

CULTURAL HERITAGE INTEROPERABLE ENVIRONMENT - CHERIE

OR 2 - Gap-analysis tra le attuali pratiche di digitalizzazione di singole fasi (rilievo, catalogazione, documentazione, manutenzione) e gli strumenti BIM di più ampia diffusione nella pratica professionale.

OR2.1 - Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Soggetto Capofila e Soggetti Partner coinvolti nel progetto:

1. Università degli Studi Suor Orsola Benincasa (SOB)
2. Politecnico di Milano (Polimi)
3. Università degli Studi di Napoli Federico II (Federico II)
4. Sapienza - Università di Roma (Sapienza)
5. Università degli Studi di Genova (UniGe)
6. Stress S.c.a.r.l. (Stress)

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

In un contesto di costante e rapido sviluppo delle tecnologie informatiche, così come altri settori scientifici e tecnici anche il settore dell'architettura, ingegneria, costruzioni e gestione (AECO) ha beneficiato delle innumerevoli innovazioni tecnologiche offerte. Negli ultimi anni si è infatti assistito ad un continuo sviluppo di software e nuove strumentazioni a supporto dei processi di costruzione. Queste tecnologie sono diventate di uso quotidiano e trovano ampia applicazione in vari settori delle costruzioni, con una tendenza in crescita incentivata dai molteplici e sempre maggiori vantaggi che si hanno dal loro utilizzo.

Ripercorrendo brevemente l'evoluzione storica, le prime applicazioni relative allo sviluppo di software conosciuti con l'acronimo di CAD (Computer-Aided Design) risalgono agli anni Settanta del secolo scorso. Creati dapprima come strumenti per la rappresentazione digitale bidimensionale, sono stati poi migliorati per realizzare anche forme tridimensionali. L'evoluzione naturale della modellazione tridimensionale su CAD è il BIM (Building Information Modelling) che affianca una serie di dati e informazioni alle geometrie spaziali (Pocobelli et al., 2018).

Forse proprio questa parziale similitudine tra i due sistemi relativa alla modellazione tridimensionale ha generato in origine un po' di confusione sulle effettive finalità e vantaggi del BIM. Ciò che differenzia sostanzialmente il BIM dalla semplice modellazione tridimensionale eseguita al CAD è proprio l'estensione delle dimensioni considerate, come definite nella norma UNI 11337-6:2017. Benché non tutti gli autori concordino su questo (Liaserin, 2002), di solito oltre alle tre dimensioni spaziali nel sistema cartesiano di riferimento che costituiscono dunque la dimensione 3D, si considerano il tempo come la dimensione 4D (relativa alla gestione della programmazione in ogni fase del ciclo di vita), la dimensione 5D è rappresentata dai costi (relativa alla gestione informativa economica), la 6D individua uso, gestione, manutenzione e dismissione (relativa alla gestione informativa dell'opera), infine sostenibilità sociale, economica e ambientale rappresentano la 7D (relativa alla gestione delle esternalità) (UNI 11337-6:2017).

Pensato e sviluppato per il settore delle costruzioni, al quale offre un prezioso supporto per la gestione dell'intero processo, il BIM presenta grandi potenzialità che stanno riscontrando un forte successo, sia grazie al loro riconoscimento e metabolizzazione della "novità" da parte dei professionisti e delle amministrazioni, sia per esigenze di risposta alla recente normativa sui lavori pubblici che ne impone l'uso.

Per quanto concerne l'uso del BIM sul Patrimonio architettonico Culturale non si riscontrano ancora gli stessi risultati positivi e incoraggianti raggiunti nel settore delle nuove costruzioni (Del Giudice M. and Osello A., 2013; Maxwell, 2014; Volk et al., 2014; Worrell, 2015; Logothetis et al., 2015). Questo disallineamento è dovuto sostanzialmente ai limiti che il BIM presenta nel rapportarsi con le caratteristiche intrinseche che caratterizzano un edificio esistente rispetto alla nuova costruzione. L'edificio storico è infatti un sistema complesso risultato di diverse variabili derivanti dal metodo di produzione (manuale), dal periodo storico di costruzione e quindi dal relativo livello di conoscenza tecnica e capacità della manodopera, dalla localizzazione e dalla disponibilità di materie prime differenti, dalla cultura locale, dalla stratificazione degli interventi, dalle mutazioni diacroniche che si sono avvicendate nel tempo, e così via. Il risultato è dunque un prodotto unico e non ripetibile che

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

non segue le regole di standardizzazione tipiche del settore AEC. Inoltre, la funzione basilare del rilievo ha spesso indotto a un fraintendimento, per cui la modellazione geometrica dell'edificio storico in un ambiente BIM rappresenterebbe il fine ultimo del cosiddetto Historic BIM: laddove proprio in quel momento si aprono tutte le problematiche legate alla complessità del processo e alla molteplicità delle dimensioni coinvolte.

Dopo questa brevissima introduzione sul BIM, si può ora focalizzare l'attenzione sulle finalità dell'OR2 del progetto. Questa seconda parte mira ad analizzare strumenti e metodologie attualmente disponibili al fine di definire uno stato dell'arte, rilevare le differenze e le lacune, individuare termini e procedure per raggiungere un livello di interoperabilità ottimale.

In particolare, la fase OR2 si scompone in tre attività:

- Attività OR2.1 - Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi
- Attività OR2.2 - Interoperabilità tra modello e software dedicati a fasi progettuali specialistiche
- Attività OR2.3 - BIM, banche dati e information retrieval

La prima parte di queste attività pone l'attenzione sulla necessità di integrazione tra gli strumenti di acquisizione delle geometrie e gli strumenti BIM per la rappresentazione e gestione delle stesse e delle informazioni ad esse connesse.

Per quanto concerne gli **strumenti di acquisizione**, al momento ne sono disponibili diversi tipi, alcuni già abbondantemente conosciuti e altri di più recente ideazione che sono destinati ad avere un grande successo e diffusione in virtù del loro semplice utilizzo e disponibilità anche a costi accessibili. Questi strumenti possono essere divisi sostanzialmente in due categorie: quelli che restituiscono direttamente una nuvola di punti e quelli che acquisiscono immagini da processare con software in grado di ricavare la nuvola di punti.

Il primo strumento da descrivere è sicuramente il laser scanner. Il suo progenitore è il distanziometro laser molto diffuso tra i professionisti per acquisire velocemente misure. Il laser scanner sfrutta appunto la luce laser, ne esistono diversi tipi in base alle modalità di acquisizione, in generale comunque il funzionamento tiene conto del tempo di ritorno del raggio attraverso il quale viene calcolata la distanza della superficie rilevata, fissando così la posizione nello spazio dei punti "battuti". I primi strumenti erano in grado di leggere e memorizzare solo tre dati (x, y, z), sono stati poi integrati con meccaniche (interne o esterne) in grado di rilevare anche i dati RGB che consentono di acquisire le informazioni cromatiche della superficie. Il risultato ottenuto è un insieme di punti distribuiti nello spazio (per questo motivo chiamata "nuvola di punti") che rappresentano gli strati superficiali dell'oggetto rilevato. Appena immesso nel mercato, l'uso di questo metodo di rilevamento era chiaramente poco diffuso (come spesso succede con le nuove tecnologie) considerato l'alto costo della strumentazione e la scarsa capacità da parte dei professionisti di gestire i dati in output, ma in poco tempo (complici il riconoscimento della notevole riduzione dei tempi e la maggiore accuratezza delle informazioni) si è verificato un notevole aumento di professionisti che ricorrono al rilievo con laser scanner.

Evidentemente la maggiore diffusione e anche l'avanzamento continuo della tecnologia hanno portato ad una diminuzione dei costi della meccanica principale, del core dello

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

strumento, ed oggi sono presenti sul mercato altri strumenti che sfruttano lo stesso principio ma con funzionamenti e forme differenti, maggiormente portabili e (in alcuni casi) costi più accessibili. Un esempio molto interessante sono i sistemi con tecnologia SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) (Sammartano and Spano 2018). Gli strumenti di questo tipo sono in grado di effettuare il rilevamento di spazi (aperti o chiusi) in condizioni di moto dello strumento stesso, costruire la mappa di tale rilevamento oltre che consentire, nel caso di strumenti dotati di GPS, la localizzazione all'interno della mappa e la geolocalizzazione della nuvola di punti. Appartengono a questa categoria anche strumenti in grado di effettuare rilievi con sensori LIDAR (Light Detection and Ranging), rilievi subacquei, ecc. Gli output di questi strumenti possono essere: nuvole di punti, immagini (nel visibile), video, immagini termografiche, ecc. L'applicazione di queste strumentazioni è chiaramente in linea con le esigenze di rilievo del patrimonio culturale architettonico, sia di singoli edifici sia dei centri storici.

Un esempio di applicazione di queste strumentazioni è presentato da Pirotti et al. i quali hanno testato l'estrapolazione automatica delle informazioni relative a coperture e facciate da una nuvola di punti rilevata con laser scanner aereo. L'obiettivo del test era quello di verificare la precisione dei dati. Il risultato ottenuto ha mostrato che il numero e la distribuzione dei punti rappresentano le geometrie con una buona percentuale di correttezza, il che consente il loro utilizzo come supporto per i modelli CityGML e BIM. (Pirotti et al. 2019)

In accordo con la volontà di rendere le strumentazioni di rilievo maggiormente accessibili e di facile utilizzo, sono stati introdotti strumenti dotati di sensori ottici in grado di acquisire scansioni e mappature 3D. Le scansioni, processate poi con software specifici, consentono di generare file per i più diffusi software CAD e BIM.

