

## Il rilievo laser scanner a supporto degli studi storico-architettonici: la Cattedrale di Sant'Andrea a Vercelli

Giosuè Bronzino <sup>(a)</sup>, Antonio Cittadino <sup>(b)</sup>, Michele De Chiaro <sup>(c)</sup>, Margherita Forgia <sup>(b)</sup>, Gabriele Garnero <sup>(b)</sup>, Paola Guerreschi <sup>(b)</sup>, Maurizio Inzerillo <sup>(b)</sup>,

<sup>(a)</sup> Politecnico di Torino, Scuola di Specializzazione in Beni Culturali e del Paesaggio, viale Mattioli 39, Torino, [giosue90@gmail.com](mailto:giosue90@gmail.com)

<sup>(b)</sup> Università degli Studi di Torino, DIST, viale Mattioli 39, Torino, [antonio.cittadino@unito.it](mailto:antonio.cittadino@unito.it), [margherita.forgia@unito.it](mailto:margherita.forgia@unito.it), [gabriele.garnero@unito.it](mailto:gabriele.garnero@unito.it), [paola.guerreschi@unito.it](mailto:paola.guerreschi@unito.it), [maurizio.inzerillo@unito.it](mailto:maurizio.inzerillo@unito.it)

<sup>(c)</sup> Politecnico di Torino, DIST, viale Mattioli 39, Torino, [michele.dechiaro@polito.it](mailto:michele.dechiaro@polito.it)

### Riassunto

Le operazioni di rilievo, oltre che preliminari a qualsiasi attività di intervento edilizio, sono anche propedeutiche a tutte le attività di analisi storica degli edifici. Per formulare considerazioni che portino alla comprensione del bene da analizzare è necessaria una conoscenza metrica che consenta di evidenziare, oltre alle dimensioni complessive dell'oggetto, le eventuali modularità e le differenze rispetto ad uno schema preordinato, facendo risaltare le deformazioni o trasformazioni subite nel tempo.

I recenti progressi nel settore della geomatica consentono di realizzare rilievi estremamente precisi, in tempi contenuti e con costi sostenibili, garantendo uniformità di precisione e completezza di documentazione.

Il rilievo proposto dal LARTU (Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali ed Urbane) nell'ambito delle attività del Politecnico di Torino, DIST (Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio) relativamente alla Chiesa di Sant'Andrea di Vercelli in occasione dell'ottocentesimo anniversario della fondazione, si pone come caso studio di integrazione tra differenti metodologie di rilievo, partendo dall'acquisizione di una nuvola di punti integrata da immagini fotografiche ad alta risoluzione, con elevate caratteristiche qualitative sia dal punto di vista metrico che tematico.

### Abstract

The survey operations are preliminary to any activity concerning projects on historical building; they are also preparatory to all the historical analysis on monuments.

Metric knowledge is necessary to formulate considerations for the comprehension of the object to analyse. Therefore, it is possible to highlight, in addition to the overall dimensions of the object, any modularity and the differences compared to a pre-ordered scheme, bringing out the deformations or transformations endured over time.

Latest improvements in geomatics field allow creating extremely precise metric surveys, in a short time and with affordable costs, ensuring uniformity of precision and completeness of documentation.

Within the framework of the activities of the Politecnico di Torino, DIST (Interuniversity Department of Regional and Urban Studies and Planning), concerning the church of Sant'Andrea in Vercelli on the occasion of the eight hundredth anniversary of its foundation, the metric survey proposed by LARTU (Laboratory of Territorial and Urban Research) stands as a case study of integration between different metric survey methodologies, starting from the acquisition of a measures cloud integrated with high-resolution photos, with high quality characteristics both on the metric and thematic.

### **Introduzione**

Nell'ambito delle celebrazioni per gli ottocento anni dalla fondazione della prima chiesa gotica italiana, l'Abbazia di Sant'Andrea a Vercelli, il LARTU (Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali ed Urbane), laboratorio interateneo di Università e Politecnico di Torino, ha effettuato un'attività di rilievo con una *total station* integrata generando, oltre ad una tradizionale nuvola di punti, un rilievo fotografico ad alta risoluzione.

