

Fotogrammetria, GIS e BIM per la gestione del Piano Particolareggiato di un Centro Storico della Sardegna

Elena Carta ^(a), Serafino Scanu ^(b)

^(a) DADU- Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica – Università di Sassari

^(b) DADU- Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica – Università di Sassari

Introduzione

La conoscenza del territorio è un elemento fondamentale per operare nel settore della pianificazione urbana e della progettazione a scala territoriale. Per l'espletamento dell'attività di pianificazione è, infatti, indispensabile disporre di una conoscenza approfondita ed aggiornata del territorio, basata sull'integrazione di tutte le informazioni geografiche ed alfa-numeriche che ad esso si riferiscono. Per questa ragione, proprio nell'ambito della Pubblica Amministrazione, si è verificata la più ampia diffusione dei Sistemi Informativi a base geografica (GIS).

I GIS sono uno strumento di elevata potenzialità per la gestione razionale e controllata del territorio ma esprimono il massimo del loro potenziale nell'analisi, raccolta, gestione ed archiviazione di elementi spaziali che hanno una distribuzione prevalentemente "orizzontale".

Ma in quest'ultimi anni, il livello di dettaglio richiesto da alcuni strumenti urbanistici richiede una maggiore rappresentatività del fenomeno fisico, per consentire un'immediata comprensione del territorio e degli elementi urbani in esso inseriti.

Nel caso di un piano particolareggiato del centro storico, ad esempio, è necessario descrivere e normare non solo l'elemento edilizio nel suo complesso ma anche i singoli elementi strutturali e non strutturali che lo compongono (materiali, infissi, copertura, ecc.). Sino a qualche anno fa l'unica soluzione che consentiva di integrare i dati di piano a quelli di dettaglio degli edifici in ambiente GIS era quella, rudimentale, di collegare file CAD, immagini o altri documenti come link ipertestuali esterni che avevano l'unico vantaggio di semplificare e razionalizzare la ricerca e la visualizzazione delle informazioni collegate all'elemento geometrico selezionato. Questa organizzazione dei dati mostra però diversi limiti di utilizzo quando si debbano rappresentare ed analizzare elementi che hanno una distribuzione verticale tipica di edifici o sottostrutture (rete idrica, rete fognaria, reti tecnologiche, etc.), in cui la rappresentazione per *layer* dei GIS (anche se 3D) mostra alcuni importanti limiti.

Il *Building Information Modeling* (BIM), quale strumento anche di modellazione 3D degli edifici e delle sue componenti strutturali rappresenta invece uno strumento essenziale di gestione razionale degli edifici consentendo di creare, archiviare, analizzare e gestire il ciclo di vita di elementi a distribuzione prevalentemente "verticale" tipici delle strutture edilizie. Questo lavoro

rappresenta una sperimentazione di applicazione dell'integrazione tra fotogrammetria, sistemi informativi a base geografica e Building Information Model al supporto di una gestione della pianificazione urbana più razionale e dinamica.

Caso di studio

Il caso di studio è finalizzato ad una esperienza di rilievo urbano (acquisizione, restituzione e creazione del modello spaziale) finalizzata alla redazione di un modello informativo multi scalare e multi dimensionale a supporto della pianificazione urbanistica di dettaglio. L'obiettivo non è semplicemente quello di generare un sistema informativo geografico di gestione del piano, o un modello 3D dotato di una sua piacevolezza grafica e complessità formale, ma di studiare un processo dinamico di acquisizione, elaborazione e implementazione di informazioni spaziali e non, interrogabili e funzionali alla pianificazione.

Per raggiungere l'obiettivo sopra descritto e valutarne la fattibilità tecnico-economica si è scelto di riprodurre il piano particolareggiato del centro storico della frazione di Rebeccu ricadente nel territorio del comune di Bonorva (3400 abitanti) in provincia di Sassari.

La frazione di Rebeccu¹ grazie alle piccole dimensioni ed alla assenza di popolazione residente oltre a rappresentare un ottimo esempio, ha consentito di effettuare i rilievi in tempi brevi e senza particolari problemi logistici.

