

Un BIM per l'identità dei paesaggi urbani storici. Applicazioni integrate di rilievo per il patrimonio architettonico della Certosa di Bologna

A BIM for the identity of historic urban landscapes. Integrated applications of survey for the Certosa di Bologna architectural heritage

La ricerca propone un avanzamento metodologico delle tecniche di modellazione 3D in relazione ad un processo integrato di rilievo. La proposta di BIM sviluppa modelli di rappresentazione e fruizione dei luoghi e dei loro significati materiali ed immateriali per la valorizzazione del patrimonio diffuso. Presso il complesso monumentale della Certosa di Bologna, originaria sede del convento certosino edificato a partire dal 1334 e soppresso nel 1796 da Napoleone, è in corso di sviluppo una applicazione BIM per i beni architettonici e artistici. Le metodologie di rilevamento integrate sono dedicate alla modellazione delle componenti architettoniche a partire da data sets provenienti da sensori attivi. Il progetto ha l'obiettivo, da un lato, di far conoscere un patrimonio storico-artistico pressoché sconosciuto, attraverso visualizzazioni multimediali, e dall'altro di impostare uno strumento informativo per il restauro, la manutenzione e la valorizzazione.

The research proposes a methodological advancement of 3D modeling techniques in relation to an integrated process of architectural survey and representation. The BIM proposal develops representation models and augmented fruition of the site and their tangible and intangible meanings for the valorization of diffuse heritage. At the monumental complex of the Certosa di Bologna, the original headquarters of the Carthusian monastery built in 1334 and suppressed in 1796 by Napoleon, the study is developing a BIM application for the architectural and artistic heritage. The integrated survey methodologies are dedicated to the modeling of architectural components from active sensors data sets. The project aims, on the one hand, to introduce an almost unknown historical and artistic heritage, through multimedia visualization, and on the other, to set up an information tool for the restoration, maintenance and valorization.



Giuseppe Amoruso
Professore Associato di Disegno presso il Politecnico di Milano, è laureato in Ingegneria Civile-Edile e Dottore di Ricerca in Disegno e Rilievo del Patrimonio Edilizio. È fondatore di Intbau Italia (intbauitalia.org), no-profit di promozione sociale che promuove lo studio del patrimonio culturale e l'architettura tradizionale. Si occupa di rilievo e rappresentazione di beni culturali.



Andrea Manti
Architetto, è Dottore di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura presso l'Università Mediterranea di Reggio Calabria. È stato Visiting PhD Student presso la Universitat Politècnica de Catalunya di Barcellona. Negli ultimi anni ha pubblicato sui temi del rilievo 3D, disegno, rappresentazione e valorizzazione di siti archeologici e beni culturali, in Italia e all'Estero.

Parole Chiave: Heritage BIM, Paesaggi Urbani Storici, Sistemi di rilievo, Modelli 3D, Certosa di Bologna

Keywords: Heritage BIM, Historic Urban Landscape, Survey systems, 3D modelling, Certosa di Bologna

INTRODUZIONE

L'avanzamento metodologico delle tecniche di modellazione 3D intese come semplice visualizzazione e successiva trascrizione grafica su piani ortogonali del costruito, pone oggi nuove strade per la conoscenza e la gestione dei paesaggi urbani storici e dei patrimoni diffusi, così come richiamato dal recente documento dell'Unesco, *Recommendations on the Historic Urban Landscapes* (Unesco, 2011); il "paesaggio urbano storico" è definito come una porzione di tessuto urbano risultante di una stratificazione storica dei valori e degli attributi culturali e naturali, estendendo il concetto di "centro storico" per includere il contesto urbano nel suo significato più ampio, di posizione geografica e caratteristica ambientale.

I paesaggi urbani storici sono riconosciuti come patrimonio culturale condiviso, espressione materiale della cultura locale, ma anche sistemi che, attraverso la loro immagine e identità, hanno bisogno di strategie specifiche di documentazione e fruizione. Nel documento dell'Unesco si legge che: "La conoscenza e gli strumenti di pianificazione dovrebbero aiutare a proteggere l'integrità e l'autenticità degli attributi del patrimonio urbano.... Questi strumenti dovrebbero includere la documentazione e la mappatura delle caratteristiche culturali e naturali dei paesaggi". Inoltre le raccomandazioni auspicano l'utilizzo integrato sia di strumenti tradizionali che innovativi, da adattare sempre al contesto locale e alle esigenze di analisi. Questi strumenti hanno il compito di facilitare il dialogo interculturale a partire dall'intelligenza locale e devono rappresentare le storie, le tradizioni, i valori, i bisogni e le aspirazioni delle comunità. In tal senso l'Unesco si riferisce esplicitamente a strumenti di conoscenza e di pianificazione che devo proteggere l'integrità e l'autenticità delle caratteristiche dei paesaggi culturali.