È indiscutibile il valore aggiunto dato da questa moderna tipologia di rilievo: caso ne sia la scansione laser scanner eseguita dal professor A. Tallon tra il 2011 e il 2012 della Cattedrale di Notre Dame di Parigi, che ora risulta essere un patrimonio informativo di altissimo livello tecnico, scientifico e documentale, indispensabile a seguito del disastroso incendio avvenuto nell'aprile 2019. Questo tipo di rappresentazione digitale consente di "riportare in vita" l'edificio in ogni dettaglio con precisioni millimetriche, che risultano preziosissime in caso di attività di restauro, di ricostruzione o di consolidamento strutturale.

### **Metodologia di lavoro**

Il rilievo nella sua essenza non è solo una procedura, ma un vero e proprio processo che parte dallo studio approfondito del bene da rilevare.

In funzione delle informazioni che si vogliono rappresentare, richieste dal Committente, deriva la scelta di metodi e strumenti.

È da questo genere di riflessioni che il lavoro di seguito presentato ha portato alla definizione dell'intero processo, sia per quanto riguarda la fase di campagna che per quella di restituzione del dato rilevato.

Sono state adottate due metodologie differenti: da un lato quella topografia terrestre basata sul rilievo eseguito con l'utilizzo di una particolare stazione totale integrata, dall'altro quella fotogrammetrica aerea con l'utilizzo di un drone.

Come già anticipato, l'integrazione di queste due metodologie deriva dalla necessita di poter ottenere un prodotto molto preciso da cui poter restituire piante e sezioni - data la mancanza di fonti documentali moderne - e valutazioni di tipo strutturale dell'intero complesso architettonico.

Parallelamente è necessario ottenere un'elevata qualità fotografica per poter effettuare analisi di dettaglio su particolari architettonici o sullo stato dei materiali.

Per quanto riguarda il rilievo topografico si è utilizzata la stazione SX10 prodotta da Trimble: uno strumento di tipo "all-in-one" che coniuga una stazione totale con un laser scanner e tre camere fotogrammetriche.

Questo strumento, interamente gestito da tablet data la mancanza del tradizionale cannocchiale ottico, consente, sfruttando le camere interne, di misurare punti ad una distanza dichiarata di circa 600m, con caratteristiche di precisione molto elevate, e contemporaneamente di catturare circa 26000 punti al secondo colorandoli sulla base delle foto scattate.

Il rilievo integrale dell'edificio ha richiesto 3 giorni di lavoro con la predisposizione di 18 stazioni interne alla Chiesa e 30 esterne comprensive di quelle effettuate nel Chiostro.

Ogni nuvola ottenuta da singola stazione risulta allineata con quelle precedenti, riducendo al minimo il lavoro in post-produzione.

Tuttavia dato l'alto livello di dettaglio fotografico richiesto dalla Committenza, non si è utilizzata la ripresa fotografica prodotta dalle camere interne allo strumento in quanto, per la mancanza della tecnologia HDR, gli scatti fotografici ottenuti sarebbero caratterizzati da differenti livelli di esposizione con conseguenti "scalini" radiometrici nelle differenti prese (figura 1).