Proposta operativa

Il rilievo e la modellazione tridimensionale dell'ambiente urbano è una pratica ormai consolidata, se è relativamente semplice ottenere output tridimensionali da scansioni laser e rilievi aero-fotogrammetrici, spesso il tutto si limita ad una figurazione fine a sé stessa. L'obiettivo, come già detto, non è semplicemente quello di generare un modello 3D realistico, ma di implementare quest'ultimo con una serie di dati interrogabili, funzionali alla pianificazione e alla gestione dell'edilizia di un centro storico. In particolare il Piano Particolareggiato del centro storico analizzato ben si presta ad uno studio di questo tipo proprio per la caratteristica multi-scalare della Pianificazione attuativa. Il PP infatti norma non solo gli spazi urbani ma arriva ad un livello di dettaglio che comprende le prescrizioni di singoli elementi costruttivi (materiale degli infissi, tegole, materiali da costruzione ecc.).

1. Il Rilievo

Le tecniche fotogrammetriche sono tornate ad avere una buona diffusione nella produzione di modelli tridimensionali non solo per l'analisi di un ambiente urbano ma anche nei settori dell'archeologia, dell'architettura storica e per le analisi ambientali. Questo perché lo sviluppo delle procedure *Structure from Motion*, *Image ranging* e di tutti gli ausili operativi derivanti dalla *Computer graphics*, oltre a qualche possibilità di operare con *s/w free e opensource*, hanno avvicinato molti più utenti. Inoltre la capacità di sviluppare processi di

¹ In epoca giudiciale Rebeccu, Feudo del Regno di Arborea, aveva circa 400 abitanti e rappresentava uno dei centri più importante popolati del Meilogu essendo capoluogo della curatoria di Costa de Addes e sede residenziale del Curatore .

autocalibrazione dei sensori ha permesso di impiegare camere digitali normalmente diffuse sul mercato con costi di acquisto accessibili in particolar modo se confrontato alla passata generazione di camere metriche e semi-metriche. La possibilità di eseguire riprese aeree a quota ultra-bassa (da APR² in volo programmato) con sensori RGB ma anche NIR e IR ha integrato, in modo consistente, la quantità di immagini adoperabili per la ricostruzione ed analisi ad esempio delle coperture edili. In quest'ottica partendo dai fondamenti teorici della fotogrammetria e del rilievo architettonico, si è completato il rilievo tridimensionale del piccolo ambiente urbano e si sono svolte le operazioni di modellazione parametrica degli edifici in ambiente BIM.