Nel saggio si propone una ricerca applicata sulla conoscenza e la valorizzazione del patrimonio diffuso basata su metodologie integrate di rilievo, rappresentazione e fruizione dei luoghi e dei loro significati materiali ed immateriali. L'indagine sta sviluppando un'applicazione BIM per il complesso monumentale della Certosa di Bologna, sito originario del monastero dei certosini poi dismesso a seguito delle campagne napoleoniche: le metodologie di analisi delle componenti architettoniche e la classificazione degli elementi tipologici (luo-

ghi di culto, claustris, spazi comuni, campi riservati alla sepoltura), hanno l'obiettivo da un lato di far conoscere un patrimonio storico-artistico pressoché sconosciuto e dall'altro impostare uno strumento informativo come ausilio per il progetto di restauro, manutenzione e valorizzazione.

Nel processo di trasposizione visuale, basato sull'uso di strumenti digitali, il disegno si allontana dalla sua vocazione tradizionale legata all'espressione grafica intesa come coscienza diretta del segno poiché il contenuto illustrativo va oltre la materia grafica inglobando anche algoritmi e librerie grafiche di oggetti, definiti attraverso categorie e dati parametrici. Nel disegno digitale il modello diventa multiscalare cioè contiene tutte le visualizzazioni possibili e può essere rappresentato in un'unica vista. L'introduzione dei modelli digitali semantici lega ancora di più il disegno alla rappresentazione delle tipologie costruttive, verificandola dapprima in ambiente virtuale e consentendo all'operatore di effettuare le necessarie valutazioni tecniche; in tal modo il disegno digitale coniuga la sintesi sperimentale dal processo di immaginazione fino alla formazione delle immagini.

Il modello sin dal Rinascimento è il nodo di ogni processo progettuale finalizzato alla costruzione; le tecnologie per realizzarlo e gli accorgimenti per migliorarne la resa percettiva non solo supportano la sua fruizione ma lo rendono più facilmente organizzabile e restituibile in forma di prototipo simulandone i caratteri in maniera effettiva.

Filippo Brunelleschi ne fece realizzare di muratura (modello agli elementi finiti) per effettuare il controllo statico anticipando di fatto le sperimentazioni strutturali del XVIII secolo, così come li adoperò privandoli degli elementi di dettaglio per esaltare la definizione formale dell'opera e realizzando quindi un primordiale bozzetto 3D (prototipazione rapida). Inoltre il modello realizzato per lo straordinario cantiere di Santa Maria del Fiore costituì un elemento di normazione e unificazione delle attività di cantiere coniugando le necessità di architetto, committente e costruttori (modello informativo).

Antonio da Sangallo il Giovane dedicò ben 7 anni alla costruzione di un costoso ma assai rifinito modello che misurava circa 50 mq con una altezza di 5 metri; gli interni furono trattati per aumentarne la resa (rendering fotorealistico), prevedendo aggiustamenti per mi-

gliorare la percezione e la fruizione (navigazione walk through), creando rivestimenti di carta colorata simili alle moderne textures digitali (texture mapping) ed infine corredando gli spazi con figure tridimensionali realizzate in cera (cutouts).

Michelangelo ordinò la costruzione di numerosi modelli di legno e argilla per la cupola della Basilica di San Pietro di fatto materializzando le sue idee e lasciandole come testamento per proseguire e completare la costruzione dopo la sua morte (modello BIM e gestione del ciclo di vita del progetto); i modelli di Michelangelo erano complessivi ma anche riferiti a particolari costruttivi, costruiti in scala per rappresentazione simbolica ovvero realizzati al vero, costituendo un ambiente "immersivo" in analogia ai procedimenti di navigazione delle moderne tecniche di realtà virtuale (modelli multiscalari e navigazione virtuale).