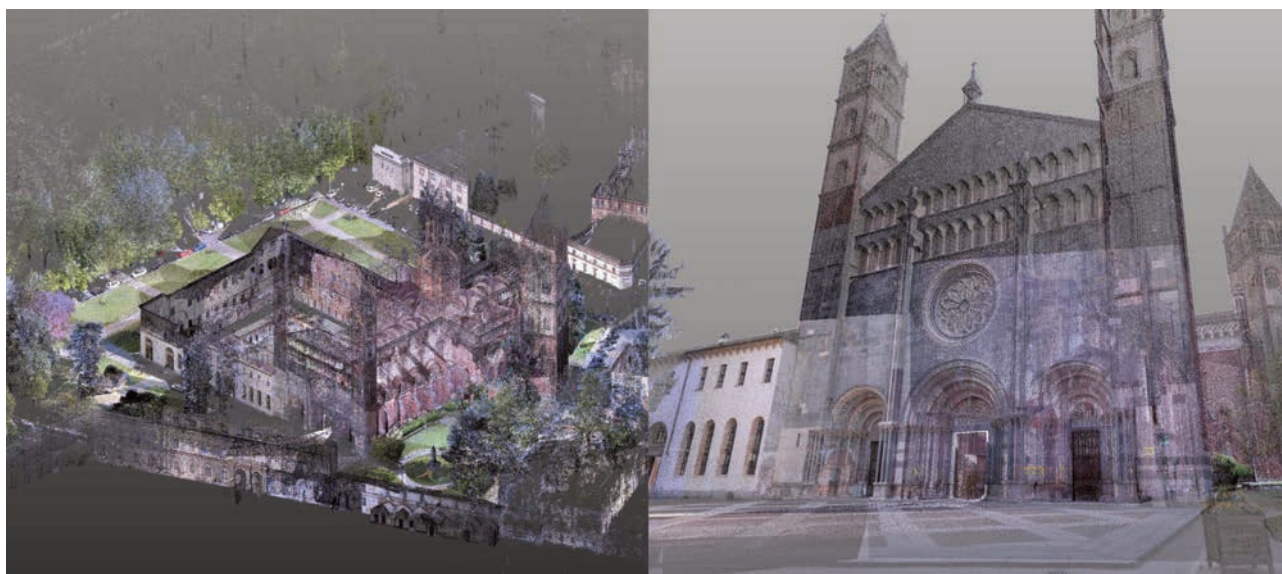


Figura 1 – Nuvola di punti da SX10: a sinistra l'intero complesso, a destra la facciata.

Dopo ogni scansione è stata quindi eseguita una ripresa fotografica tramite l'utilizzo di un supporto rotante (*Nodal Ninja*) che ospita una reflex digitale dotato di un obiettivo di tipo *fish eye* (8 mm) montato sullo stesso cavalletto collocato nel punto di stazione. Sei scatti - eseguiti ogni 60° rispetto al piano orizzontale con un'inclinazione verticale preconfigurata di 12.5° - hanno permesso di comporre una fotografia sferica con caratteristiche dal punto di vista qualitativo superiori alle camere integrate nella stazione.

Al fine di garantire la completezza del modello è stato necessario integrare sistemi che si avvalgano di un punto di vista nadirale, tipico dei fotogrammi da APR.

Grazie ad un volo fornitoci da terzi, costituito da circa 250 fotogrammi ed eseguito con *DJI Phantom 4*, è stato possibile ottenere una nuvola di punti fotogrammetrica aerea.

Ottenute le informazioni utili per elaborare il modello dell'intero complesso si è passati alla fase di restituzione del dato rilevato.

Le nuvole di punti terrestri, con l'ausilio del software *Trimble Real Works*, sono state trattate migliorandone l'allineamento e filtrando le informazioni superflue. Operazione successiva è stata la sostituzione per ogni singola stazione delle foto scattate dall'*SX10* con quelle scattate manualmente con il sistema *Nodal Ninja* all'interno dello stesso ambiente di lavoro, con prese precedentemente mosaiccate tramite l'utilizzo dell'editor fotografico *Autopano Giga*.

Questo consente non solo di avere una nuova base di tipo fotogrammetrico, ma al contempo di ricolorare l'intera nuvola su una base migliore rispetto a quella standard offerta dalla stazione (figura 2).

