURO CONSERVATIVO

La redazione di un progetto di restauro conservativo, ultimata la fase di conoscenza preliminare del manufatto, richiede delle specifiche esigenze dal punto di vista operativo che consentano di ottenere la migliore qualità possibile nella definizione degli interventi.

Innanzitutto è fondamentale poter disporre di una rappresentazione tridimensionale dello stato di fatto fedele al reale dal punto di vista metrico, morfologico e cromatico, in grado di restituire dati di tipo eterogeneo e di

---

13 “Triangular Irregular Network”. Modello 3D elaborato con la triangolazione Delaunay, in cui l’area in oggetto è tessellata mediante una serie connessa di triangoli di dimensione variabile, disposti irregolarmente nello spazio.

14 “Digital Information Terrain Model”. Rappresentazione tridimensionale della superficie del suolo, senza elementi antropici e vegetazionali, con classificazione dei particolari topografici.



archiviarli sia a testimonianza delle operazioni eseguite che a supporto di eventuali ulteriori interventi. Il modello deve inoltre consentire la restituzione grafica delle diverse analisi condotte (costruttiva, materica, dello stato di conservazione, stratigrafica...), l'esecuzione di interrogazioni e verifiche dimensionali, l'individuazione e la localizzazione degli interventi progettati e la loro simulazione grafica. Infine le tecnologie impiegate dovrebbero consentire il raffronto tra lo stato *ante operam* e il *post operam*, tramite l'aggiornamento del modello dopo l'intervento di restauro (modello *as-built*), anche allo scopo di monitorare le trasformazioni del manufatto a distanza di tempo.

Sulla base di tali esigenze e delle esperienze illustrate nei diversi casi studio analizzati, si è deciso di condurre la sperimentazione utilizzando un modello di tipo Advanced 3D in quanto tali modelli risultano più accurati rispetto alle altre tipologie disponibili<sup>15</sup> sia dal punto di vista geometrico che cromatico. Tale accuratezza è fondamentale poiché permette sia di effettuare analisi dimensionali precise ed efficaci sulle geometrie del costruito (spessori, fuori piombo, spancamenti, avvallamenti, deformazioni, ecc.), sia di individuare correttamente le caratteristiche riguardanti l'aspetto materico, di degrado, il quadro fessurativo e stratigrafico. Utilizzando un modello parametrico, a causa delle semplificazioni introdotte durante il processo di modellazione, tali verifiche potrebbero avvenire solo in maniera sommaria; per il medesimo motivo non sarebbero possibili nemmeno monitoraggi geometrici di precisione.

Il software scelto per sviluppare l'applicazione, relativamente alla fase di gestione e utilizzo del modello, è EasyCube PRO<sup>16</sup>.

La sperimentazione è stata eseguita, a titolo esemplificativo, in riferimento all'analisi del degrado, ma il processo potrebbe essere ripetuto analogamente per un'eventuale analisi materica o stratigrafica, oppure per individuare elementi da rimuovere. L'Advanced 3D, infatti, consente di sviluppare delle "mappature", evidenziando direttamente sul modello le superfici interessate da caratteristiche comuni (figura 2). In particolare sul modello 3D sono state evidenziate direttamente, tracciando delle polilinee chiuse, le aree caratterizzate da una stessa forma di alterazione/degrado, classificate tramite un glossario strutturato che ne riporta la codifica, la categoria di appartenenza e la descrizione. La definizione degli interventi è stata condotta in maniera analoga, andando a individuare

---

15 La ricerca ha preso in considerazione, oltre ai modelli a superfici *mesh* (dei quali fanno parte gli Advanced 3D), modelli a superfici NURBS e modelli a solidi parametrici.

16 Programma *stand-alone* del GeomaticsCube Ecosystem, sviluppato da Virtualgeo srl, per la gestione dei modelli Advanced 3D.

graficamente le aree interessate da una stessa modalità d'intervento. Successivamente è stato possibile ottenere automaticamente un report con i dati informativi e metrici relativi a ciascuna tipologia d'intervento, utilizzabile come base per sviluppare il computo metrico estimativo.

Al fine di prefigurare l'esito degli interventi, sono state poi eseguite delle simulazioni sulle rappresentazioni bidimensionali derivate dal modello 3D, con l'ausilio di un programma di fotoritocco (Adobe Photoshop).

La funzione di estrapolazione delle rappresentazioni bidimensionali ha consentito di ottenere le sezioni orizzontali o verticali del modello Advanced 3D, importabili in un programma CAD per la redazione di tavole grafiche di tipo tradizionale.