La necessità di anticipare le operazioni di taglio della pietra e di prevedere procedure geometriche codificate per progettare elementi strutturali in pietra da taglio portò alla nascita della stereotomia ad opera di Philibert de l'Orme che propose un sistema stereotomico basato sui "traits", cioè su serie di sezioni parallele lasciandoci il magistrale esempio della *trompe* nel castello di Anet.

Tale tecnica comprendeva la necessità di determinare in via preventiva la conformazione dei singoli elementi costitutivi e la possibilità di verificare in tal modo la stabilità in relazioni a sezioni tipo del manufatto così come oggi si applica ai moduli strutturali e architettonici che compongono gli organismi edilizi.

La ricostruzione virtuale di modelli stereotomici costituisce oggi un fronte di ricerca molto avanzato e progressivo potendo integrare le diverse tecnologie digitali di rappresentazione, calcolo visuale e prototipazione. I sistemi di modellazione parametrica consentono poi di modificare il modello digitale con metodi analoghi alla costruzione reale diventando essi stessi metodi di prefabbricazione. Pertanto la rappresentazione del modello coincide con il modello stesso ed è limitata o definita solo dalle interfacce di lavoro e visualizzazione e spesso tende a confondersi con l'oggetto costruito. Il metodo di stereotomia introdotto da Philibert de l'Orme, in particolare il metodo del trait, ritorna di ausilio alle ricerche sulla generazione di modelli e si integra con l'uso dei sistemi di progettazione parametrica che appunto non si limitano a conoscere a descrivere ge-

ometricamente (con primitive grafiche) ma costruiscono anche le relazioni e le coerenze geometriche e funzionali. Un *trait geometrique* al contrario non solo racchiude in se il modello complessivo e completo dell'oggetto ma consente efficacemente di descriverlo per sezioni e persino di costruirne direttamente il modello fisico, per quanto complessa possa essere la sua realizzazione o la sua rappresentazione.

METODOLOGIA DI RILIEVO INFORMATIVO INTEGRATO PER L'HERITAGE BIM

Il processo di analisi e mappatura del patrimonio diffuso costituisce un'azione conoscitiva orientata alla sua fruizione (ed eventuale modifica), e comprende anche la dimensione emotiva e percettiva di coinvolgimento dei sensi volta alla rappresentazione dello spazio tramite il pensiero visuale e la produzione di materiali grafici.

Tale concetto è associato al crescente utilizzo di immagini digitali nella modellazione 3D del rilievo architettonico che ha favorito la produzione di prodotti percettivi utilizzati per validare il processo e poi proseguire con la rappresentazione tecnica.

Il processo di mappatura consiste nella formazione sequenziale di "immagini", che nascono prima come concetti mentali che poi sono elaborati come trascrizioni grafiche in relazione ad un codice più o meno sofisticato. Le immagini "costruiscono" una forma, le conferiscono un livello di iconicità, si riproducono tramite la loro struttura geometrica, tipologica, artistica ed evidenziano le relazioni strutturali e funzionali fra le componenti; assolvono allo scopo principale che, secondo le neuro scienze cognitive, è quello di identificare e classificare gli oggetti.

Come ci ricorda Marco Gaiani, stiamo vivendo una nuova era nel campo del data computing perché oggi "lo sviluppo delle tecnologie digitali come il rendering in tempo reale (RTR) di modelli 3D ed il Web 3.0 (ad esempio il web semantico, geospaziale e 3D) hanno aperto nuovi scenari di lettura e interpretazione dell'architettura storica, l'introduzione di nuove metodologie di diffusione e informazione non solo relative alle ricerche testuali, ma basate anche sulle metodologie di navigazione geo-spaziali e spazio-temporali" (Gaiani, 2015).