Un altro metodo che oggi sta riscuotendo grande successo è l'acquisizione di immagini mediante l'uso di UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Esistono svariati modelli in base alle caratteristiche di dimensioni, peso, quota di volo, ecc. Quello più conosciuto e diffuso è il drone al quale è associata una fotocamera che acquisisce, in tempi molto rapidi, le immagini in posizioni spesso inaccessibili e secondo punti di presa ottimali per evitare fenomeni di zone cieche e conseguente perdita delle informazioni. L'output è una grande quantità di scatti fotografici con le corrette caratteristiche per poter essere elaborate da software specifici in grado di elaborarle per produrre sia nuvole di punti sia ortofoto. (Adami, 2019)

Un ultimo esempio di nuova tecnologia per l'acquisizione di immagini sono le fotocamere a 360°. Queste consentono di acquisire in tempi ridotti immagini panoramiche a 360° che possono essere processate con software specifici per produrre sia nuvole di punti sia ortofoto.

Nei casi di elaborazione di immagini per ottenere le nuvole di punti e le ortofoto, per garantire un corretto posizionamento nello spazio e quindi il corretto dimensionamento del risultato finale, al rilievo fotografico deve essere associato uno topografico di alcuni punti noti in base all'estensione dell'oggetto.

Da questi esempi si evince come la fase di rilievo e le relative strumentazioni tecnologiche attualmente disponibili siano avanzate e in linea con le esigenze della conservazione del

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Patrimonio architettonico Culturale. Passando invece alla parte relativa alla modellazione, come già accennato, emergono alcune mancanze causate dalla inadeguatezza degli strumenti presenti sul mercato.

Gli strumenti BIM consentono l'importazione dei dati derivanti dal rilievo ma non sono in grado di restituire oggetti perfettamente aderenti alle forme irregolari ed eterogenee che compongono il Patrimonio Culturale. È importante richiamare a questo punto il concetto di Livello di Dettaglio degli oggetti come introduzione al livello di dettaglio della modellazione che si vuole sviluppare. Richiamando il concetto espresso da Rothenberg "Un modello rappresenta la realtà per un determinato scopo, un modello è un'astrazione della realtà nel senso che esso non può rappresentare tutti gli aspetti della realtà" (Rothenberg 1989). In sostanza significa che per rappresentare in maniera completa ed esaustiva una realtà, non è sufficiente un solo modello, ma ne occorrono diversi, ognuno con il proprio scopo e ognuno con il proprio grado di approfondimento dei dati e delle informazioni (siano essi geometrici o non geometrici) in funzione degli obiettivi ed uso del modello stesso. Ciò che è fondamentale, in una condizione di simultanea presenza di differenti modelli è che i software che gestiscono ciascun modello siano in grado di trasmettere e ricevere reciprocamente le informazioni, senza possibilità di errore nella comunicazione. Ma questo aspetto sarà sviluppato più avanti. Focalizzando ora l'attenzione sul modello che ha l'obiettivo di rappresentare le effettive geometrie del reale, come dicevamo, gli strumenti BIM non consentono la costruzione degli innumerevoli elementi che compongono il Patrimonio Culturale. In termini operativi significa che le librerie precaricate sui software non contengono elementi parametrici effettivamente rispondenti gli oggetti storici. Ed anche quando questi siano presenti (si pensi per esempio ad una struttura muraria) le caratteristiche e i valori parametrici non sempre possono essere settati su quelli effettivamente esistenti perché presentano materiali e tecniche oramai (o spesso) in disuso e quindi non contemplate nel settore delle costruzioni.

La ricerca accademica ha condotto negli ultimi anni approfonditi studi, anche su casi reali di interventi di conservazione e restauro, sul tema del BIM per il Patrimonio Culturale. Il progetto al quale si fa riferimento è il PRIN 2010-2011: BHIMM - Built Heritage Information Modelling/Management che prevedeva la sperimentazione di azioni capaci di migliorare le politiche di gestione del patrimonio costruito.

Heritage Building Information Modelling (HBIM) rappresenta un sistema capace di connettere informazioni di carattere storico, costruttivo, materiale, documentale, ecc. a oggetti geometrici tridimensionali.

Attraverso l'integrazione di diverse tecnologie e metodi di rilievo (nuvole di punti da laser scanner e immagini fotogrammetriche) vengono eseguite analisi e modellazioni puntuali degli oggetti, con un incremento progressivo dei LOG, livello di accuratezza delle geometrie. Le informazioni necessarie per poter modellare gli oggetti con un livello delle geometrie alto derivano da diverse fonti, come per esempio analisi e diagnostica, immagini all'infrarosso, informazioni derivanti dai manuali di tecniche costruttive tradizionali, oltre che il rilievo accurato delle superfici mediante nuvola di punti.

Brumana e al., grazie alla collaborazione tra restauratori e geomatici, hanno prodotto una

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

accurata analisi e ricostruzione dei sistemi voltati di Palazzo Magio Grasselli a Cremona, con l'obiettivo di implementare la conoscenza delle tecniche costruttive e capire la varietà delle geometrie per conoscere meglio il comportamento strutturale al fine di condurre in maniera corretta le scelte conservative. Lo studio condotto ha dato l'opportunità di identificare differenti tipologie che sono convogliate poi in un abaco. Per attribuire una adeguata accuratezza ai modelli HBIM è stata effettuata una elaborazione delle nuvole di punti (Banfi 2017). Per ciascuna delle tre volte analizzate nel caso studio è stato costruito il modello HBIM con associati i relativi dati informativi.

È stato poi creato un database spaziale (DB) per la gestione dei dati informativi. Le fasi fondamentali per creare un DB spaziale sono: caratterizzazione dei dati e definizione degli obiettivi, set-up del modello del DB, collegamento con il server geografico, pubblicazione online. Il DB è popolato da differenti tipi di informazioni: tipologia dell'edificio dove si trova la volta in oggetto, posizione geografica, tipologia della volta, sotto tipologie e principali elementi, componenti costruttivi, disposizione degli elementi e texture, dimensioni degli elementi, materiali, fasi costruttive, keywords, informazioni sulle tecniche e metodologie di rilievo utilizzate, scala, grado di accuratezza del modello HBIM, tecniche diagnostiche utilizzate per reperire informazioni, analisi strutturale e rilievo del quadro fessurativo. Il DB fornisce inoltre la disponibilità di campi per informazioni di tipo descrittive.

I dati registrati sono messi a disposizione attraverso una piattaforma accessibile online. Al momento il collegamento tra GeoDB e gli altri dati 3D è possibile con un link esterno. I dati che possono essere collegati possono essere in vari formati e origine: software proprietari BIM, OpenBIM, web link, librerie di oggetti, modelli mesh 3D che supportano texture (Brumana et al. 2019).

L'elaborazione di modelli 3D accurati e realistici relativi al costruito storico è strettamente legata al processo di conservazione. Oggi il BIM rappresenta una opportunità per la documentazione e conservazione del Patrimonio Culturale, ma gli attuali strumenti richiedono ancora sviluppo e ricerca al fine di ottenere modelli dettagliati aderenti alle reali irregolarità e eterogeneità del costruito storico. I modelli parametrici generati col BIM sono collegati a database e qualsiasi modifica venga effettuata sui parametri modifica le forme del modello. Attualmente non esistono librerie condivise per elementi storici, l'obiettivo è quello di creare e definire queste librerie attraverso lo sviluppo di metodologie e algoritmi generare questi elementi partendo dai dati di rilievo, non solo dalle nuvole di punti ma anche dalle misurazioni dirette con metodi tradizionali, evitando l'eccessiva semplificazione delle forme. Questa soluzione consente di creare un abaco degli elementi costruttivi e di compararli con le informazioni derivanti dai manuali delle tecniche costruttive.

Gli elementi costruttivi tradizionali, seppure considerati all'interno della stessa tipologia di appartenenza, presentano significative differenze nella struttura, nelle dimensioni, nella forma e nella materia, di conseguenza si rende necessario l'uso dell'HBIM per modellare questi elementi al fine di valorizzare queste differenze che li rendono unici e non standardizzati, creando delle librerie condivise (Oreni et al. 2013).

Oreni et al. propongono una metodologia per la costruzione di un modello HBIM partendo da una nuvola di punti derivante da rilievo effettuato con laser scanner. La sequenza delle

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

attività prevede prima di tutto la definizione delle macro-famiglie degli elementi (per esempio volta in muratura, volta lignea, ...), segue la definizione della gerarchia delle aggregazioni degli oggetti che compongono la famiglia (strutturale, non strutturale, elemento decorativo), infine definizione dei materiali per ogni oggetto. La definizione della gerarchia di oggetti è il punto di inizio per la definizione del database degli elementi che tiene in considerazione la geometria, le tecniche costruttive e lo stato di conservazione dell'elemento analizzato. La definizione di librerie di oggetti parametrici, condotta anche in accordo con le informazioni derivanti dai manuali sulle tecniche costruttive è alla base per la creazione di un archivio delle differenti soluzioni tecniche utilizzate nel corso del tempo e in differenti realtà territoriali. Per questo motivo, parlando di una varietà e eterogeneità così fatta, è piuttosto difficile riferire ad una metodologia univoca per la registrazione delle informazioni: il rilievo e l'archiviazione delle informazioni richiede infatti una corretta documentazione e organizzazione dei dati al fine di ottenere una SDI (Spatial Data Infrastructure) adeguata e riconosciuta dalle comunità e dai soggetti che si occupano di Patrimonio Culturale (Oreni et al. 2013).