Il modello informativo Advanced 3D-PDM è stato, inoltre, arricchito di documenti a supporto dell'attività progettuale. I file sono stati organizzati per categorie grazie allo strumento "multimedia personalizzati" di EasyCube PRO, in modo tale da poterli individuare facilmente tramite una ricerca per categoria, tipologia o data di inserimento.

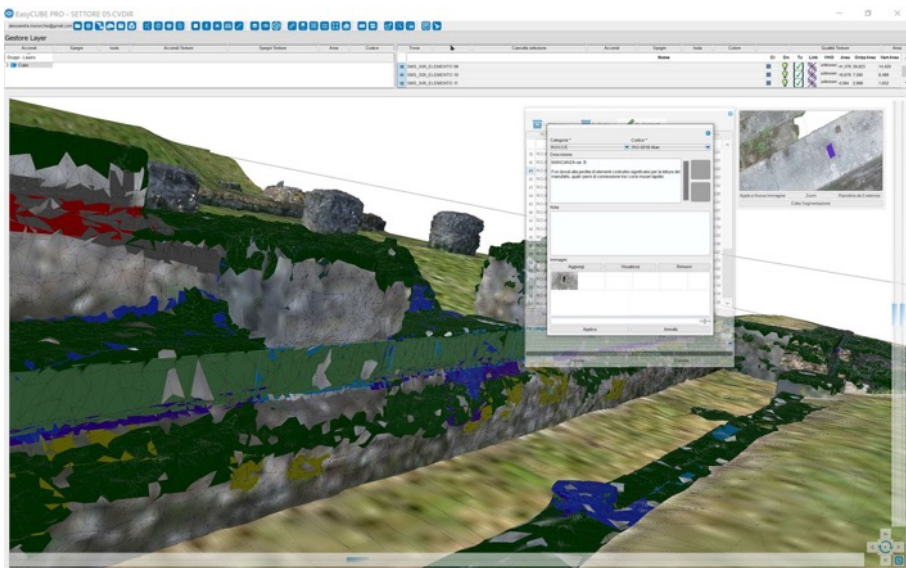


Figura 2. Mappatura eseguita sulle superfici delle strutture archeologiche tramite la *tool* "segmentazione" di EasyCube PRO.

I modelli Advanced 3D consentono quindi di progettare l'intervento di restauro disponendo di funzionalità uniche, in primis la possibilità di effettuare delle mappature direttamente in 3D, supportate da una rappresentazione fedele al reale.

La caratteristica che rende possibile questa accuratezza, ossia il fatto di essere un modello a superfici, limita, altresì, la possibilità di restituire in modo agevole altri tipi di analisi e di rappresentazione. A differenza dei modelli BIM, i modelli Advanced 3D non contengono informazioni riguardo alle tecniche costruttive o agli elementi strutturali, pertanto, per redigere degli elaborati a tali tipi di analisi risulta necessario effettuare una serie complessa di passaggi manuali, tramite l'esportazione di rappresentazioni 2D o 3D e la loro rielaborazione in ambiente CAD. Inoltre, le rappresentazioni estratte dall'Advanced 3D non rimangono legate al modello, pertanto le modifiche effettuate su di esso dopo l'esportazione non vengono recepite automaticamente.

Infine un ostacolo significativo è rappresentato dal problema dell'interoperabilità in ambito BIM, condizione specificatamente richiesta dalla normativa, quantomeno per particolari tipologie di opere e di interventi<sup>17</sup>. Il formato di scambio più utilizzato è l'IFC, che però non risulta compatibile con i modelli Advanced 3D, poiché il formato non è stato concepito per trasmettere le tipologie di informazioni contenute in tali modelli<sup>18</sup>.

### 3.2 APPLICAZIONE 2: PROGETTO DI INTEGRAZIONE

La seconda sperimentazione è finalizzata alla definizione delle modalità attraverso le quali poter integrare il rilievo e il modello di un manufatto esistente con il progetto di un nuovo elemento. L'esempio riguarda, nello specifico, l'ipotesi di inserimento di una passerella pedonale nel sito del porto fluviale romano di Aquileia.

La conoscenza del manufatto esistente costituisce il presupposto fondamentale per poter progettare un nuovo elemento architettonico nell'ambito di un insediamento storico, di conseguenza dal punto di vista operativo è essenziale poter disporre di un rilievo e di una sua restituzione grafica accurati. Gli aspetti da tenere in considerazione sono molteplici e possono riguardare le dimensioni, la geometria, i materiali, le tecniche costruttive, i sistemi strutturali, lo stato di conservazione, le caratteristiche cromatiche, ecc. Pertanto, nell'ambito di questa seconda applicazione, sono state condotte cinque diverse esemplificazioni al fine di poter affrontare diversi temi progettuali e individuare le possibili corrispondenti prassi operative.