Le ricerche più avanzate nel settore fanno riferimento a strumenti e processi che stanno cambiando la com-

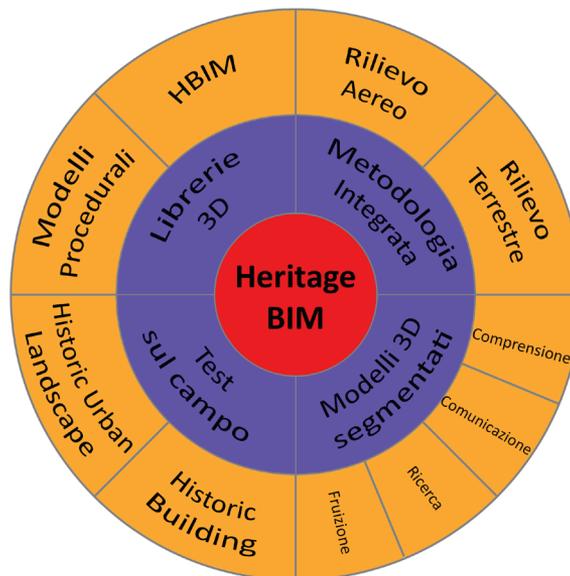


Figura 1 Schema generale del programma di ricerca e applicazione ai sistemi urbani e monumentali del Comune di Bologna.

preensione del patrimonio architettonico, come ben documentato nel Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation di Stefano Brusaporci (Brusaporci, 2015). Le applicazioni recenti legate alla rappresentazione stanno generando rapidamente nuovi campi di studio come il visual computing, la documentazione digitale del patrimonio culturale e la fruizione diffusa dei beni culturali attraverso strumenti interattivi (Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools, Amoroso, 2016). L'applicazione di rilievo informativo permette nuove modalità di fruizione dei dati seguendo alternative logiche: (i) la definizione di un sistema continuo attraverso un algoritmo di interpolazione che simula una osservazione immersiva; (ii) la descrizione dell'insieme utilizzando scene fisse simili ad inquadrature; (iii) la rappresentazione tematica in coerenza con la descrizione globale degli oggetti che si distacca dal concetto di realtà identica.

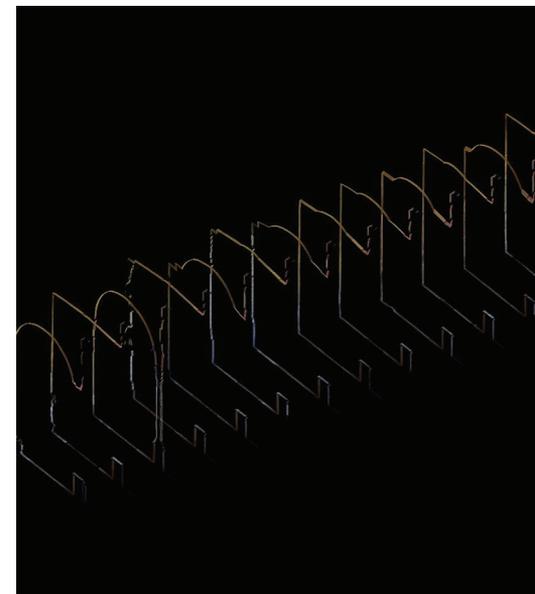
Inoltre la rappresentazione digitale ha permesso di estendere il concetto di disegno, contenendo dentro di se tutte le costruzioni tridimensionali (i modelli 3D) ma anche le potenzialità derivanti dall'ipertestualità e dall'interattività. Per questo scopo sono stati utilizzati softwares di modellazione image o range based integrati con gli strumenti di segmentazione e modellazione semantica, BIM, orientati alla definizione di un database di oggetti 3D, georeferenziati e logicamente relazionati per la gestione cost-effective del processo conoscitivo.

Il progetto integra diverse tecniche di rilevamento indirizzate ad un approccio innovativo, avanzato tecnologicamente e conveniente, per la modellazione 3D, rappresentazione semantica, gestione, conservazione e salvaguardia dei sistemi monumentali e urbani. I dati provenienti da diversi sensori e piattaforme e a differenti risoluzioni geometriche radiometriche e temporali, sono stati opportunamente integrati per consentire la generazione di librerie parametriche di



Figura 2 Struttura semantica del sistema distributivo a claustro porticato della Certosa di Bologna.

Figura 3 Estrazione semiautomatica delle sezioni verticali del percorso porticato del Claustro II della Certosa di Bologna.



rappresentazione 3D dei principali elementi architettonici e sviluppare un sistema conoscitivo tipo Heritage Building Information Modelling (Dore & Murphy, 2012). L'obiettivo è di creare modelli 3D multiscalarati che saranno successivamente dettagliati, segmentati e arricchiti semanticamente affinché possano restituire il complesso dei valori paesaggio urbano storico. Sono anche utilizzati per l'interpretazione, l'analisi e la visualizzazione potendo generare applicazioni creative per la diffusione dei contenuti culturali e la comprensione delle trasformazioni che il sito ha subito.