L'International Framework for Dictionaries (IFD) è lo standard, uno dei componenti core che stanno alla base della tecnologia di buildingSMART. Sostanzialmente è un dizionario internazionale che definisce univocamente termini e significati di oggetti (entità), prodotti e processi nel mondo delle costruzioni. Gli IFD fanno riferimento agli standard internazionali definiti nelle ISO 12006-3 (ISO 12006-3). Appare dunque evidente la necessità di avere un dizionario, un IFD, specifico per il patrimonio costruito storico che sia base sostanziale per la definizione del protocollo IFC di interoperabilità tra i modelli informativi.

I casi studio presentati da Brumana, Oreni e al. comparano l'uso di due differenti software BIM (Autodesk Revit e Graphisoft ArchiCAD) in riferimento alla possibilità di modellare oggetti architettonici irregolari. Sono inoltre stati testati: Pointools della Bentley (software di processamento di nuvole di punti) (Bentley Pointools), Rhino (modellatore di superfici e volumi) e strumenti applicativi della Leica specifici per Revit al fine di verificare la possibilità di costruire famiglie di oggetti partendo da nuvole di punti. Lo studio aveva come oggetti differenti casi di solai lignei, volte in muratura e volte lignee rilevati presso l'Ospedale Maggiore di Milano (Oreni et al. 2013) e la Chiesa di Santa Maria in Scaria d'Intelvi (Oreni et al. 2013; Brumana et al. 2013) e ancora le strutture murarie di quest'ultima (Brumana et al. 2013). Nel caso del solaio ligneo, gli elementi costituenti la struttura erano stati modellati come famiglie autonome e poi successivamente combinati così da comporre l'intero, in modo da ottenere differenti tipi da applicare in varie situazioni. Nel caso delle volte in muratura, l'uso delle funzioni del software non ha restituito un risultato soddisfacente pertanto si è proceduto innanzitutto a ripulire la nuvola di punti dai dati relativi alle decorazioni così da ottenere la superficie effettiva della parte strutturale, in seguito attraverso varie sezioni orizzontali e verticali è stata creata la mesh per modellare la volta e creare così la relativa famiglia. Nel caso delle murature, a causa del fatto che le librerie precaricate su Revit non consentono la modellazione di volumi irregolari, è stato necessario combinare un elemento muro regolare con uno strato irregolare che rappresentasse la deformazione della facciata. I casi studio condotti hanno mostrato come sia possibile un

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

passaggio dal concetto di superfici alla rappresentazione tridimensionale di oggetti supportati da informazioni relativi alle peculiarità, irregolarità e al carattere storico e culturale. Per poter però ottenere un modello che fosse effettivamente rappresentativo e portatore di conoscenza è stato necessario “forzare” la standardizzazione degli elementi consentiti con i software BIM attraverso la creazione di dizionari, librerie specifiche e nuove famiglie create con l’ausilio di software modellatori.

Un altro vantaggio offerto dal BIM, come già esposto precedentemente, è quello di gestire più dimensioni oltre alle tre spaziali, dunque il BIM consente anche la registrazione delle fasi costruttive e delle mutazioni succedutesi nel tempo, come nel caso studio dell’Albergo dei Poveri a Genova presentato da Babbetto. Lo studio storico – archivistico e archeologico ha prodotto una approfondita conoscenza dell’edificio tale che è stato possibile ricostruire e modellare sia gli elementi esistenti ma anche quelli che non più presenti. Ad ognuno di essi è stato assegnato, all’interno delle schede delle proprietà, uno specifico attributo che individuasse la fase di realizzazione, rimozione e sostituzione. Attraverso un unico modello digitale è dunque possibile una ricostruzione cronologica della storia architettonica del complesso (Babbetto 2017).

Un ulteriore esempio è fornito dal progetto di restauro della Basilica di Santa Maria di Collemaggio a L’Aquila, gravemente danneggiata dal sisma del 2009. Come indicato da Oreni, lo scopo del modello HBIM è quello di riprodurre gli edifici storici il più vicino possibile alle irregolarità geometriche e stato di conservazione (Oreni et al., 2014a), (Brumana et al., 2014). Nell’esperienza della Basilica di Collemaggio, a partire da diverse nuvole di punti (Oreni et al., 2012), sono stati creati i modelli e gli oggetti 3D utilizzando Rhinoceros e convertiti in oggetti BIM al quale poi sono state associate le informazioni relative a materiali, stato di conservazione, interventi pianificati, ecc. Riprendendo il discorso sul LOD, nello specifico sui LOG che riguardano le informazioni geometriche, ci sono stati dei momenti in cui era richiesto un alto livello di dettaglio non solo dell’intero elemento ma anche dei singoli subelementi che lo compongono. Si parla nello specifico della modellazione delle colonne che dividono le tre navate. Il modello doveva consentire di gestire l’intera lavorazione di restauro specifica e “personalizzata” per ognuna di esse, affinché si potesse condurre una corretta ed esaustiva valutazione progettuale, pertanto era richiesta una modellazione precisa e dettagliata anche dei conci lapidei che le compongono. È evidente come tale accuratezza non sia richiesta in un modello finalizzato, per esempio, alla gestione degli impianti per il quale era invece sufficiente avere l’ingombro volumetrico globale dell’intero elemento. Il modello HBIM ha consentito, inoltre, anche l’analisi del comportamento strutturale (attraverso l’utilizzo di Midas) e la valutazione economica delle azioni di restauro. Per ovviare alla mancanza, all’interno delle librerie, di elementi tipici delle costruzioni storiche si procede con la creazione di nuove famiglie di oggetti. I modellatori consentono di ricostruire le primitive geometriche dalle quali derivare, all’interno del BIM, i volumi parametrici ai quali associare le ulteriori informazioni. L’obiettivo finale è quello di integrare gli attuali strumenti di BIM con gli oggetti che costituiscono un edificio storico e che contengano tutte le informazioni necessarie per gestire l’intero processo di Conservazione. La base per effettuare questa operazione deriva dalle risultanze dell’OR1 dove sono

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

individuare le fasi del processo, i soggetti coinvolti, le attività, i modelli rappresentativi di tutte le operazioni e gli oggetti dei modelli, con i diversi livelli di dettaglio in funzione della fase del processo, dell'uso e degli obiettivi del modello stesso. Tutti questi aspetti sono descritti attraverso le **ontologie** che, mediante classi e relazioni (Obrst, 2003) danno risposta ai fabbisogni informativi per la definizione degli standard di interoperabilità necessaria affinché i vari software/sistemi utilizzati siano in grado di trasmettere e recepire correttamente (D'Andrea A. e Niccolucci F., 2019), senza possibilità di errore e di perdita di informazioni, i dati e le informazioni che rappresentano la conoscenza del Bene.

Nel campo dei beni culturali, i tentativi di digitalizzare le informazioni hanno generato nel corso degli anni un'eterogeneità di risultati. Poiché i modelli prodotti sono realizzati utilizzando vari metodi e strumenti e senza alcun coordinamento sia nei contenuti che nella forma, si riscontra una generale carenza di interoperabilità e omogeneità delle informazioni. Grazie alla capacità di condividere sia la sintassi che la semantica delle informazioni, l'uso di ontologie e standard condivisi è il modo migliore per la gestione della conoscenza e lo scambio di informazioni.

Il CIDOC-CRM (Conceptual Reference Model) (Le Boeuf et al., 2019) può essere considerato il modello concettuale ontologico di riferimento. È stato sviluppato per gestire la catalogazione della documentazione relativa ai musei, in seguito sono state introdotte progressivamente altre ontologie specifiche al fine di specificare altri aspetti del processo di conservazione e ampliare lo spettro di interesse. Il ruolo principale di CRM è quello di consentire lo scambio di informazioni e l'integrazione tra fonti eterogenee (CIDOC-CRM 2019 a).

CRM fornisce un modello finalizzato all'interoperabilità semantica. I contenuti del CRM sono standardizzati dalla ISO 21127: 2014 (ISO 21127: 2014). Lo scopo principale di questi standard internazionali è offrire la base concettuale per lo scambio di informazioni tra le istituzioni del patrimonio culturale.

Il CRMba (Modello per gli edifici storici) è uno schema ontologico creato per codificare i metadati inerenti la documentazione degli edifici storici. Il modello è stato concepito per supportare il processo di registrazione delle evidenze e delle discontinuità della materia, al fine di identificare l'evoluzione e le fasi delle strutture nel corso dei secoli, di registrare le relazioni tra che legano le componenti dell'edificio tra di loro e con l'edificio nel suo insieme. Mira a esprimere le relazioni semantiche delle unità stratigrafiche di un edificio considerando la teoria dell'analisi stratigrafica degli elevati (CIDOC-CRM 2019 b).