---

<sup>17</sup> Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 "Codice dei contratti pubblici".

<sup>18</sup> Si evidenzia che il formato IFC presenta molti limiti, in quanto spesso non consente di mantenere inalterate tutte le informazioni nemmeno nella trasmissione dei file tra software BIM di diverse case produttrici.

Al pari dell'applicazione precedente, per la rappresentazione dello stato esistente si è optato per l'utilizzo di un modello Advanced 3D per la sua accuratezza geometrica e cromatica e, di conseguenza, data la perfetta compatibilità con tale formato, il software utilizzato è EasyCube PRO.

Parallelamente, anche sulla base della letteratura scientifica esaminata, appare chiaro che per la progettazione del nuovo elemento architettonico lo strumento più efficace risulti il BIM<sup>19</sup>. Il programma scelto per la sperimentazione è Autodesk Revit, il software commerciale maggiormente diffuso in ambito BIM e scelto da quasi tutti i gruppi di ricerca nei casi studio presi in considerazione.

Nel primo caso è stata indagata l'esigenza di progettare il nuovo elemento tenendo conto della morfologia del terreno, della geometria e delle dimensioni dei manufatti esistenti, della loro distribuzione spaziale e delle quote altimetriche. La sperimentazione si è basata, quindi, su una rappresentazione rispondente a tali caratteristiche, definita "modello geometrico-dimensionale". Nello specifico il modello Advanced 3D è stato esportato da EasyCube PRO e importato nel software Revit tramite la conversione in DXF. Successivamente è stata avviata la fase di modellazione della passerella utilizzando gli strumenti standard del programma sulla base del preciso riferimento fornito delle geometrie dell'esistente (figura 3).

Il secondo esempio, denominato "modello materico", oltre a presentare le qualità del precedente, riporta informazioni sulle proprietà fisiche dei manufatti, in modo tale che nella fase progettuale possa essere valutata la compatibilità tra il nuovo e l'esistente dal punto di vista dei materiali che li contraddistinguono. Il modello Advanced 3D è stato esportato mantenendo le segmentazioni (partizioni) che classificano gerarchicamente gli elementi del terreno e delle diverse tipologie di strutture murarie suddivise per materiali costitutivi. In questo modo il modello, dopo l'importazione in Revit presenta una classificazione per materiali, facilmente identificabile grazie alla diversa colorazione abbinata al *layer* di appartenenza (figura 4).

---

<sup>19</sup> In particolare, a differenza dell'HBIM (inteso nell'accezione di modello parametrico desunto dalla nuvola di punti tramite processo *scan-to-BIM* e gestito all'interno di un software BIM), dove possono emergere criticità e di conseguenza limitazioni alle funzionalità del sistema *BIM-oriented*, in questa specifica sperimentazione, dove un elemento viene inserito all'interno di un contesto esistente, possono essere sfruttate quasi tutte le potenzialità del sistema.

Il terzo modello è quello dello “stato di conservazione”, dove viene aggiunto il parametro riguardante eventuali condizioni di alterazione e/o degrado, sotto forma di mappatura delle superfici. La rappresentazione delle deformazioni, fessurazioni e alterazioni fisiologiche o patologiche del manufatto può fornire importanti indicazioni progettuali circa il comportamento futuro dei materiali (sia nuovi che esistenti), nonché riguardo all’impatto della nuova architettura sullo stato conservativo delle strutture storiche (figura 5)<sup>20</sup>.

Il quarto modello è, invece, texturizzato per una corretta valutazione dell’integrazione cromatica tra gli elementi in progetto e quelli già presenti in sito, consentendo quindi, ad esempio, delle valutazioni sull’invasività dell’intervento e sulle possibili azioni finalizzate a minimizzarne l’impatto visivo (figura 6)<sup>21</sup>.

L’ultimo esempio è un “modello geometrico semplificato”, al fine di indagare le possibilità di un suo impiego nel campo delle indagini di tipo strutturale. I casi studio analizzati hanno evidenziato la mancanza di soluzioni in grado di gestire modelli contenenti forme complesse e irregolari finalizzati alla simulazione strutturale. La sperimentazione ha pertanto l’obiettivo di illustrare la possibile applicazione del LIM nella costruzione di un modello utilizzabile per l’analisi agli elementi finiti. Per l’esemplificazione viene sviluppato uno dei conci lapidei che costituiscono la sponda del porto fluviale. Nello specifico vengono presentati due esempi che richiamano le soluzioni proposte in altrettanti casi studio<sup>22</sup>: il primo prevede la semplificazione estrema della forma per una successiva esportazione nel formato richiesto da un software per l’analisi strutturale (ad esempio SAP2000); il secondo tende a mantenere maggiormente le irregolarità e le anomalie rilevate<sup>23</sup> al fine di convertire gli elementi BIM in *mesh* solide 3D per la successiva simulazione all’interno di un software strutturale compatibile con tale formato, quale Midas FEA (figura 7).