Il loro trasferimento su piattaforme user-friendly o image-based amplia la portata di tale processo sostenendo la diffusione della conoscenza del patrimonio. L'Heritage BIM è una soluzione specifica in cui gli oggetti parametrici interattivi, che rappresentano elementi architettonici, sono costruiti da informazioni

storiche e da dati 3D rilevati sul campo; pertanto se sviluppato opportunamente da la possibilità di creare librerie 3D che descrivono il lessico architettonico e le rispettive forme geometriche.

Questi modelli segmentati differiscono dai semplici prodotti di visualizzazione 3D poiché si rappresentano con differenti livelli di accuratezza e dettaglio.

Il progetto di ricerca è in corso di validazione attraverso la raccolta di *datasets* presso la Certosa di Bologna indirizzando le elaborazioni alla integrazione dei dati 3D provenienti da scansioni laser alla successiva interpretazione e segmentazione e condivisione anche con sistemi di visualizzazione speditivi.

La metodologia di rilevamento e modellazione si è basata su acquisizioni a livello della strada per la digitalizzazione 3D degli spazi e dei manufatti storici. Il rilievo potrà anche essere integrato da dati provenienti da RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) integrando i vantaggi e la flessibilità dell'acquisizione aerea con l'uso di diversi sensori (imaging, LiDAR, termico, ecc). L'elaborazione delle nuvole di punti 3D dense provenienti da sensori attivi e da algoritmi di structure from motion si rappresenta tramite modelli discreti e continui come le superfici poligonali.

L'avanzamento metodologico consiste nel conciliare le diverse modalità di acquisizione disponibili utilizzando i sensori (attivi, passivi) più adatti in relazione alla scala dei manufatti e alla grandezza degli dettagli degli elementi costruttivi. La scelta è influenzata anche dal tipo di prodotti che si vogliono ottenere tramite il rilievo e se si vuole privilegiare la qualità geometrica piuttosto che quella visuale e formale.

Per costituire l'adeguato ambiente informativo occorre definire le librerie 3D architettoniche per i principali elementi architettonici; queste librerie se riguardano patrimoni diffusi non possono essere più generate puntualmente ma create con sistemi di Generative Modelling Language (GML) ed in combinazione con il rilievo 3D.

La sfida è quella di individuare un insieme limitato di elementi costruttivi parametrici che possano garantire sia la genericità che la versatilità. Per quanto riguarda le soluzioni BIM si possono introdurre forme procedurali per produrre modelli 3D BIM-like di edifici storici (HBIM).

Il risultato sarà un insieme di modelli da integrare nelle principali soluzioni software BIM commerciali: questi