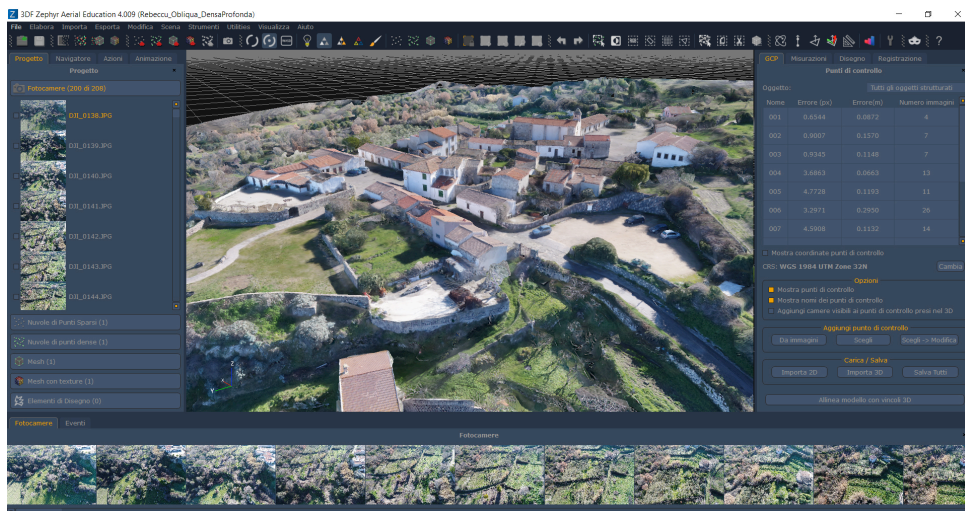


Figura 1- Mesh con texture del centro urbano in 3DF Zephyr Aero

Le operazioni di ripresa si sono svolte dopo una progettazione speditiva della distribuzione dei punti di appoggio in modo da sistemare alcune decine di target costituenti i GCP³ nel perimetro esterno del paese per essere successivamente georeferenziati con un rilievo GNSS⁴. Solo queste operazioni, spesso trascurate, permettono una corretta georeferenziazione dell'intero modello in un Sistema di riferimento esterno e codificato. Non bisogna dimenticare che anche i sistemi BIM fanno parte delle metodologie di collocazione ed analisi di oggetti "spaziali" tipici degli ambienti GIS ed indirizzare gli utenti a lavorare in un ambiente geograficamente riferito è una pratica sempre consigliabile. Il blocco di prese "aereo" è stato acquisito da un APR multirottore dotato di un sensore digitale orientato sia in modo nadirale (riprese delle falde dei tetti) che pseudo-orizzontale per acquisire a breve distanza le volumetrie del paese.

Le operazioni di misura dei GCP sono state, come di consueto, le più onerose in rapporto ai tempi impiegati (circa 3-4 volte maggiori delle riprese). La fotogrammetria, similmente alle acquisizioni di nuvole di punti con sistemi laser a scansione, richiede l'acquisizione delle informazioni nei pressi dell'oggetto (localizzazione definibile anche per una ripresa aerea) ed una

² Aeromobili a Pilotaggio Remoto secondo l'ENAC, droni nella terminologia comune non scientifica.

³ *Ground Control Point*, termine mutuato dall'aerofotogrammetria e dal telerilevamento indicando la segnalazione di punti di cui si conoscono, o misurano, coordinate in un Sistema di riferimento noto.

⁴ *Global Navigation Satellite System*- metodologie di posizionamento satellitare svolte spesso in modalità RTK per collocare i punti acquisiti con tolleranze centimetriche.

successiva elaborazione sulle immagini digitali e sui punti di orientamento posizionati in un riferimento assoluto.

Le immagini acquisite sono state quindi la base per le restituzioni fotogrammetriche⁵ tendenti alla costruzione di un modello digitale 3D georeferenziato (nuvola di punti, *mesh* e *texture*) del tessuto urbano individuato; ma anche all'acquisizione tridimensionale delle volumetrie architettoniche, e spazi accessori per la costruzione di una base di conoscenza metrica necessaria per le analisi sulle strutture edilizie. Per le fasi di formazione della nuvola di punti si è utilizzato il software *3DF Zephyr Aerial*, sviluppato in Italia dalla *3DFlow*. Successivamente, avendo come base la modellazione tridimensionale dell'abitato, si sono prodotti ortofotomosaici ortofoto georeferenziate e modelli digitali di elevazione e delle superfici (DEM e DSM) da elaborare in ambiente GIS.

2. Costruzione della base di dati Georeferenziata

Poiché si è partiti da situazione temporale in cui il Piano Particolareggiato era già stato approvato, il Sistema Informativo Territoriale è stato sviluppato, a partire dal rilievo fotogrammetrico e dagli elaborati di piano, non per la progettazione e realizzazione dello stesso ma allo scopo di consentirne una corretta attuazione ed aggiornamento dinamico. Per la costruzione e la gestione del piano è stato utilizzato il software *opensource* QGIS nella versione 2.18 collegato ad una banca dati costruita con database SQLite con estensione spaziale *SpatiaLite* visto che per gli scopi di questa sperimentazione non era necessario un accesso concorrente in scrittura sul database.