---

20 Attualmente il software EasyCube PRO non consente di mantenere le mappature durante l’esportazione in DXF. La tecnologia per l’esportazione delle mappature è in fase di sviluppo da parte del produttore del software, pertanto l’ipotesi di integrazione con il parametro dello stato di conservazione potrebbe essere perseguibile in futuro.

21 Analogamente al modello dello stato di conservazione, anche in questo caso le texture del modello Advanced 3D-PDM non possono essere esportate in formato DXF e, di conseguenza, importate in Revit.

22 Ricerca sull’ambasciata italiana a Tirana (cfr. Cardani: 2017); studio su castel Masegra (cfr. Barazzetti: 2015).

23 La modellazione prevede numerose operazioni di sagomatura, che dovrebbero essere ripetute per ogni singolo concio lapideo. Il procedimento risulta alquanto laborioso e impegnativo in termini di tempo, analogamente a quanto segnalato dai gruppi di ricerca che nei casi studio analizzati hanno deciso di modellare forme complesse mediante l’impiego di un software BIM di tipo parametrico.

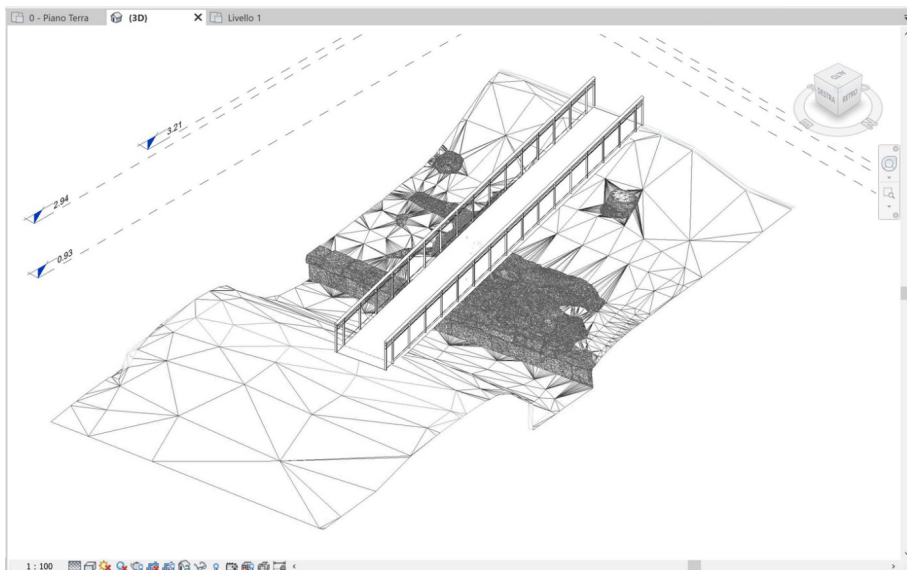


Figura 3. Porzione del “modello geometrico-dimensionale” con l’inserimento della passerella pedonale modellata in Revit.