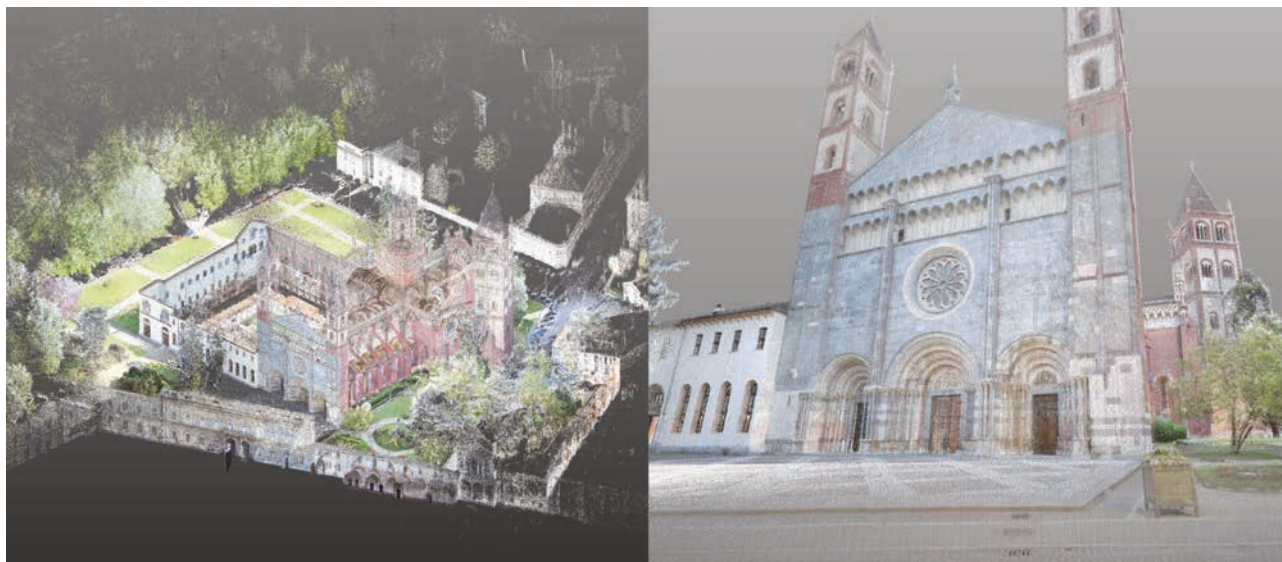


Figura 2 - Nuvola di punti ricolorata: a sinistra l'intero complesso, a destra la facciata.

Per quanto riguarda le elaborazioni sui dati prodotti dal volo con drone si è scelto di utilizzare *3DF Zephyr Aerial* tramite il quale è stata generata la nuvola densa fotogrammetrica dell'esterno dell'edificio.

Le due nuvole a disposizione hanno caratteristiche differenti: la nuvola ottenuta dall'*SX10* è in un sistema di riferimento locale e presenta una bassa rumorosità, quella invece di derivazione fotogrammetrica è georiferita nel sistema UTM/WGS84-32N e presenta una rumorosità maggiore rispetto alla precedente, in particolar modo sulle superfici verticali.

Si è reso quindi necessario eliminare dalla nuvola fotogrammetrica aerea le superfici rilevate con l'*SX10*, evitando la contaminazione della prima nuvola con punti superflui della seconda, integrando in tal modo le aree mancanti dalla nuvola terrestre, in particolare costituite dalle coperture (figura 3).

A conclusione del processo di costruzione del modello, la nuvola definitiva ha costituito il supporto per la creazione delle geometrie solide, consentendo la realizzazione del BIM (*Building Information Modeling*) grazie all'impiego del software *Autodesk Revit*.

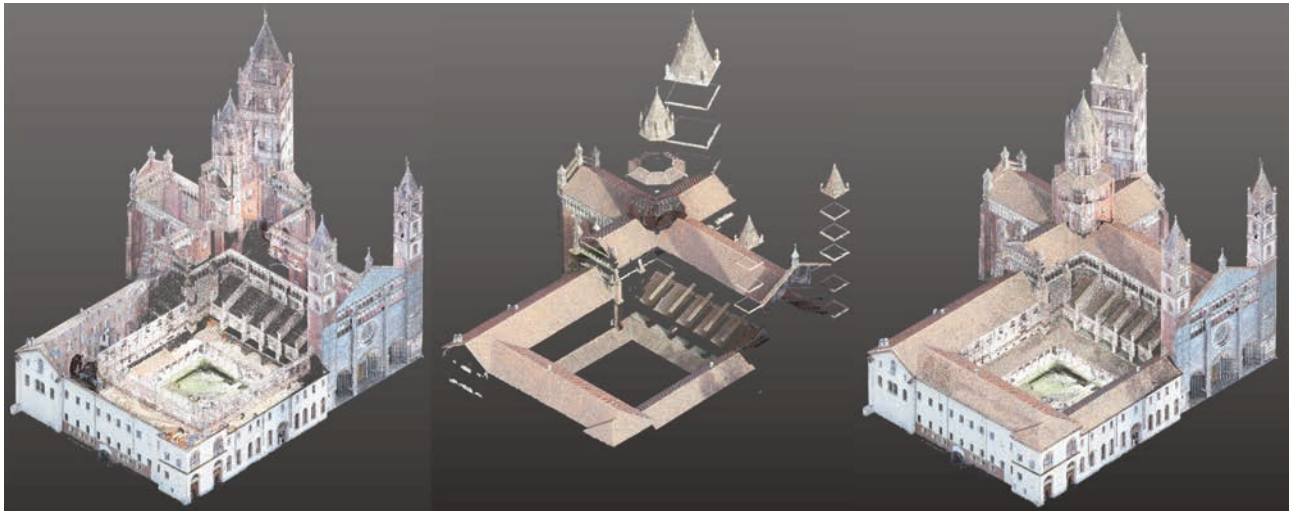


Figura 3 – Processo di costruzione della nuvola integrale.