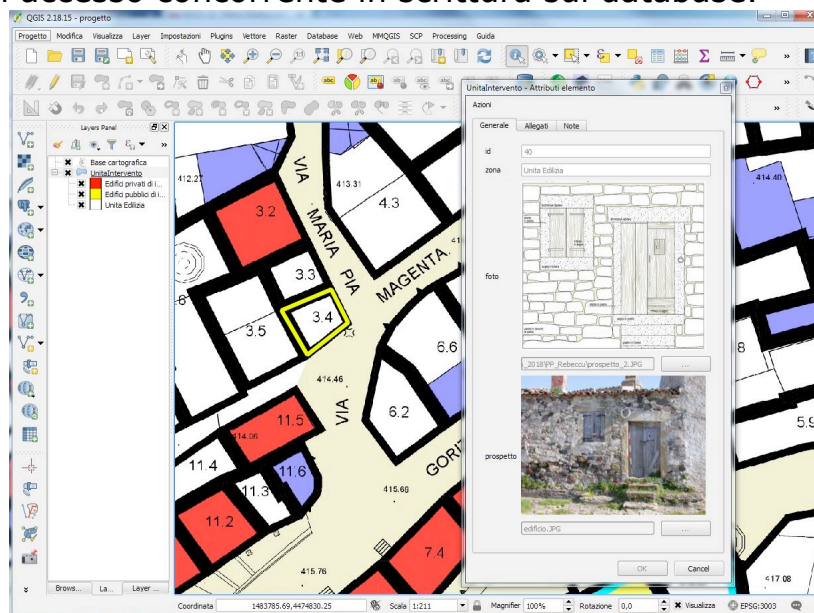


Figura 2- Elaborazione del Piano Particolareggiato in QGIS

Il sistema creato contiene tutte le informazioni relative al piano compresi allegati normativi, foto, prospetti e caratteristiche degli elementi costruttivi ma mentre consente una gestione complessa ed immediata delle informazioni a

⁵ Il termine "restituzione fotogrammetrica", anche se storico, rimane concettualmente valido perchè si ricava dall'orientamento e lettura dei fotogrammi una restituzione numerica sotto forma di nuvola di punti da elaborare successivamente.

distribuzione "orizzontale", mostra diversi limiti quando si debbano estrapolare delle informazioni di tipo "verticale" non direttamente desumibili da una forma geometrica o da un attributo normalizzato.

Ad esempio, mentre è possibile calcolare la superficie complessiva di tutti gli edifici con una determinata tipologia di copertura o di destinazione d'uso non è possibile estrapolare e/o aggiornare dinamicamente l'area delle superfici intonacate degradate degli edifici di particolare pregio storico architettonico.

3. Modellazione BIM

La nuvola di punti prodotta è il risultato finale per l'ottenimento di una nuvola di punti decimata⁶ pronta per essere importata in Autodesk ReCap per la conversione di formato (da .STL a .RCP).

Questa estensione ha permesso di importare la nuvola prima all'interno del software Autodesk Infravorks per visualizzarla nel suo contesto territoriale e poi in Autodesk Revit per utilizzarla come base di partenza per la realizzazione dei modelli H-BIM (*Historic Building Information Modeling*) di ogni singolo edificio dell'ambiente urbano.

In particolare il processo HBIM si differenzia, rispetto al BIM convenzionale, fundamentalmente nel tipo di informazioni che i modelli digitali raccolgono e come questi dati vengono acquisiti. Se da un lato il BIM è una metodologia impiegata in ambito urbano per la progettazione e gestione tecnico-economica-funzionale di edifici di nuova costruzione aiutando a coordinare le diverse figure coinvolte nel processo edilizio così da pianificarne la realizzazione e computarne le quantità per il cantiere; l'HBIM si concentra maggiormente sul rilievo, sulla definizione dello stato di conservazione degli edifici e dei materiali, per meglio pianificarne interventi consapevoli. L'HBIM è quindi nato anche come uno strumento per replicare l'esistente nel mondo digitale, agevolandone poi lo studio e l'analisi per comparazione, così da consentire processi di intervento, di natura coordinata e multidisciplinare, derivati in maniera diretta dal *project management* proprio del più generale BIM.