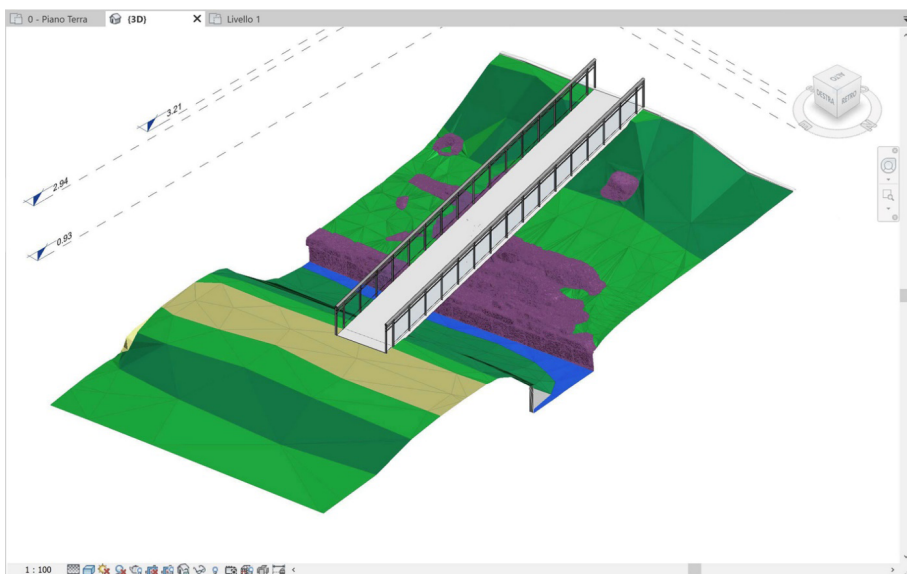


Figura 4. Porzione del “modello materico” del porto fluviale romano importato nel software Revit, sulla base del quale viene modellata la nuova passerella. I colori indicano i diversi materiali associati agli elementi durante la fase di segmentazione.

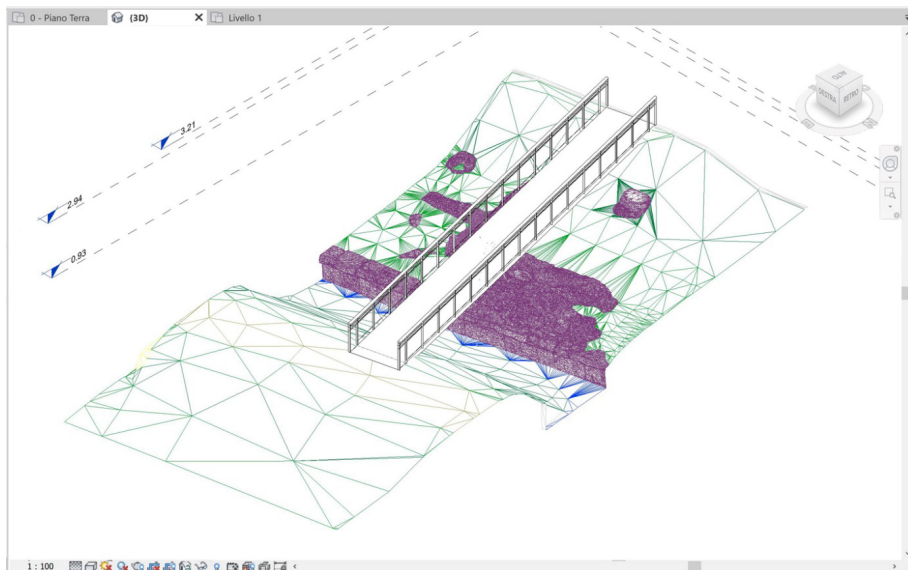


Figura 5. Porzione del “modello dello stato di conservazione” del porto fluviale romano importato nel software Revit, sulla base del quale viene modellata la passerella.



Figura 6. Porzione del “modello texturizzato” del porto fluviale romano con l’inserimento della passerella in Revit, rielaborato con un programma di fotoritocco per simulare la presenza della texture.

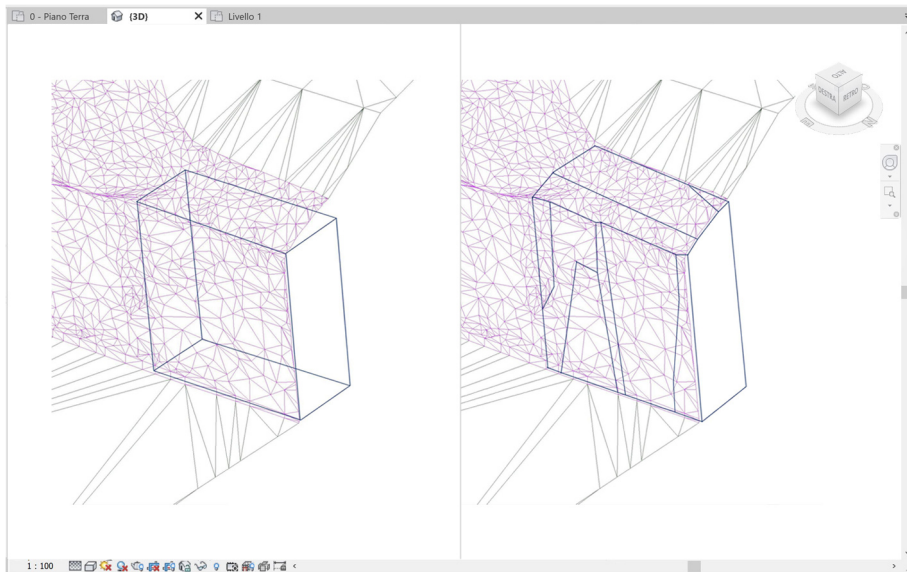


Figura 7. Concio lapideo modellato come semplice parallelepipedo rototraslato (a sinistra) e sagomato in base alla geometria definita dall'Advanced 3D (a destra).