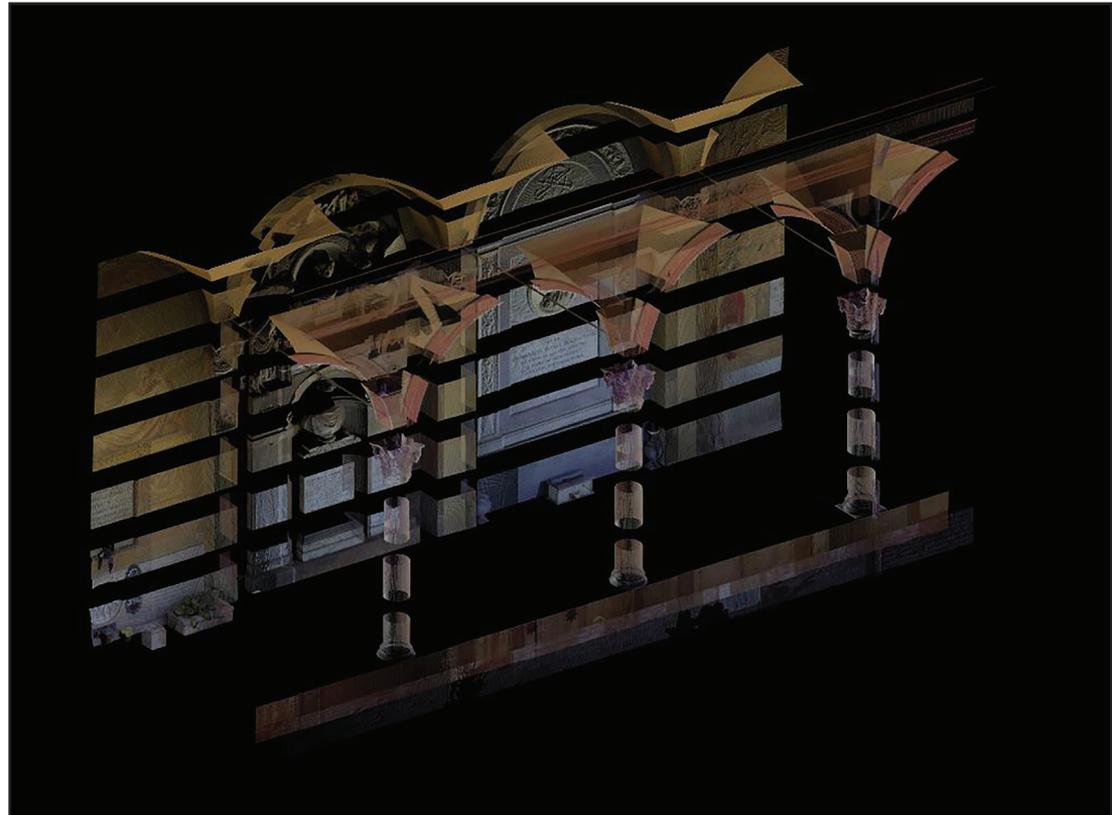


Figura 4 Estrazione delle sezioni orizzontali del percorso porticato del claustro III della Certosa di Bologna.

modelli, segmentati e dettagliati semanticamente riguardano le componenti architettoniche e saranno utilizzati per la visualizzazione, la generazione di contenuti creativi ed il restauro. Inoltre uno specifico obiettivo, sollecitato anche dalle istituzioni che si occupano del patrimonio comunale, è di coinvolgere sia gli utenti tecnici che quelli non tecnici (ad esempio architetti, restauratori, conservatori, archeologi, amministratori pubblici, etc.) potendo condividere i prodotti 3D e multimediali anche realizzando prototipi tattili.

La metodologia operativa consente in tempi brevi di effettuare montaggi visuali panoramici delle immagini

raccolte dai sensori (ad esempio, 85 immagini per ciascuna scansione con scanner Faro Focus 3D) producendo una serie di tour virtuali da rendere poi disponibili anche su dispositivi web o mobili.

Un altro ambito applicativo in fase di sviluppo riguarda le applicazioni di realtà aumentata e la visualizzazione immersiva con devices di basso costo.

Il trasferimento della conoscenza a diversi livelli è l'obiettivo più importante sia in ambito tecnico che sul piano dell'informazione culturale. Durante la convalida e la dimostrazione dei prodotti multimediali, gli utenti impareranno a creare e sfruttare i modelli 3D



Figura 5 Modello mesh del claustro porticato (a sinistra) e modello tipologico segmentato (a destra).

per la gestione, la manutenzione, la conservazione, la comprensione e la comunicazione del patrimonio storico. Un ulteriore obiettivo sarà la promozione di workshops per la raccolta massiva di dati, la proposizione di tutorials e linee guida, e la promozione di nuove imprenditorialità legate alla fruizione del patrimonio. L'identità dei luoghi ed il loro valore è il risultato di una successiva e non sempre positiva stratificazione di segni e tracce che, coerentemente con i sistemi tecnologici delle diverse epoche di intervento, richiedono l'utilizzo di analisi scientifiche integrate e di nuovi dispositivi di rappresentazione, archiviazione e fruizione dei dati provenienti dal rilievo.

Le ricerche nell'ambito della rappresentazione devono individuare le opportune metodologie per poter trasferire i valori materiali ma anche immateriali ed i loro significati non più operando mono-funzionalmente sulla redazione di elaborati tecnici ma bensì operando come catalizzatori di conoscenza in tutte le forme che gli strumenti multimediali oggi consentono.