CRMarchaeo (modello per lo scavo archeologico) è un'estensione creata per supportare il processo di scavo archeologico e tutte le varie entità e attività ad esso correlate. Il modello è stato creato partendo da standard e modelli già in uso dalle istituzioni nazionali e internazionali per i beni culturali e si è evoluto attraverso un'analisi approfondita dei metadati derivanti dalla documentazione archeologica (CIDOC-CRM 2019 c).

CRMtex (Modello per lo studio di testi antichi) è un'estensione di CIDOC CRM creata per supportare lo studio di documenti e testi antichi, identificando le entità testuali e correlando il processo scientifico con l'indagine documentaria al fine di favorire l'integrazione con altri campi di ricerca come l'archeologia e la storia (CIDOC-CRM 2019 d).

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

CRMgeo (Modello spazio-temporale) è un'ontologia formale destinata ad essere utilizzata per l'integrazione delle proprietà spaziali e temporali. Lo scopo principale è di fornire uno schema per integrare le informazioni usando le concettualizzazioni, le definizioni formali, gli standard di codifica e le relazioni topologiche definite dall'Open Geospatial Consortium (OGC) (CIDOC-CRM 2019 e).

Il CRMsci (Modello di osservazione scientifica) è un'ontologia formale destinata ad essere utilizzata come uno schema globale per l'integrazione di metadati relativi all'osservazione scientifica, alle misurazioni e ai dati elaborati nelle scienze descrittive ed empiriche come la biodiversità, la geologia, la geologia, l'archeologia, la conservazione del patrimonio culturale e altri in ambiti di ricerca e librerie di dati (CIDOC-CRM 2019 f).

Il FRBRoo (Requisiti funzionali per record bibliografici) è un'ontologia formale per la raccolta e rappresentazione semantica di informazioni bibliografiche. Lo scopo è facilitare l'integrazione, la mediazione e lo scambio di informazioni bibliografiche e museali (CIDOC-CRM 2019 g).

Il PRESSoo (Modello delle informazioni bibliografiche) è un'ontologia formale per la raccolta e rappresentazione semantica delle informazioni bibliografiche sulle risorse periodiche (riviste, giornali, ecc.) (CIDOC-CRM 2019 h).

CRMinf (Modello di argomentazione) è un'ontologia formale per l'integrazione di metadati su argomentazioni e inferenze nelle scienze descrittive ed empiriche come biodiversità, geologia, geografia, archeologia, patrimonio culturale, conservazione, ambienti IT di ricerca e librerie di dati di ricerca (CIDOC-CRM 2019 i).

Oltre alle ontologie appena descritte, sono presenti altri esempi di utilizzo delle ontologie per i beni culturali. Le esperienze condotte hanno interessato sia aggregati urbani sia edifici singoli. In particolare, per i centri storici è stato affrontato il tema dell'integrazione delle ontologie partendo da quelle CIDOC per la valutazione della vulnerabilità dei centri storici (Fiorani, 2019). Gli esempi di uso delle ontologie per gli edifici singoli sono in numero maggiore rispetto a quelle sui centri storici, anche se ogni esperienza non ha sviluppato un approccio generale alla conservazione, ma ha focalizzato l'attenzione su aspetti specifici, come per esempio il degrado e la conservazione delle superfici (Acierno et al., 2017; Cacciotti et al., 2015; Messaoudi et al., 2018)

Le ontologie descrittive specifiche per il processo di conservazione del Patrimonio Culturale architettonico sono compilate secondo quanto già attuato con il sistema CIDOC-CRM e sue declinazioni (Le Boeuf et al. 2019), in accordo con le risultanze delle attività dell'OR1.

Le classi, subclassi e le relazioni che intercorrono tra loro sono precedentemente individuate e definite nella fase di compilazione degli attributi informativi nella parte OR1. In particolare, le classi e le subclassi, congiuntamente con gli attributi chiave di denominazione definiscono gli oggetti, i soggetti, le azioni, le fasi, ecc., mentre le relazioni sono definite attraverso le proprietà delle ontologie, queste proprietà corrispondono agli attributi chiave identificativi e sono utilizzate per descrivere le classi.

Riprendendo il discorso sui BIM, quelli attualmente in commercio sono in grado (entro i limiti sopra descritti) di restituire modelli relativi agli aspetti architettonici, strutturali, impiantistici. I BIM disponibili possono essere classificati in tre diverse categorie in base alle funzionalità,

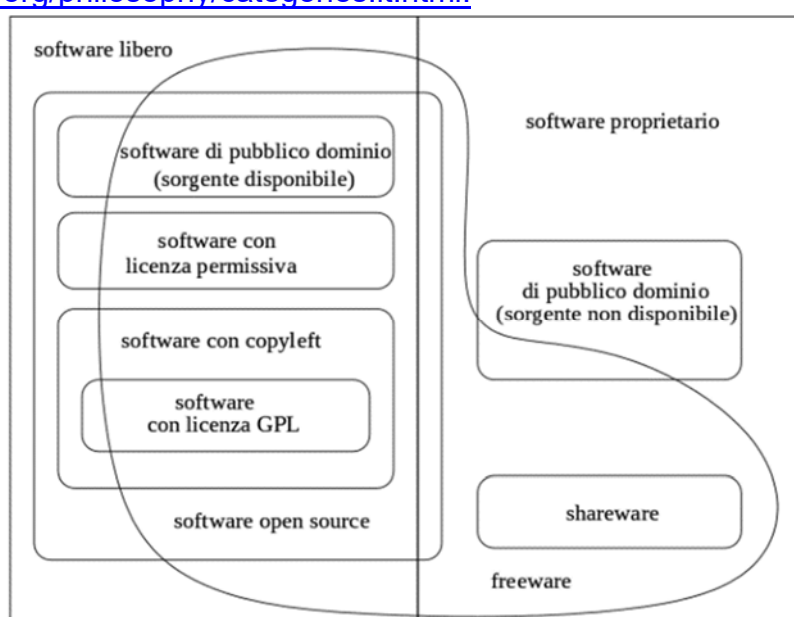
OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

come indicato in tabella (Logothetis et al., 2015):

Tipo di strumento	Funzionalità
Strumenti per la progettazione di modelli 3D (modellatori 3D)	Che rappresentano i veri strumenti BIM, lavorando con oggetti solidi e parametrici con funzionalità per la costruzione virtualmente dell'edificio
Strumenti di modelli di proiezione/visualizzazione (Visualizzatori/Modellatori di superfici)	Quale aiuto per capire come “apparirà” l'edificio, un modellatore di superficie o uno visualizzatore (tutte le forme sono vuote)
Strumenti per il calcolo dell'analisi dei modelli	Sono software che comunicano con lo strumento BIM principale, ad es. analizzare i dati del modellatore 3D per determinare l'efficienza energetica del modello o l'illuminazione diurna

I BIM, così come qualsiasi software, possono essere classificati in base alle caratteristiche della licenza d'uso, ovvero alla disponibilità del codice sorgente (che rappresenta l'anima del software) e alle sue modalità di utilizzo. Fondamentalmente ci sono due categorie: software proprietari (cioè non liberi) e software liberi. Il termine “libero” è riferito non al fatto di dover pagare un prezzo per poterlo utilizzare, ma appunto alla disponibilità e libertà di utilizzo del codice. I software proprietari possono essere a pagamento o in prova gratuita, con eventuali limitazioni temporali e/o funzionali; i software liberi sono in sostanza (per semplificare il concetto) gli Open Source, cioè con codice a “sorgente aperto” con alcune differenze di utilizzo, modifica e diffusione in funzione di condizioni particolari.

È chiaro dunque che i software gratuiti (freeware) possono essere sia liberi sia proprietari. Lo schema sintetizza le differenze che possono essere approfondite sul sito <https://www.gnu.org/philosophy/categories.it.html>.



OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Attualmente ci sono diverse aziende che sviluppano software BIM, a seconda della politica condotta dall'azienda si hanno a disposizione sia software proprietari sia in versione libera.

Di seguito, sono riportati alcuni tra i BIM attualmente disponibili:

Nome prodotto	Softwarehouse	Funzionalità	Sito internet
AECOSim Building Designer	Bentley Systems	Creazione e revisione di modelli 3D	www.bentley.com
Affinity	Trelligence	Modellazione concettuale 3D	www.trelligence.com
Allplan Architecture	Nemetschek	Creazione e revisione di modelli 3D	www.allplan.com
Allplan Engineering	Nemetschek	Creazione e revisione di modelli 3D	www.allplan.com
ArchiCAD	Nemetschek	Modellazione architettonica concettuale 3D	www.graphisoft.com
Bentley Navigator	Bentley Systems	Analisi e revisione del progetto	www.bentley.com
BIM Vision	Datacomp Sp. z o.o.	Visualizzatore di modelli IFC	bimvision.eu
BIMx	Graphisoft	Visualizzatore di modelli	bimx.archicad.com
B-processor	Aarus School	Modellatore 3D	b-processor.dk
BricsCAD BIM	Bricsys	Creazione e revisione di modelli 3D	www.bricsys.com
CostX	Exactal	Stima su modelli 3D	www.exactal.com
CYPE	CYPE	Creazione e revisione di modelli 3D	www.cype.com
Digital Project	DigitalProject	Progettazione di BIM architettonico e oggetti 3D	www.digitalproject3d.com
DProfiler	Beck Technology	Progetto concettuale e stima dei costi	www.beck-technology.com
Dynamo Studio	Autodesk	Creazione di modelli 3D	www.autodesk.com
Edificius	ACCA Software	Progettazione di BIM architettonico e oggetti 3D	www.accasoftware.com
FreeCAD	FreeCAD	Modellazione architettonica	freecadweb.org
Hevacomp Dynamic Simulation	Bentley Systems	Analisi energetica	www.bentley.com