Perciò, focalizzandosi sulla scala 'edificio', la nuvola di punti è stata ottenuta al fine di generare modelli 3D parametrici utili per essere interrogati per la gestione del Piano Particolareggiato del Paese. La sua accuratezza ha infatti permesso di interpretare diverse informazioni in merito agli elementi principali degli edifici come l'inclinazione e la tipologia delle coperture, i muri, le scale esterne, la posizione delle porte e delle finestre.

Da un primo esame del centro storico di Rebeccu emerge l'estrema semplicità dei manufatti che lo costituiscono e lo caratterizzano. La maggior parte delle unità edilizie individuate – salvi i casi di manomissione recente – sono costituite da unità monocellulari accorpate in linea secondo la quinta elencale dei percorsi preferenziali. Questi manufatti sono ricostruiti virtualmente attraverso il software Autodesk Revit in modo da inserire tutte le informazioni che richiede il Piano Particolareggiato del Comune, quali:

- la destinazione funzionale: residenze, esercizi commerciali, uffici, luoghi di culto etc.;

⁶ La decimazione dei punti risulta necessaria per ridurre la quantità di punti acquisiti densificandone la loro presenza solo dove la struttura morfologica lo richiede e dirandandoli dove la geometria appare più regolare.

- l'appartenenza a quale zonizzazione del Piano;
- i parametri quantitativi di ogni singola unità edilizia: superficie fondiaria, superficie coperta, volume, rapporto di copertura, etc.;
- a quale categorie d'intervento deve essere sottoposto l'edificio: Manutenzione ordinaria, Manutenzione straordinaria, Restauro, etc.

Tutte queste informazioni una volta inserite all'interno dell'abaco di ogni unità edilizia saranno consultabili con molta più semplicità in quanto l'edificio è interrogabile in tutte le sue parti ed anche la modifica risulterebbe molto più immediate. Infatti grazie alla tecnologia BIM, a tutti i dati grafici vengono assegnati specifici attributi tecnici, gli elementi costruttivi dell'edificio non sono delle semplici geometrie 2D e 3D ma contengono tutte le informazioni che superano la mera rappresentazione.

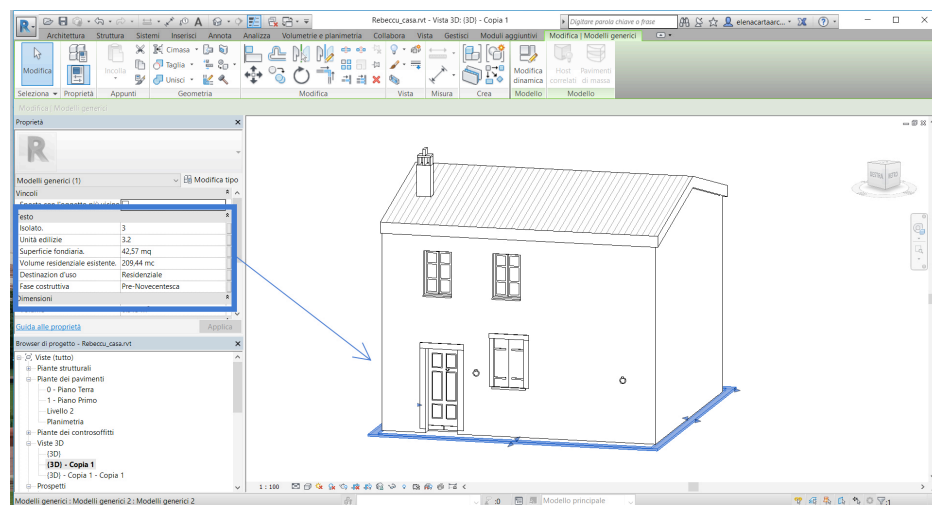


Figura 3 – Un edificio del Paese modellato in Revit con inserimento delle informazioni del PP

Inoltre in un modello BIM, ogni modifica ad un elemento della costruzione viene aggiornata in tempo reale, nel momento in cui viene apportata una modifica il modello e tutte le sue viste verranno aggiornate istantaneamente. Prospetti, piante e sezioni si aggiornano simultaneamente ed anche le informazioni riportate negli abachi vengono aggiornate. Da questo database interno è possibile quindi estrapolare tutte le informazioni necessarie alla stesura della documentazione esplicativa del Piano: tavole tecniche, elenco dei quantitativi e computo.