### Elaborati prodotti

I primi prodotti realizzati, per rispondere alle richieste dei ricercatori e coprire il vuoto documentale, sono stati pianta e sezioni limitate alla sola basilica: sono state disegnate sulla base di una nuvola dalla precisione metrica molto elevata: residui nelle operazioni *cloud to cloud* medio pari a 1,38 mm (valore minimo poco inferiore al millimetro e valore massimo inferiore a 2 mm) (figura 4).

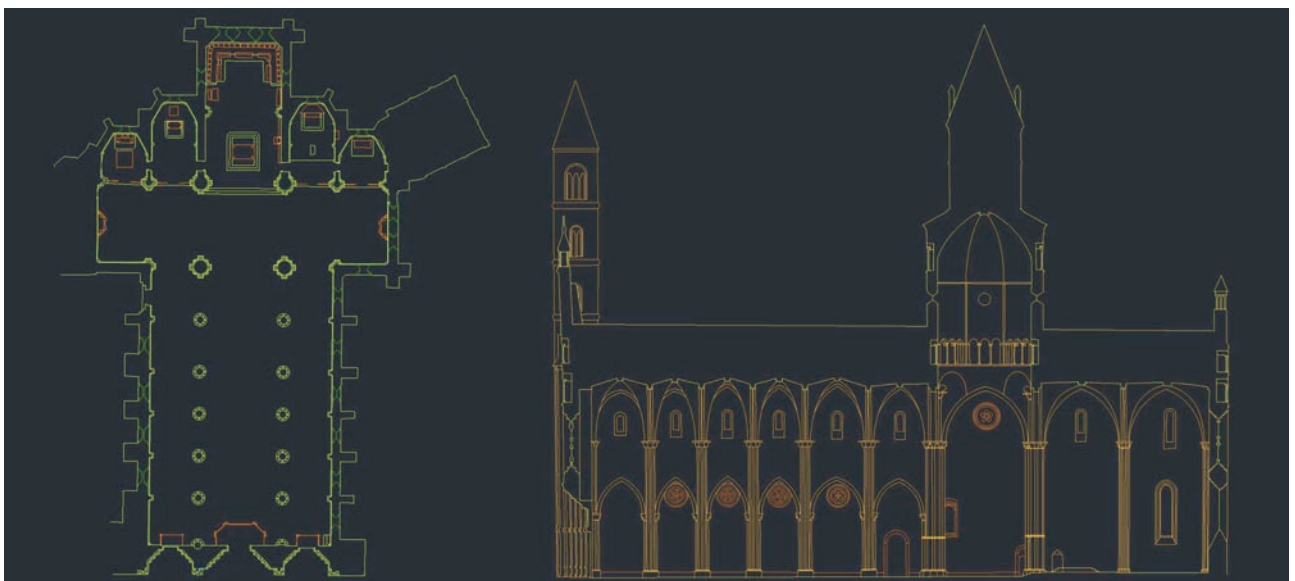


Figura 4 – Pianta e sezione della basilica

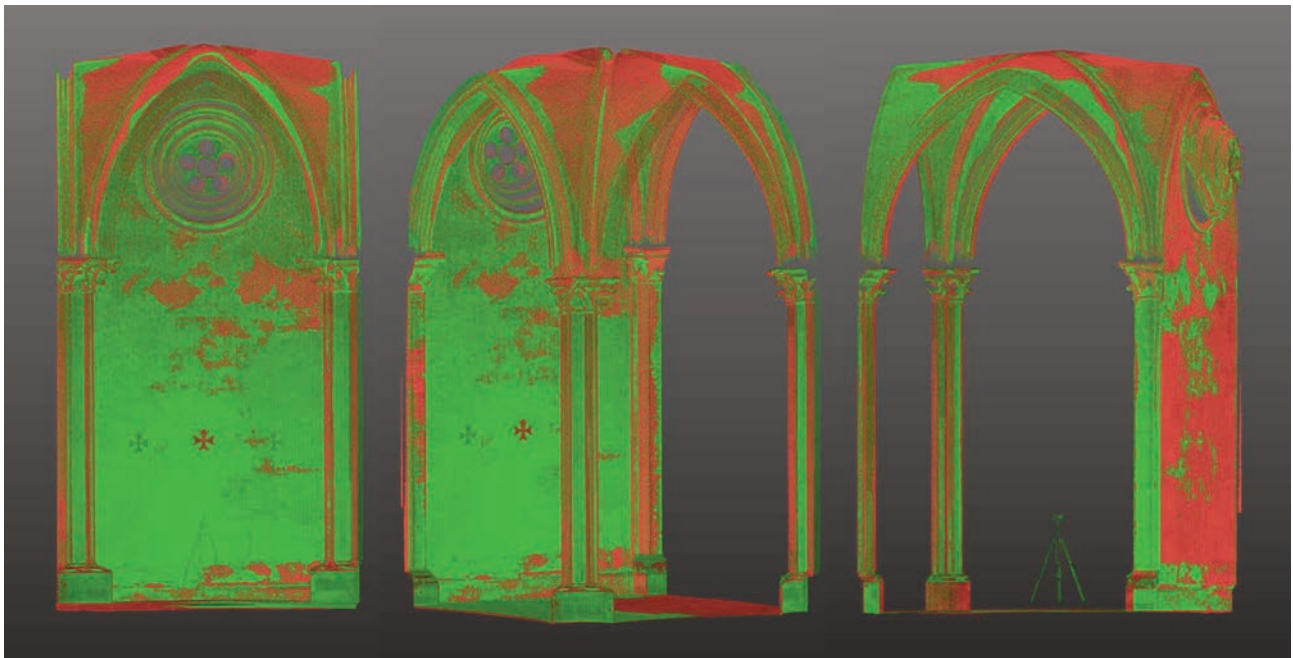
A seguire sono stati generati, sfruttando le foto scattate da ogni singola stazione, una serie di viste rettificate utilizzate sia per l'analisi della composizione dei materiali e il loro degrado che per lo studio degli archi costituenti il complesso religioso, con lo scopo di identificare la loro tipologia tramite i centri di imposta (figura 5).

Il rilievo ottenuto permette anche di eseguire analisi sia di tipo quantitativo che qualitativo: da un lato è possibile isolare ogni singolo elemento per comprenderne i rapporti modulari e le differenze rispetto ad uno schema

preordinato, dall'altro determinare le deformazioni o trasformazioni subite nel tempo attraverso l'allineamento tra gli elementi (figura 6).



*Figura 5 – Analisi tipologica degli archi tramite l'analisi dei centri d'imposta.*



*Figura 6 – Sovrapposizione di due campate per lo studio delle deformazioni.*

Oltre ad elaborati con una elevata valenza tecnica è stata prodotta un'applicazione autoeseguibile di più facile lettura e utilizzo da poter gestire senza l'ausilio di software specialistici e competenze specifiche.