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Hevacomp Electrical Designer	Bentley Systems	Progettazione e analisi di sistemi elettrici	www.bentley.com
Hevacomp Mechanical Designer	Bentley Systems	Progettare e analizzare di sistemi meccanici	www.bentley.com
IDEA Architecture	4M BIM Software	Modellazione architettonica	www.bim-architecture.com/
IFC Builder	CYPE	Modellazione architettonica	www.cype.com
MicroStation	Bentley Systems	Creazione e revisione di modelli 3D	www.bentley.com
Midas	Midas IT	Analisi strutturale	http://en.midasuser.com/
Navisworks	Autodesk	Revisione di progetti	www.autodesk.com
Navisworks Freedom	Autodesk	Visualizzatore di modelli	www.autodesk.com
OpenMAINT	CMDBuild	Property & Facility Management	-
PriMus IFC	Acca	Computi metrici da IFC	www.accasoftware.com
Revit	Autodesk	Creazione di modelli 3D	www.autodesk.com
RISA	Nemetschek	Modellazione e analisi strutturale	risa.com
Robot Structural Analysis Professional	Autodesk	Analisi strutturale	www.autodesk.com
SDS/2 BIM	Nemetschek	Modellazione strutturale	sds2.com
SketchUpPro	Trimble	Modellazione concettuale 3D	www.sketchup.com
Solibri Model Checker	Solibri	Controllo e validazione di modelli	www.solibri.com
Solibri Model Viewer	Solibri	Visualizzatore di modelli	www.solibri.com
TAD (The Architect's Desktop)	Teamtad	Modellazione architettonica	www.teamtad.com
TeklaBIMsight	Trimble Solutions	Collaborazione e gestione di progetti BIM	www.teklabimsight.com
TeklaStructures	Trimble Solutions	Modellazione concettuale 3D	www.tekla.com
Vectorworks Designer	Nemetschek	Modellazione concettuale 3D	www.vectorworks.net
Vico Office	Trimble Solution	Modellazione concettuale 5D	www.vicosoftware.com
VisualARQ	Asuni CAD	Modellazione 3D	www.visualarq.com

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

xBIM Toolkit	Northumbria University	Visualizzatore di modelli	docs.xbim.net
--------------	------------------------	---------------------------	---

Si riportano di seguito alcune informazioni sui software maggiormente diffusi (proprietary o Open Source): GraphiSoft ArchiCAD, Autodesk Revit, Bentley MicroStation V8i, Tekla Structures, Edificius (ACCA), Tekla BIMsight e Autodesk Navisworks Freedom.

Revit Autodesk è un software BIM che consente di creare modelli così detti “di massa” con una combinazione di forme vuote e solide. Le superfici del volume di massa possono essere convertite in elementi dell'edificio, inoltre all'interno del modello di massa possono essere generati altri elementi architettonici (Boeykens S. e Neuckermans H., 2005). Revit include funzionalità per la progettazione architettonica, meccanica, elettrica o idraulica (MEP), edilizia e ingegneria strutturale. Supporta lo standard IFC aperto basato su XML, sviluppato dall'organizzazione BuildingSMART. Questo tipo di file consente ai vari soggetti coinvolti di gestire il flusso di lavoro senza possibilità di errore e perdita di informazioni e dati (Autodesk, 2019c).

ArchiCAD (Graphisoft) è una piattaforma di progettazione architettonica. La modellazione degli oggetti è ottenuta mediante l'uso di standard parametrici (Graphisoft, 2019). Gli elementi possono essere creati come nuovi oggetti utilizzando il linguaggio di scripting incorporato, Geometric Description Language (GDL), o importati dalle librerie precaricate (come pareti, tetti, travi, lastre, ecc.). L'uso di GDL consente la creazione di qualsiasi tipo di oggetti BIM parametrici e possono essere memorizzati nelle librerie (Murphy et al., 2011). Anche ArchiCAD, come Revit, gestisce file in accordo con i protocolli IFC.

Bentley Systems offre una vasta gamma di prodotti per architettura, l'edilizia e l'ingegneria. *Bentley Architecture*, la piattaforma BIM presentata nel 2004 specifica per l'architettura, è un'evoluzione del software *Triforma*. L'ultimo software è *MicroStation* utilizzato per il settore AEC. *MicroStation* consente operazioni aggiuntive per tutti i tipi di infrastrutture, edifici, strade, ponti, linee ferroviarie, reti di comunicazione, reti di acque reflue, acqua, impianti di processo, miniere ecc. *MicroStation* può essere utilizzato come un'applicazione software o come piattaforma tecnologica per applicazioni specifiche. La piattaforma tecnologica offre sottosistemi per l'integrazione coerente di dati, geometrie e accresce l'esperienza dell'utente in una vasta gamma di applicazioni complete per l'ingegneria, la progettazione e simulazione. Inoltre, garantisce e sfrutta i vantaggi di ogni applicazione, consentendo ai gruppi multidisciplinari di rapportarsi attraverso software interoperabile *MicroStation* consente di elaborare disegni 2D e modelli 3D, per produrre grafici 3D, PDF 3D ricchi di informazioni precise e accurate. *MicroStation* consente la simulazione delle prestazioni del progetto, animazioni e render realistici (Bentley System, 2019).

Tekla Structures è un software BIM che consente la creazione e la gestione di modelli 3D dettagliati e altamente costruibili, con la possibilità di utilizzo di diversi materiali e la modellazione di strutture complesse. Tekla consente di gestire l'intero processo di costruzione, dalla progettazione concettuale alla gestione della struttura. Il software può essere utilizzato sia per interfacciarsi con altre applicazioni esistenti sia come piattaforma per sviluppare una soluzione personalizzata. Tekla è una soluzione aperta che supporta la

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

standardizzazione e l'interoperabilità (Trimble Solutions, 2019b). Il software supporta le seguenti estensioni di file: DWG, IFC, DGN, DXF, CIS / 2, DTSV e SDNF. Tekla Structures è in grado di gestire modelli molto grandi e consente di effettuare simultaneamente operazioni sullo stesso progetto e da parte di più utenti. Inoltre, supporta la compilazione di componenti personalizzati all'interno di librerie parametriche (Eastman et al., 2011).

Edificius (ACCA) è uno strumento di progettazione avanzato per il BIM, primo e unico software BIM architettonico italiano con certificato buildingSMART per l'import e l'export IFC. Questo software consente al professionista di sviluppare il progetto con un unico software, dall'idea progettuale alla documentazione (piante, sezioni, programmi, tabelle, ...). Consente il controllo dei tempi (4D) e dei costi (5D) e sfrutta le integrazioni con i vari altri software ACCA (calcolo strutturale, computo metrico, analisi energetica, MEP, sicurezza, manutenzione e analisi acustica). Consente una comunicazione efficace del progetto al cliente grazie alle funzionalità di presentazioni (rendering, rendering in tempo reale, tour virtuali, video e animazioni, inserimento di immagini e ritocco fotografico) (ACCA, 2019a).

Tekla BIMsight è un software BIM in grado di gestire l'intero processo di progettazione, coordinamento e revisione del flusso di lavoro. Tekla BIMsight è un software prodotto come supporto per la modellazione edile, impiantistica e infrastrutturale orientata alla costruzione e alla gestione delle strutture. Gli attori del processo possono condividere i loro modelli, verificare la presenza di interferenze, inserire commenti e cooperare in maniera proficua. Tekla BIMsight gestisce file nei formati: IFC, DWG e DGN, oltre che i formati SketchUp, STEP e IGES. A seconda del flusso di lavoro adottato dagli utenti, i modelli IFC sono in genere suddivisi in aree, come ad esempio in piani e edifici, e le parti di ogni modello di riferimento possono essere organizzate in gruppi funzionali, ad esempio parti architettoniche, parti strutturali e parti del settore MEP. Tekla BIMsight consente ai partecipanti al progetto di identificare e risolvere i problemi già in fase di progettazione prima della visualizzazione finale. Inoltre, Tekla BIMsight Note permette di comunicare, ricevere e rispondere agli appunti creati in Tekla BIMsight, direttamente attraverso dispositivi mobile (Trimble Solutions, 2019a).

Il software **Navisworks Freedom** è un visualizzatore gratuito per i formati di file NWD e DWF. Combina dati di progettazione (creati in AutoCAD, Revit e altre applicazioni) con modelli creati da altri strumenti. I file NWD visualizzati con Navisworks Freedom offrono ai soggetti del processo un accesso ampio e completo all'intero progetto, contribuendo a migliorare la collaborazione e la comunicazione. Con tale software è possibile creare modelli multidisciplinari per una vasta gamma di applicazioni, che possono essere combinati in un unico modello di progetto integrato e pubblicati nel formato NWD. Il file pubblicato fornisce l'accesso a: proprietà degli oggetti, gerarchia dei modelli e dati di revisione incorporati, tra cui animazioni, punti di vista e commenti (Autodesk, 2019b).