I modelli Advanced 3D importati in ambiente BIM consentono la progettazione di nuovi elementi sulla base di un'accurata riproduzione dell'esistente. In questo modo vengono coniugati i vantaggi di un modello fedele al reale con quelli del modello parametrico BIM. L'Advanced 3D può essere utilizzato anche come riferimento per la costruzione del modello BIM al posto della nuvola di punti, essendo molto leggero, accurato e già segmentato per elementi superficiali. Analogamente i due modelli potrebbero far parte di uno stesso “modello federato”, dove la rappresentazione accurata riveste quella semplificata<sup>24</sup>.

Dalle sperimentazioni si deduce inoltre che le tecnologie LIM e BIM integrate permetterebbero lo sviluppo di una procedura che potrebbe spaziare dal restauro conservativo alla progettazione del nuovo. Un risultato completo si può ottenere in tal senso unendo i risultati dell'applicazione 1 a quelli dell'applicazione 2, lavorando quindi parallelamente in ambiente Advanced 3D e BIM<sup>25</sup>.

Il caso studio del porto fluviale romano di Aquileia non ha altresì consentito di mettere in luce alcuni aspetti che potrebbero rivelarsi critici

24 Ipotesi già sperimentata nel caso di Palazzo Ettoreo a Sacile (cfr. Visintini: 2019) e testata anche nel caso dell'Arco di Augusto ad Aosta (cfr. Delpozso: 2022).

25 Impostando adeguatamente il sistema di coordinate per il passaggio del modello da un software all'altro, sarebbe possibile apportare aggiornamenti in EasyCube Pro e reimportare il modello in Revit ogni qual volta ce ne fosse la necessità e viceversa.



con altre tipologie di manufatti o esigenze progettuali. L'Advanced 3D è una restituzione fedele al reale basata su un rilievo e non è stato concepito per essere successivamente modificato per scopi progettuali; pertanto su di esso sarebbe possibile evidenziare graficamente degli interventi di demolizione, ma non prefigurare il corrispondente stato di progetto. In casi di questo genere si potrebbe optare per delle soluzioni alternative, per esempio ricostruendo con la modellazione parametrica le sole porzioni dell'edificio interessate dalle trasformazioni.

D'altro canto risulterebbe invece agevole aggiornare il modello per la rappresentazione dello stato *as-built*, procedendo al rilievo del solo ambito di intervento, alla sua modellazione e inserimento in sostituzione della corrispondente porzione dello stato di fatto.

### 3.3 APPLICAZIONE 3: SISTEMA DI FRUIZIONE TECNICA E CULTURALE

La terza sperimentazione si è posta come obiettivo la realizzazione di un ambiente digitale polivalente di raccolta, gestione e condivisione dei dati, concepito per rivolgersi a gruppi diversificati di utenti.

In questo caso il sistema deve rispondere all'esigenza di organizzare tutte le informazioni e i materiali relativi alle fasi di progettazione e di realizzazione dell'intervento di restauro raccogliendoli in un archivio strutturato, facilmente fruibile e gestibile on-line da diversi dispositivi fissi e mobili. L'ambiente di condivisione deve inoltre agevolare l'interoperabilità e l'efficienza nella cooperazione tra i diversi soggetti, favorendo la reperibilità e lo scambio di dati e file *ante, intra e post operam*.

Il sistema deve inoltre favorire la fruizione del bene dal punto di vista turistico e culturale, promuovendone la valorizzazione: un sistema di divulgazione, che consenta di consultare contenuti multimediali in modo intuitivo e accattivante tramite l'impiego di dispositivi fissi e mobili per coinvolgere un'utenza ampia e diversificata.

Le piattaforme selezionate per questo tipo di sperimentazione sono state IC (Information Card)<sup>26</sup> e, specificatamente per la fruizione e la divulgazione turistico-culturale, UACE (Universal Art & Cultural Events)<sup>27</sup>.

---

26 L'IC è uno strumento on-line, sviluppato da Virtualgeo srl, per la gestione e la consultazione tramite device connessi a Internet (pc, tablet, smartphone) di materiali informativi.

27 UACE è un prodotto editoriale on-line sviluppato da Virtualgeo srl, concepito come uno strumento di divulgazione di tipo multimediale ed esperienziale.