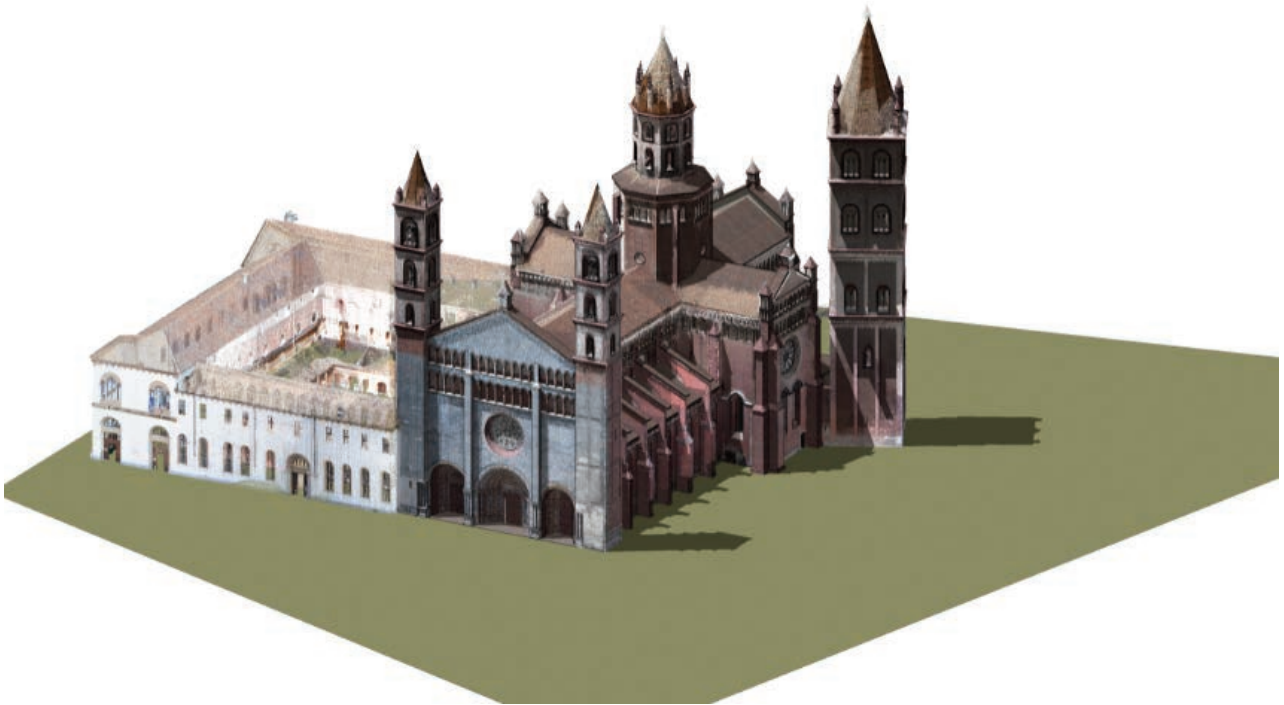
Il risultato è un modello solido in 2.5D costruito dall'integrazione tra le foto sferiche e le nuvole di punti, un ambiente di lavoro nel quale è possibile navigare all'interno degli spazi rilevati e in modo interattivo prendere annotazioni o fare misurazioni (figura 7).



Figura 7 – Modello solido interattivo generato con Trimble Publish

Con la collaborazione di uno specializzando della Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio del DIST è stato infine elaborato un modello tridimensionale BIM del corpo auilico:

- dapprima è stato realizzato, sulla base della nuvola di punti, il volume solido dell'involucro dell'edificio;
- quindi sono stati modellati gli elementi architettonici ripetibili per mezzo di famiglie parametriche;
- infine sono stati realizzati gli oggetti singoli, sempre sulla base dei dati desumibili dalle ortofoto delle facciate;
- queste ultime, opportunamente calibrate, sono state applicate agli elementi piani di murature e di coperture, al fine di conferire una connotazione materica con l'utilizzo delle *textures* materiche, onde consentire la fattibilità di render fotorealistici ricavabili dal progetto (figura 8).



*Figura 8 – Modello BIM.*

## **Conclusioni**

Lo studio sul complesso monumentale di Sant'Andrea di Vercelli ha rappresentato un interessante caso studio per la sperimentazione integrata di differenti metodologie di rilievo e di rappresentazione multidisciplinari.

Siamo oggi in presenza di tecnologie "mature" che danno la possibilità all'utilizzo professionale di innovative forme di rilievo e rappresentazione del patrimonio culturale.

Il progetto così realizzato può costituire la base per ulteriori studi sulla costruzione (non ultimi quelli relativi allo sviluppo storico del complesso), volti sia alla conoscenza quanto al recupero del costruito.

## **Bibliografia**

Del Giudice M., Lingua A., Matrone F., Noardo F., Sanna S., Zerbinatti M. (2017), "Rilevamento metrico 3D e modellazione H-BIM per la manutenzione programmata del patrimonio architettonico", in Atti del XXI Conferenza Nazionale ASITA, Milano, 357-364

Tucci G., Bonora V., Costantino F., Ostuni D. (2004), "Metodi di rilevamento tridimensionale a confronto: affidabilità metrica e capacità descrittive", in Atti del I Convegno e-Arcom, tecnologie per comunicare l'architettura, Ancona, 553-558.