Applicazione BIM nel contesto del Patrimonio Culturale

Inserendo il termine di ricerca "BIM" in database come Scholar, Scopus e ScienceDirect, è possibile trovare oltre seicentomila pubblicazioni, ma la quantità si riduce notevolmente se si associano i termini "patrimonio culturale" e "restauro", che portano rispettivamente a circa

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

quattromila e circa cento risultati. Dalla lettura di questi contributi è emerso che le informazioni sono tante ma non sempre vengono fornite le indicazioni circa il software utilizzato e la metodologia applicata.

Precedentemente sono già stati presentati alcuni esempi di utilizzo del BIM per edifici storici, altri esempi di applicazione, suddivisi per software utilizzato, sono riportati a seguire.

Un esempio di applicazione del BIM in ambito internazionale per un edificio storico è il progetto di conservazione del Municipio di Manchester, una delle applicazioni pilota del Building Information Modeling del governo britannico. Questa esperienza ha dimostrato quanto possa essere utile e produttiva l'ingegneria digitale durante le varie fasi: un consistente risparmio economico, il rispetto dei tempi programmati e il vantaggio dell'uso del BIM per gli scopi del Facility Management (Codinhoto et al, 2011).

Autodesk REVIT

Essendo il software maggiormente diffuso, è quello che offre più esempi. Come è stato affermato in precedenza, Revit è un potente software BIM, ma nella maggior parte delle esperienze di modellazione di edifici storici, sono emersi i suoi limiti. Si presentano a seguire alcuni esempi di utilizzo di Revit per il Patrimonio Culturale, ritenuti maggiormente rappresentativi.

Secondo Antonopoulou e Bryan ci sono diversi casi di applicazione Revit su edifici storici (Antonopoulou S. e Bryan P., 2017). Uno degli esempi presentati è "The Oriental Club" presso la Stratford House di Londra. In questo caso, le esigenze del cliente hanno richiesto un alto livello di dettagli degli elementi modellati. Inoltre, i progettisti hanno dovuto impostare diverse famiglie parametriche per rappresentare tutti i componenti delle finestre del tipo a ghigliottina presenti nell'edificio, per registrare le informazioni relative alle loro condizioni e facilitare la programmazione degli interventi. (Bury Associates 2019)

Il secondo esempio è un ex ufficio postale a Dundee, in Scozia, realizzato da Greenhatch Group. Lo scopo del modello in Revit era di fungere da hub condiviso per gli appaltatori di tutte le discipline e, dopo il cantiere, come supporto nella gestione. Anche in questo caso, sono state prodotte diverse famiglie parametriche. Alcuni elementi hanno richiesto una particolare attenzione perché era impossibile modellarli con le masse volumetriche "standard": si tratta di due statue raffiguranti delle donne alate. La soluzione è stata quella di creare una mesh (mediante l'uso di CloudCompare) (CloudCompare, 2019), pulita dai rumori presenti e modificata (mediante l'uso di MeshLab) (MeshLab, 2019), rivista e migliorata (con l'ausilio di 3d Studio Max) (Autodesk, 2019a), esportata e infine importata in una famiglia Revit. Il risultato ottenuto è stato un elemento graficamente corretto (Greenhatch Group, 2019a).

Un altro lavoro sviluppato da Greenhatch Group sono gli edifici scolastici vittoriani, Londra. L'obiettivo era quello di creare un modello da utilizzare come strumento di gestione e documentazione sulle condizioni dell'edificio. A tale scopo, sono stati prodotti e incorporati numerosi parametri chiave e famiglie nidificate. Particolare attenzione è stata riservata ai serramenti di epoca vittoriana, per i quali è stata creata una specifica famiglia di vetri e sono stati impostati parametri condivisi per sistematizzare le informazioni relative alle condizioni in cui si trovavano al momento. Tutto questo lavoro ha permesso di creare un elenco di

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

lavori e attività di manutenzione di tutti i vetri, oltre 2300 elementi tra finestre e porte. Un altro requisito era la tolleranza della deviazione verticale. Per fare ciò, è stato impostato un limite di 30 mm entro il quale il muro è stato modellato in verticale e una nota di testo è stata aggiunta ai parametri del muro. Altrimenti, il muro è stato modellato con uno spessore uguale alla somma della profondità del muro più la deviazione e un vuoto è stato applicato alla superficie per seguire meglio la nuvola di punti (Greenhatch Group, 2019b).

Un altro esempio di applicazione BIM nel patrimonio culturale è il caso del Teatro Lirico di Milano, un progetto di conservazione e riutilizzo. Per identificare in modo univoco ogni elemento del BIM è stata sviluppata e implementata una WBS utilizzando una serie di parametri ad hoc (Utica et al., 2016). Inoltre, per ottenere un quadro coerente del progetto e ottenere un modello as-built dell'edificio, diverse informazioni sono collegate al modello BIM (come per esempio: composizione dei materiali, dati su tempi e costi, programma di manutenzione, ecc.). Particolare attenzione è stata data alla raccolta di tutte le informazioni sulle attività di restauro e conservazione (Utica et al., 2017).

Un altro progetto concerne una ex fabbrica, un gruppo di tre edifici storici del XIX secolo a Batawa, Toronto (Canada), un villaggio di 600 ettari in Ontario (che presenta una ricca testimonianza di architettura moderna) (Fai et al., 2011). Lo scopo dell'esperienza condotta era quella di creare un "modello BIM Batawa", contenente informazioni e dati sia qualitativi che quantitativi, che avesse la capacità di rappresentare la realtà anche in funzione del tempo: passato, corrente e possibile futuro di Batawa. Inoltre, per la conservazione del patrimonio, il modello generato era in grado di gestire e trasmettere anche dati relativi a materiali e metodi di costruzione. Il "modello Batawa" rappresenta anche uno strumento prezioso per la gestione dei documenti storici. Le prime attività hanno riguardato la modellazione delle superfici topografiche attraverso l'uso di una scansione laser terrestre (TLS) e un sistema di posizionamento globale (GPS) (Letellier et al., 2007). I risultati ottenuti sono stati assemblati in AutoCAD Civil 3D. Quindi, le nuvole di punti sono state utilizzate anche per produrre il modello BIM, utilizzando Autodesk Revit. Il progetto Batawa riunisce una vasta gamma di dati di origine, sia analogici che digitali, in un unico oggetto digitale senza soluzione di continuità. Questi dati includono informazioni, sia qualitative che quantitative (per esempio, tipo di edificio, costruzione, prestazioni, materiale e così via), con informazioni sul valore immateriale (come narrazione e musica) (El-Hakim et al., 2005) (Remondino et al., 2009). Questo modello è stato costruito utilizzando una vasta gamma di pacchetti software disponibili in commercio per applicazioni specifiche (AutoCAD, Civil3d, SketchUp, Revit). È stato utilizzato anche Navisworks, per la gestione del progetto che consente di integrare e far interagire più software, per gestire tutti questi "pezzi" in un unico modello.

ArchiCAD

Uno degli esempi proposti è stato sviluppato da Murphy e altri, che hanno prodotto un modello HBIM partendo dalla scansione laser, poi con l'utilizzo della fotogrammetria (Murphy et al., 2013; Dore C. e Murphy M., 2012). La ricerca presenta l'integrazione tra HBIM e CityGML (Ulm, 2010), uno standard Open Geospatial Consortium (OGC) utilizzato in ambiente GIS tridimensionale (de Laat R. e van Berlo L., 2011). Il caso studio è il sito di

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Henrietta Street, a Dublino, costituito da grandi edifici in stile classico. I dati derivanti dal rilievo, effettuato con il laser scanner, sono stati importati in ArchiCAD dove si è proceduto al completamento degli edifici, infine è stata implementata la documentazione bidimensionale relativa ai beni. L'analisi GIS è stata condotta attraverso la conversione del modello HBIM in CityGML (Kolbe et al., 2005). Per convertire il modello HBIM sono stati utilizzati Google SketchUp e il suo plug-in CityGML, in seguito sono stati aggiunti attributi e informazioni per consentire al modello di diventare un sistema informativo che potesse essere importato in diversi sistemi GIS come per esempio ArcGIS. Ulteriori sviluppi sono stati: un'integrazione di oggetti HBIM per CityGML e un sistema di gestione di database (DBS) per gestire modelli CityGML.

Il caso studio di Henrietta Street è presentato anche da Chenau assieme ad altri due progetti: il Monumento Nazionale a Edimburgo e il Karolinum a Praga (Chenau et al., 2011). In questi esempi, i dati 3D sono stati utilizzati in maniera complementare con dati 2D per generare i modelli su ArchiCAD e Google SketchUp. Il Monumento Nazionale di Edimburgo è un memorial ai caduti nelle Guerre Napoleoniche. La prima fase ha previsto il rilievo dell'edificio con l'ausilio della stazione totale, della fotografia digitale e del distanziometro laser (Murphy et al., 2009), seguita poi dalla fase di modellazione su SketchUp (per generare il modello del terreno) e ArchiCAD (per la modellazione dell'edificio). Agli oggetti parametrici generati sono state poi associate le informazioni inerenti i materiali e le tecniche costruttive. Anche nel caso del Karolinum a Praga (Kelly, 2011), la modellazione parametrica è stata effettuata partendo da dati derivanti da un rilievo eseguito con stazione totale (Irvine W.H. and McLennan F., 2006). Gli oggetti inseriti nel modello erano in parte presenti nella libreria e in parte sono stati costruiti ex novo mediante il linguaggio descrittivo geometrico.