L'IC ha una struttura a livelli e sottolivelli, che contengono e ordinano le informazioni presenti: in questo modo è possibile organizzare tutta la documentazione caricandola direttamente all'interno della IC o tramite collegamenti a link esterni, rendendo tutti i contenuti accessibili agli utenti interessati. La condivisione è personalizzabile, differenziando gli accessi tra i membri che possono modificare i contenuti e quelli, invece, ai quali è consentito accedervi unicamente in modalità di lettura.

Tramite UACE è invece possibile utilizzare gli elaborati di rilievo e gli Advanced 3D, rendendoli strumento di conoscenza e promozione culturale, con modalità interattive ed esperienziali. All'interno del sistema è infatti possibile visualizzare ed esplorare i modelli tridimensionali, le nuvole di punti, le foto aeree e le foto a 360° attraverso i movimenti del cursore che consentono di spostarsi virtualmente all'interno del sito archeologico. Il prodotto consente, inoltre, una rapida visualizzazione di file multimediali (documenti testuali, audio, video, immagini) e l'integrazione di applicazioni web di intrattenimento educativo.

Gli ambienti digitali come IC offrono buone soluzioni di organizzazione, gestione e condivisione dei dati, ma, come già segnalato precedentemente, la criticità di fondo rimane l'interoperabilità tra i diversi software informatici. Pertanto, un'ottimale condivisione dei dati può compiersi, allo stato attuale, solamente se tutti gli attori del processo utilizzano gli stessi software.

Dal punto di vista della gestione dell'ambiente digitale, l'unione in un unico strumento di tutto il materiale informativo destinato sia ai tecnici che al pubblico, potrebbe favorirne l'efficienza, in quanto confluito in un unico database, sempre aggiornato, dal quale poter attingere ai contenuti.

Inoltre, per contribuire alla valorizzazione e alla fruizione delle informazioni sui beni culturali a scala più vasta, sarebbe utile poter interfacciare il sistema di archiviazione sperimentato con quello dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD)<sup>28</sup>.

Infine, il sistema potrebbe aprirsi a nuove politiche di valorizzazione del patrimonio, che possano rivolgersi a una più ampia pluralità di soggetti, diversi fra loro per capacità percettive e cognitive, tramite funzionalità specifiche e diversificate di accessibilità dei contenuti derivati dall'Advanced 3D.

---

<sup>28</sup> Cfr. <http://www.iccd.beniculturali.it/>.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMI, ANDREA (ed.). 2021. *Geomatica e HBIM per i beni culturali*, Milano: FrancoAngeli.
- BAGNOLO, VINCENZO, ARGIOLAS, RAFFAELE, CUCCU, SARA & PABA, NICOLA. 2021. "Beyond HBIM: serious games and procedural modelling for heritage dissemination" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-4/W4, pp. 55-60.
- BANFI, FABRIZIO. 2017. "A BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, pp. 57-64.
- BARAZZETTI, LUIGI, BANFI, FABRIZIO, BRUMANA, RAFFAELLA, GUSMEROLI, GAIA, PREVITALI, MATTIA & SCHIANTARELLI, GIUSEPPE. 2015. "Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans", in *Simulation Modelling Practice and Theory*, 57, pp. 71-87.
- BRUMANA, RAFFAELLA, DELLA TORRE, STEFANO & PREVITALI, MATTIA. 2018. "Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention - the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)" in *Applied Geomatics*, 10, pp. 545-567.
- BRUNO, NAZARENA. 2018. *From survey to analysis for Cultural Heritage management: a new proposal for database design in BIM*. Tesi di dottorato in Ingegneria Civile e Architettura, Università di Parma.
- CANEVESE, ERMINIO & DE GOTTARDO, TIZIANO. 2017. "Beyond point clouds and virtual reality innovative methods and technologies for the protection and promotion of cultural heritage" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-5/W1, pp. 685-691.
- CARDANI, GIULIANA & ANGELIU, GRIGOR. 2017. "Considerazioni sull'interoperabilità tra modelli BIM e l'analisi strutturale degli edifici storici" in Della Torre, Stefano (ed.), *Built Heritage Information Modelling/ Management – BHIMM. Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente*, pp. 1-7, Galazzano: Imready S.r.l.
- CARPENTIERO, LAURA. 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 costruito storico" in *Newsletter di Archeologia CISA*, 9, pp. 1-21.
- DELPOZZO, DAMIANO, APPOLONIA, LORENZO, SCALA, BARBARA & ADAMI, ANDREA. 2022. "Federated HBIM models for cultural heritage: survey model and conceptual model" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-2/W1, pp. 191-197.