Conclusioni

Il rilievo e la modellazione tridimensionale dell'ambiente urbano è una pratica ormai consolidata, se è relativamente semplice ottenere output tridimensionali da scansioni laser e rilievi aero-fotogrammetrici, spesso il tutto si limita ad una figurazione fine a se stessa.

Ma in questa ricerca l'utilizzo dei dati riferiti agli edifici e al territorio e l'utilizzo della metodologia BIM ha consentito di comprendere meglio gli impatti della pianificazione di dettaglio non solo dal punto di vista urbanistico ma anche economico e finanziario, stimando con estrema accuratezza gli effetti dell'applicazione del Piano Particolareggiato del piccolo centro urbano oggetto di studio.

Considerato che, come menzionato da Deng et al. (2016), “BIM models could help generate detailed models in GIS and achieve better utility management”, il contributo si è proposto di raggiungere gli obiettivi prestabiliti attraverso un approccio BIM-GIS applicato a livello urbano.

La metodologia proposta fornisce alcuni interessanti risultati. Un modello informativo multi scalare deve essere sviluppato a partire da dati di input corretti, quindi, il primo risultato riguarda la verifica dell’affidabilità dei dati geospaziali *open source*.

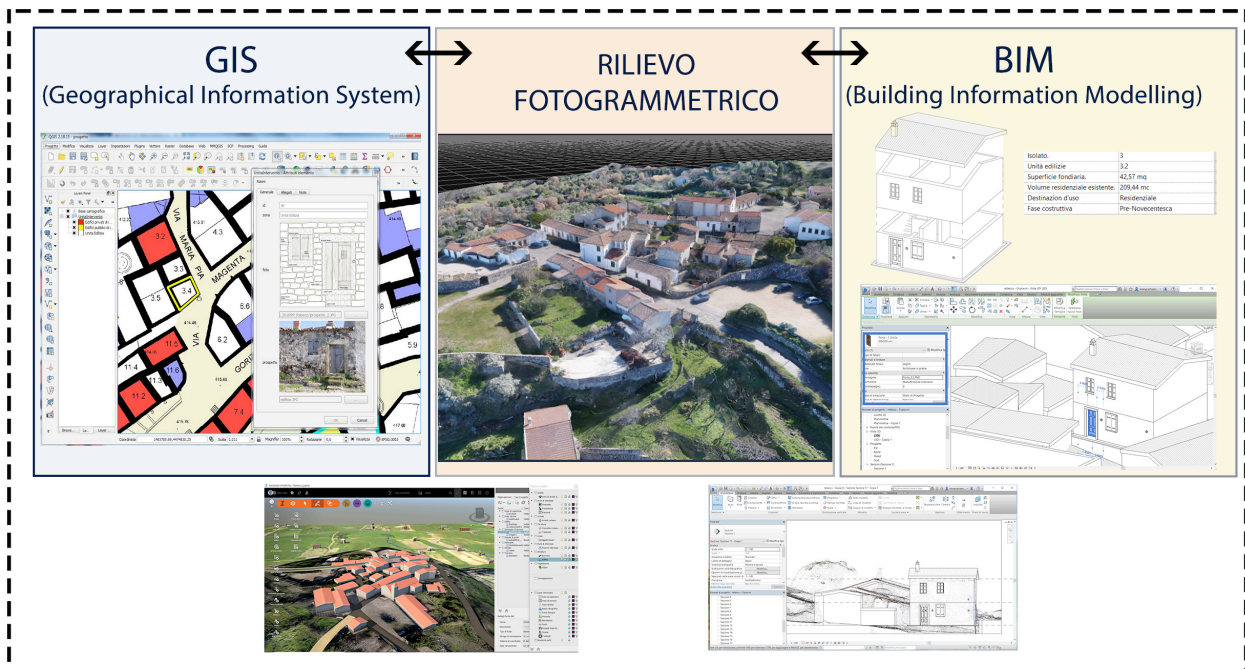


Figura 4 –Schema riassuntivo sinergia Fotogrammetria-GIS-BIM

Passando alla scala 'edificio', l’adozione del BIM a livello urbano ha messo in luce i seguenti risultati:

- l’utilizzo della nuvola di punti come dato di input ha permesso di interpretare i principali componenti esterni degli edifici;
- la ricostruzione digitale di ogni singolo edificio ha permesso di stimare i costi degli interventi previsti dal Piano e di ottenere un sistema in cui i disegni e le schede relative agli edifici vengano aggiornati senza il rischio di dispersione e perdita di dati.

La Pubblica Amministrazione otterrebbe numerosi vantaggi nell’adozione del BIM che ancora risulta una pratica facoltativa per la progettazione di nuove opere pubbliche ma l’implementazione della metodologia BIM negli appalti pubblici, così come prevista dal D.M. 560/17 e dalla norma tecnica UNI 11337, sarà obbligatoria a partire dal 1° Gennaio 2019, inizialmente per gli importi sopra una soglia di 100 milioni di Euro, che scenderà gradualmente fino al 2025 per tutte le opere pubbliche.

In futuro il BIM potrebbe diventare una componente autonoma ma interoperabile con i sistemi informativi geografici con cui potrebbe condividere la base dati informativa anche grazie a protocolli di interscambio aperti e condivisi che consentano ai due sistemi di scambiarsi informazioni indipendentemente dal software utilizzato.

Il software GIS è ideale nella gestione del ciclo di vita del piano e della distribuzione spaziale degli edifici e delle aree esterne ad essi (infrastrutture, servizi ecc) mentre il BIM consente una gestione del ciclo di vita dell'edificio. Inoltre non è da trascurare la potenzialità, offerta dalla potente sinergia FOGRAMMETRIA-GIS-BIM, di simulare un ambiente vicino alla realtà ma arricchito dalle informazioni urbanistiche ed ambientali che consentirebbe di rendere più inclusivo ed accessibile il processo partecipativo legato all'approvazione del piano.

Inoltre l'ambientazione del progetto di un edificio nel contesto reale e la sua presentazione a tutti portatori di interesse svolge un ruolo fondamentale. A partire dai progettisti, che hanno bisogno di verificare il progetto rispetto ai piani urbanistici, i vincoli e le caratteristiche dell'ambiente, e di ambientarlo nel contesto urbano dove verrà realizzato. Ma anche gli enti pubblici, tenuti all'iter amministrativo dell'opera, hanno bisogno di una migliore comprensione del suo impatto, per evitare che la proposta di modifiche o soluzioni alternative avvenga con costi non più sostenibili.

Riferimenti bibliografici

Calvano M., Sacco M., (2018), *Decostruzione Urbana- Dal GIS al BIM*, Dei Srl Tipografia del Genio Civile, Roma.

Carta E., Minchilli M, Tedeschi L.,(2018), *Dal rilievo fotogrammetrico al BIM; prospettive didattiche per la gestione e la conoscenza del costruito storico*, Dei Srl Tipografia del Genio Civile, Roma.

Carta E., Tedeschi L., Slabeciusova B.,(2017), *Modellazione 3D dall'ambiente urbano alla gestione interna degli edifici*, BETHA volume 86.1.4, Franco Angeli, Milano.

Di Giuda G. M., Villa V.,(2016), *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*, Hoepli.

Deng Y., Cheng J., (2015), *An Integrated BIM-GIS Framework for Utility Information Management and Analyses*, Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings.

Ruffino P., Del Giudice M., (2018) *Dai dati geospaziali alla modellazione informativa*, Dei Srl Tipografia del Genio Civile, Roma.

Scanu.S., Tedeschi L.F. (2009), "Interazioni e integrazioni fra pianificazione e tutela dei beni archeologici: costruzione di una base di conoscenza con l'uso di GIS open-source", IV Workshop italiano "Free software, O.S. e O. F. nei processi di ricerca archeologica", Roma-CNR.