MicroStation

La ricerca di progetti per i Beni Culturali eseguiti con il BIM MicroStation, ha restituito un solo esempio condotto con MicroStation TriForma, un'applicazione integrata nell'ultima versione di MicroStation V8i di modellazione e documentazione dell'architettura che offre un approccio avanzato alla progettazione di edifici e alla produzione di disegni.

Arayici, nel progetto di restauro dell'East Manchester, utilizza il laser scanner per il rilievo, la nuvola di punti ottenuta è stata poi elaborata con RiSCANPro e IMMerge, un modulo applicativo di Polyworks che consente la generazione di mesh. In seguito, la modellazione è stata fatta utilizzando, appunto, MicroStation TriForma (Arayici, 2008).

Edificius (Acca)

Un esempio di utilizzo di questo software è presentato proprio sul sito web dell'azienda ACCA. Il progetto riguarda la Iglesia de Santiago de Peñalba in Spagna, un esempio importante dell'architettura mozarabico-ispánica costruita nel X secolo. Durante l'elaborazione del modello sono stati eseguiti diversi passaggi: modellazione a partire dal rilievo; raccolta e rielaborazione di tutte le informazioni fornite dalla Direzione Generale del Patrimonio Culturale della Giunta di Castiglia e León; ottimizzazione di tutte le informazioni e produzione di tutta la documentazione (ACCA, 2019b).

Software gratuiti

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Vengono infine presentati alcuni casi di applicazione mediante l'utilizzo di software gratuiti, anche se in letteratura non sono presenti molti esempi per i Beni Culturali.

Nella famiglia di software BIM, FreeCAD è un esempio estremamente personalizzabile, essendo un Open Source, attraverso la predisposizione di adeguati script. Ci sono alcuni esempi di utilizzo in cui FreeCAD mostra il modo di gestire oggetti parametrici (Schultz et al., 2015), geometrie di modelli 3D (Guimaraes et al., 2016), importazione di nuvole di punti e creazione di mesh (Collette B. e Falck D., 2012) (Logothetis et al., 2017).

Un'altra applicazione di FreeCAD è condotta da Macher che propone un approccio semi-automatico per la realizzazione di modelli BIM di edifici esistenti partendo da nuvole di punti (Macher et al., 2017). Il caso di studio è un edificio pubblico dell'Istituto Nazionale di Scienze Applicate (INSA) di Strasburgo (Francia). Dopo la fase di rilievo, è stata eseguita la modellazione di oggetti partendo dalla nuvola di punti. Il modello in formato .obj (Murray J.D. e VanRyper W., 1996) è stato poi convertito in formato IFC utilizzando FreeCAD e infine importato in Autodesk Revit per associare le informazioni (per esempio, i materiali).

Il caso studio di Kurşunlu Khan, del XV sec. a Manisa (Turchia), ha visto l'utilizzo di SketchUp per creare il modello, quindi gli elementi, gli edifici e le aree sono stati gestiti in formato IFC con l'inserimento di attributi, dati e informazioni (Logothetis S. e Stylianidis E., 2016). Successivamente, utilizzando ArcGIS, un software GIS proprietario, sono stati integrati i dati spaziali (Saygi et al., 2013).

Un ultimo esempio è l'Albergo Diurno "Venezia" a Milano, un modello unico di stili Liberty e Art Deco. Il caso studio nello specifico presenta la modellazione del soffitto dell'atrio composto da ventuno cupole a vela collegate da volte cilindriche. In particolare, un software open source è stato utilizzato per la seconda fase di elaborazione dei dati. Dopo il rilievo e la raccolta dati, è stato utilizzato AgiSoft Photoscan per creare la nuvola di punti, e Grasshopper per Rhinoceros per ricostruire automaticamente forme complesse e geometrie irregolari attraverso le NURBS (Oreni et al., 2014b). L'ultima fase è consistita nell'importazione degli elementi all'interno di software BIM. Il modello così ottenuto serviva per la gestione della struttura.

Gli esempi presentati sono di notevole importanza perché mostrano chiaramente l'interesse da parte di istituzioni, enti e professionisti sui temi della gestione del processo per i Beni Culturali mediante l'uso del BIM e soprattutto mettono in evidenza la volontà di voler superare, con procedure sperimentali e alternative, i limiti che attualmente il BIM presenta. Infatti, un fattore che emerge dai casi studio e che accomuna più o meno tutti, è la necessità di dover utilizzare e appoggiarsi ad altri software di modellazione per poter rappresentare le geometrie e le eterogeneità del costruito storico. L'obiettivo del presente lavoro è appunto quello di allineare il BIM per i Beni Culturali a quello delle costruzioni, portandolo così ad un livello tale per cui i modelli informativi rappresentativi del Bene siano effettivamente in grado di descrivere l'edificio in tutte le sue peculiarità e siano dunque in grado di trasmettere il portato storico che li sostanzia.

Un edificio storico, come ribadito più volte, è un sistema complesso di cultura, storia, vita, eventi e azioni che l'hanno interessato nel tempo. Tutte queste informazioni stratificate, e

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

quelle future che verranno, devono essere disponibili per creare, incrementare in continuo e trasmettere la conoscenza del Bene. Ai modelli informativi inerenti la materialità dell'opera, deve dunque essere affiancato un modello/sistema che sia in grado di raccogliere e gestire informazioni relative agli aspetti immateriali, oltre che l'intero processo conservazione. Attualmente è disponibile sul mercato il Planet – Beni Architettonici. Il Planet è appunto un S.I. che gestisce il processo secondo i contenuti del Piano di Conservazione in accordo con le indicazioni del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio. Un punto favorevole di questo S.I. è che lavora secondo una scomposizione gerarchiche dell'edificio, e questo lo rende in linea con la logica delle ontologie descrittive e del BIM.

Inoltre, dalle attività del OR1 è emersa la necessità di introdurre un nuovo modello (che è stato individuato con il nome "superfici") capace di rappresentare appunto le superfici intese come parte dell'edificio di interesse ed esclusivo intervento da parte dei restauratori. È chiaro il motivo per cui questo sia un aspetto finora sempre trascurato in ambito BIM, anche se diverse sono le esperienze condotte sul tema utilizzando però, in alternativa, strumenti differenti (come per esempio il GIS) che si sono rivelati non pienamente efficaci per questo scopo.

Riferimenti bibliografici

ACCA Software, 2019a. "Edificius. Progettazione Architettonica BIM". <https://www.acca.it/software-bim>.

ACCA Software, 2019b. "Heritage BIM: il restauro della Iglesia de Santiago de Peñalba in Spagna". <http://bim.acca.it/heritage-bim-restauro-iglesia-de-santiago-de-penalba> (Adami e altri), UAV.

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

Adami, A., Fregonese, L., Rosignoli, O., Scala, B., Taffurelli, L., and Treccani, D.: GEOMETRIC SURVEY DATA AND HISTORICAL SOURCES INTERPRETATION FOR HBIM PROCESS: THE CASE OF MANTUA CATHEDRAL FAÇADE, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11, 29-35, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-29-2019>, 2019.

Antonopoulou S., Bryan P. BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England, 2017.

Arayici Y. "Towards Building Information Modelling for existing structures". *Struct Surv.* (2008);26(3):210–22.

Autodesk, 2019a. "3ds Max". <https://www.autodesk.co.uk/products/3ds-max/overview>

Autodesk, 2019b. "Navisworks Freedom". <https://www.autodesk.co.uk/products/navisworks/features>.

Autodesk, 2019c. "Revit". <https://www.autodesk.co.uk/products/revit/features>.

Babbetto R., 2017. Strumenti BIM per il processo di conservazione del costruito. Questioni metodologiche ed esigenze operative, in "Atti del Convegno finale – MODELLAZIONE E

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

GESTIONE DELLE INFORMAZIONI PER IL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE, Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM”, 21 – 22 giugno 2016, ISBN 978-99-98720-17-0, https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=15Babbetto_o33u.pdf.

Banfi F., 2017. BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process. In: ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-2/W5. 57-64. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017.

Bentley System. 2019. “MicroStation. Design and document the world's infrastructure”. <https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation>.

Bentley Pointools. <https://www.bentley.com/en/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-pointools> (2019).

Boeykens S., Neuckermans H. “Scale Level and Design Phase Transitions in a Digital Building Model”. Digital Design: The Quest for New Paradigms Lisbon (Portugal) 21-24 September 2005 (2005):829-836.

Brumana R., Condoleo P., Grimoldi A., Previtali, M. (2019). TOWARDS A SEMANTIC BASED HUB PLATFORM OF VAULTED SYSTEMS: HBIM MEETS A GEODB. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-2/W11. 301-308. 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-301-2019.

Brumana R., Oreni D., Cuca B., Binda L., Condoleo P., Triggiani M. “Strategy for integrated surveying techniques finalized to interpretive models in a byzantine church, Mesopotam, Albania”. International Journal of Architectural Heritage (2014);8(6):886-924.

Brumana R., Oreni D., Raimondi A., Georgopoulos A., Bregianni A., (2013). From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi. 497-504. 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743789.