- DIARA, FILIPPO & RINAUDO, FULVIO. 2020. "Building archaeology documentation and analysis through open source HBIM solutions via nurbs modelling" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2, pp. 1381-1388.
- DIARA, FILIPPO & RINAUDO, FULVIO. 2020b. "IFC Classification for FOSS HBIM: Open Issues and a Schema Proposal for Cultural Heritage Assets" in *Applied Sciences*, 10, 8320, pp. 1-23.
- FASSI, FRANCESCO, FREGONESE, LUIGI, ADAMI, ANDREA & RECHICHI, FABRIZIO. 2017. "BIM system for the conservation and preservation of the mosaics of San Marco in Venice" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, pp. 229-236.
- GROUX, DIDIER, QUÉRÉ, GUILLAUME & SCARAMUZZA, PAOLA. 2022. "BIM applied on the megalithic heritage: introduction to the A-BIM and the assets of the model for the diagnostic and the definition of conservation measures" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-2/W1, pp. 239-244.
- MALINVERNI, EVA SAVINA, MARIANO, FABIO, DI STEFANO, FRANCESCO, PETETTA, LEONARDO & ONORI, FEDERICA. 2019. "Modelling in HBIM to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: the case of chiesa della Pietà in Fermo" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 777-784.
- MURPHY, MAURICE, MCGOVERN, EUGENE & PAVIA, SARA. 2013. "Historic Building Information Modelling (HBIM)" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 76, pp. 89-102.
- PRATALI MAFFEI, SERGIO, CANEVESE, ERMINIO, DE GOTTARDO, TIZIANO & PIZZOL, LAURA. 2019a. "Advanced 3D technology in support of the BIM processes in the cultural heritage: in-depth analysis of the case study of the roman fluvial port of Aquileia (Italy)" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 989-993.
- PRATALI MAFFEI, SERGIO, CANEVESE, ERMINIO & DE GOTTARDO, TIZIANO. 2019b. "The real in the virtual. The 3D model in the cultural heritage sector: the tip of the iceberg" in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, pp. 615-621.
- QUATTRINI, RAMONA, MALINVERNI, EVA SAVINA, CLINI, PAOLO, NESPECA, ROMINA & ORLIETTI, ERIKA. 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.
- SCALA, BARBARA. 2021. "Applicazione HBIM per la conservazione programmata dei parametri del Cortile della Cavallerizza" in Adami, Andrea (ed.), *Geomatica e HBIM per i beni culturali*, pp. 164-185. Milano: FrancoAngeli.

TUCCI, GRAZIA, BARTOLI, GIANNI,  
 BETTI, MICHELE, BONORA, VALENTINA,  
 KORUMAZ, MUSTAFA & GÜLEÇ KORUMAZ,  
 ARMAĞAN. 2018. “Advanced procedure for  
 documenting and assessment of cultural  
 heritage: from laser scanning to finite  
 element” in *IOP Conference Series: Materials  
 Science and Engineering*, 364, pp. 1-10.

TUCCI, GRAZIA, BARTOLI, GIANNI, BETTI,  
 CONTI, ALESSANDRO, MANUELA, CORONGIU,  
 FIORINI, LIDIA, MATTA, CARLOTTA,  
 KOVACEVIC, VLADIMIR, BORRI, CLAUDIO  
 & HOLLBERG, CECILIE. 2019. “BIM for  
 museums: an integrated approach from  
 the building to the collections” in *The  
 International Archives of the Photogrammetry,  
 Remote Sensing and Spatial Information  
 Sciences*, XLII-2/W11, pp. 1089-1096.

VISINTINI, DOMENICO, MARCON, ENRICO,  
 PANTÒ, GIACOMO, CANEVESE, ERMINIO, DE  
 GOTTARDO, TIZIANO & BERTANI, ILDER.  
 2019. “Advanced 3D modeling versus  
 Building Information Modeling: the  
 case study of palazzo Ettoreo in Sacile  
 (Italy)” in *The International Archives of the  
 Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial  
 Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 1137-  
 1143.

## SITOGRAFIA

<https://www.g4ch.polito.it> [10/06/2022]  
<https://www.geomaticscube.com>  
 [14/08/2022]  
<https://www.horizon2020.apre.it>  
 [19/04/2022]  
<https://www.iccd.beniculturali.it>  
 [21/08/2022]  
<https://www.informationcard.eu>  
 [27/09/2022]  
<https://www.iso.org> [17/08/2022]  
<https://www.sitech-3dsurvey.polimi.it>  
 [10/06/2022]  
<https://www.uace.eu> [01/10/2022]  
<https://www.virtualgeo.eu> [03/10/2022]