<http://disegnarecon.univaq.it>

NOTE

[1] Il progetto di ricerca tuttora in corso si è anche integrato con il progetto di Alternanza Scuola Lavoro "Summer School" avviato presso l'Istituto Tecnico-Commerciale e per Geometri "Crescenzi-Pacinotti" di Bologna (A.S. 2015-2016), responsabile Ing. Patrizia Zannoni.

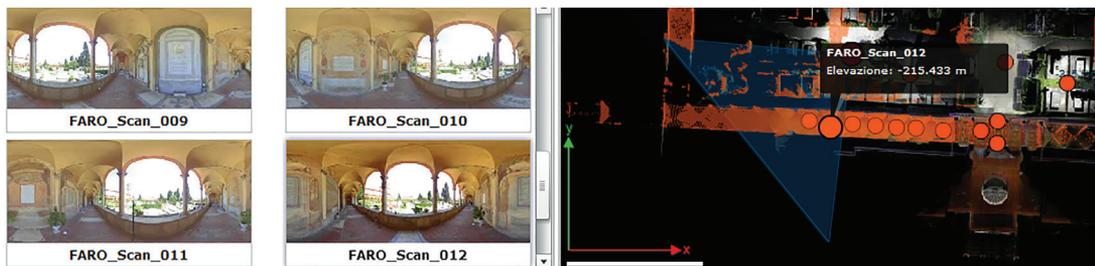
Coordinamento Scientifico e proposta metodologica di ricerca: Giuseppe Amoruso.

Rilievi strumentali con laser scanner: Piero Lusuardi, Andrea Manti
Elaborazioni grafiche e sviluppo sistemi multimediali: Andrea Manti, Giuseppe Amoruso

[2] Si ringraziano i Servizi Cimiteriali del Comune di Bologna - Geom. Ruggero Zanetti; l'Arch. Nadia Guardini di M.E.S.A. Srl per il supporto tecnico ed i tests strumentali eseguiti con il laser scanner Faro Focus 3D X330.

Figura 6 Vista volumetrica della nuvola complessiva 3D del Claustro III della Certosa di Bologna.





BIBLIOGRAFIA

Amoruso, Giuseppe (2013), *Stereografie, eidografie. La geometria per fabbricare*, in: Andrea Casale (a cura di), *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*. Vol. 1, p. 7-16, Edizioni Kappa, Roma.

Amoruso, Giuseppe (2016), *Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools* (p. 1-924, 2 volumi), IGI Global, Hershey.

Apollonio, Fabrizio Ivan, Gaiani, Marco, Zheng, Sun (2012), *BIM-based Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings*, In *SCIRES-IT Scientific REsearch and Information Technology*, Vol. 2(2), p. 41-62.

Brusaporci, Stefano (2015), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, IGI Global, Hershey.

Dore, Connor, Murphy, Maurice (2012), *Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling*, In *Digital Documentation*, 22-23 October, 2012 Edinburgh, Scotland.

Gaiani, Marco (2006), *La rappresentazione riconfigurata. Un viaggio lungo il processo di produzione del progetto*, POLI.Design, Milano.

Gaiani, Marco (2015), *I portici di Bologna. Architettura, modelli 3D e ricerche tecnologiche*, Bononia University Press, Bologna.

Fatta, Francesca, Manti, Andrea, Scali Chiara (2014), *La documentazione digitale per la ricostruzione della memoria di Reggio Calabria, L'esperienza del progetto europeo "Messaggeri della Conoscenza"*, In: *Convegno UID "Italian Survey& International Experience"*, Parma, 18-20 settembre 2014, Gangemi Editrice, Roma.

Manti, Andrea (2015), *La digitalizzazione del patrimonio archeologico. Il Tempio Ionico di Contrada Marasà a Locri Epizefiri*, In: a cura di Massimo Giovannini, Marinella Arena e Paola Raffa, *Spazi e culture del Mediterraneo 4 - Ricerca PRIN 2009-2011*, p. 512-519, La Scuola di Pitagora Editrice, Napoli.

Saygi, Gamze, Remondino, Fabio (2013), *Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-art and Future Perspectives*, In *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(4), p. 695-713.

Figura 7 Piattaforma informativa di condivisione dei dati provenienti dal rilievo architettonico con sensori attivi e navigazione interattiva fotografica.

Figura 8 Integrazione dei datasets da sensore attivo (range-based) con nuvole dense e textures provenienti da algoritmi (image-based) di Structure-from-Motion.