Bury Associates, 2019. “The Oriental Club – heritage scan to BIM project” <https://www.buryassociates.co.uk/conservation/the-oriental-club-heritage-scan-to-bim-project/>.

Cacciotti R., Blasko M., Valach J., 2015. A diagnostic ontological model for damages to historical constructions, in Journal of Cultural Heritage 16. 40–48.

CloudCompare, 2019. “CloudCompare. 3D point cloud and mesh processing software. Open Source Project”. <https://www.danielgm.net/cc/>.

Codinhoto R., Kiviniemi A., Kemmer S., Rocha C.G. “BIM Implementation: Manchester Town Hall Complex”. University of Salford Manchester (2011):1-74.

Collette B., Falck D. “FreeCAD [How-To]. Solid Modeling with the power of Python”. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2012.

de Laat R., van Berlo L. “Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension”. Kolbe T., König G., Nagel C. (eds) Advances in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Berlin, Heidelberg (2011):211-225.

Del Giudice M., Osello A. “BIM for cultural heritage”. Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci ISPRS Arch. (2013);40(5W2): 25–9.

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. "BIM Handbook, A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2008 John Wiley & Sons, Inc, 2011.

D'Andrea A., Niccolucci F., 2019. Semantic interoperability via ontology, Designers, Engineers, and Contractors". Hoboken, NJ: Wiley, 2011.

Dore C., Murphy M. "Integration of historic building information modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites", 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: "Virtual Systems in the Information Society", Milan, Italy (2012):369–376.

El-Hakim S.F., Beraldin J.-A., Gonzo L., Whiting E., Jemtrud M., Valzano V. "A Hierarchical 3D Reconstruction Approach for Complex Heritage Sites". The XX CIPA International Symposium, Sept. 26 – Oct. 1, 2005, Torino, Italy (2005):1-6.

Fai S., Graham K., Duckworth T., Wood N., Attar R. "Building Information Modeling and Heritage Documentation". The XXIII CIPA International Symposium, Prague, Czech Republic, 12th- 16th September 2011 (2011):1-8.

Fiorani, D., 2019. Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia, Quasar, Roma.

Graphisoft SE, 2019. "ArchiCAD". <https://www.graphisoft.com/archicad/>.

Greenhatch Group, 2019a. "3D revit model former post office, Dundee". <https://www.greenhatch-group.co.uk/resources/3d-revit-model-former-post-office-dundee>.

Greenhatch Group, 2019b. "Case study. Walthamstowe School Externale, Greenhatch". <https://www.greenhatch-group.co.uk/resources/walthamstowe-school-case-study>.

Guimaraes A.V., Brasileiro P.C., Giovanni G.C., Costa L.R.O., Araujo L.S., 2016. "Failure analysis of a half-shaft of a formula SAE racing car". Case Studies in Engineering Failure Analysis (2016); 7:17-23.

Irvine W. H., McLennan F. "Surveying for Construction". London, UK: McGraw-Hill, 2006

Kelly A. "HBIM of Karolinum (Prague)". DIT Module Project, Dublin Institute of Technology, (2011).

Kolbe T., Gröger G., Plümer L. "CityGML – Interoperable Access to 3D City Models". International Symposium on Geo-information for Disaster Management, Delft, The Netherlands, 21 - 23 March 2005. (2005):1-16.

Le Boeuf P., Doerr M., Ore C. E., Stead S (current Main Editors:), 2019. CIDOC-Conceptual Reference Model, Definition, version 6.2.5, March 2019.

Letellier R., Schmid W., LeBlanc F. "Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places". Guiding Principles. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, 2007.

Liaserin J., 2002. "Comparing Pommés and Naranjas". <http://www.liaserin.com/features/issue15/feature01.php>.

Logothetis S., Karachaliou, Stylianidis E. "From OSS CAD to BIM for cultural heritage digital representation". Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. (2017); XLII-2/W3:439-445.

Logothetis S., Stylianidis E. "BIM open source software (OSS) for the documentation of cultural heritage". Virtual Archaeology Review (2016);7(15):28-35.

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

Logothetis S., Delinasiou A., Stylianidis E. "Building information modelling for cultural heritage: a review". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (2015); II(5/W3):177-183.

Macher H., Landes T., Grussenmeyer P. (2017). "From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings". *Applied Sciences* (2017); 7:1-30.

Messaoudi T., Véron P., Halin G., De Luca L., 2018. An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state, in *Journal of Cultural Heritage* 29 (2018) 100–112.

Maxwell I. "Integrating digital technologies in support of historic Building Information Modelling: Bim4conservation (HBIM)". London: Council on Training in Architectural Conservation (COTAC) (2014):1-50.

MeshLab, 2019. "MeshLab". <http://www.meshlab.net/>.

Murphy M., McGovern E., Pavia S. "Historic Building Information Modelling—Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture". *ISPRS J Photogramm Remote Sens.* (2013); 76:89-102.

Murphy M., McGovern E., Pavia S. "Historic Building Information Modeling - Adding Intelligence to Laser and Image Based Surveys". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (2011).

Murphy M., Keenaghan G., McGovern E., Pavia S. "A Flexible Web Based Learning Tool For Construction and Surveying Students using Building Information Modeling and Laser Scanning". *International Conference of Education Research and Innovation (IATED)* (2009):1-9.

Murray J.D., VanRyper W. "Encyclopedia of Graphics File Formats. Second edition". Sebastopol, CA: O'Reilly & Associates, 1996.

Obrst L., 2003. Ontologies for semantically interoperable systems. *International Conference on Information and Knowledge Management, Proceedings.* 366-369.

Oreni D., Brumana R., Della Torre S., Banfi F., Barazzetti L., Previtali M. "Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)". *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci.* (2014a); 2(5): 267–73.

Oreni D, Brumana R., Banfi F., Bertola L., Barazzetti L., Cuca B., Previtali M., Roncoroni F. "Beyond crude 3D models: from point clouds to historical building information modeling via NURBS". *EuroMed 2014: Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection* (2014b): 166–75.

Oreni D., Brumana, R., Georgopoulos A., Cuca, B. (2013). HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* II-5/W1. 10.5194/isprsannals-II-5-W1-215-2013.

Oreni D., Brumana R., Cuca B. "Towards a Methodology for 3D Content Models. The Reconstruction of Ancient Vaults for Maintenance and Structural Behaviour in the logic of

OR. 2.1 Dal rilievo alla modellazione: contenuti geometrici e altri contenuti informativi.

BIM management". Virtual Systems in the Information Society. NJ, USA, Milan, Italy, 2-5 September (2012): 475-482.

Pirotti, F., Zanchetta, C., Previtali, M., and Della Torre, S., 2019. Detection of building roofs and facades from aerial laser scanning data using deep learning, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W11, 975-980, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-975-2019>, 2019.

Pocobelli D.P., Boehm J., Bryan P., Still J., Grau-Bové J. "BIM for heritage science: a review". *Heritage Science* (2018); 6:1-15.

Remondino F., El-Hakim S., Girardi S., Rizzi A., Benedetti S., Gonzo L. "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (2009);38(5):1-9.

Rothenberg J. The nature of modeling. Chapter for "AI, Simulation & Modeling" Lawrence E. Widman, Kenneth A. Loparo, and Norman R. Nielsen, editors John Wiley & Sons, Inc., August 1989, 75–92. Reprinted as N-3027-DARPA, The RAND Corporation.

Sammartano, G.; Spanò, A. Point clouds by SLAM-based mobile mapping systems: accuracy and geometric content validation in multisensorsurvey and stand-alone acquisition. *Appl. Geomatics* 2018, 10, 317–339; doi: 10.1007/s12518-018-0221-7.

Saygi G., Agugiario G., Hamamcioğlu-Turan M., Remondino F. "Evaluation of GIS and BIM roles for the information management of historical buildings". *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci.* (2013); 2:283–288.

Schultz C., Bhatt M., Borrmann A. "Bridging qualitative spatial constraints and feature-based parametric modelling: Expressing visibility and movement constraints". *Advanced Engineering Informatics* (2015); 31:2-17.

Trimble Solutions Corporation, 2019a. "Tekla BIMsight". <https://www.tekla.com/tekla-bimsight/>.

Trimble Solutions Corporation, 2019b. "Tekla structures". <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>.

UNI 11337-6:2017, Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 6: Linea guida per la redazione del capitolato informativo. Ulm K. "Virtual 3D City Models - satisfaction through sustainability". *Geomatics World* (2010);18(6):16-8.

Utica G., Pinti L., Guzzoni L., Bonelli S. Brizzolari A. "Integrating laser scanner and BIM for conservation and reuse: "The Lyric Theatre of Milan". *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* (2017); IV(5/W1):77-82.

Utica a G., Pinti L., Masseroni S., Ponzoni H., Guzzoni L. "Analisi strutturata del progetto di restauro adottando modelli WBS e strumenti BIM: l'intervento di riqualificazione del Teatro Lirico". *BHIMM Built Heritage Information Modeling Management*", PRIN 2010-2011 (2016):1-25.

Volk R., Stengel J., Schultmann F. "Building Information Modelling (BIM) for existing buildings—literature review and future needs". *Autom Constr.* (2014); 38: 109–27.

Worrell L.L. "Building Information Modeling (BIM): The untapped potential for preservation documentation and management". All Thesis, Clemson University, (2015); 5.