

# RILIEVO LASER SCANNER 3D PER IL RESTAURO DELLA CHIESA DI SANTA MARIA MAGGIORE A MIRANDOLA

di Leandro Scaletti, Carlo Gira



Fig. 1 - Lavori di messa in sicurezza dopo i crolli.

Tecnologie di rilievo digitale e modellazione tridimensionale per l'analisi progettuale della ricostruzione del Duomo di Mirandola dopo il sisma del 2012. Verifica e ridimensionamento delle capriate lignee e delle nuove volte leggere per la realizzazione delle coperture, per il restauro delle strutture resistenti al sisma e per il consolidamento strutturale.

## IL DUOMO DI MIRANDOLA E I DANNI POST-SISMA

La Chiesa di Santa Maria Maggiore, o Duomo di Mirandola, risale alla prima metà del XV secolo, ma viene consacrata solo nel 1491. È una Chiesa in stile Gotico situata nel centro storico della città di Mirandola. Il Duomo non ha subito, nel corso dei secoli, modifiche sostanziali che ne abbiano snaturato la primitiva impostazione stilistica. Si tratta di una costruzione a pianta basilicale, non provvista di transetto, che si articola in tre navate. La navata centrale, di maggiori dimensioni ed altezza rispetto alle laterali, è scandita ai lati da quattro colonne alternate a tre pilastri polistili per parte che sorreggono archi ogivali e si conclude in un'abside poligonale (così come la navata sinistra). La navata destra si conclude invece con la torre campanaria. I due eventi sismici del 2012 hanno colpito duramente la struttura della Chiesa ed hanno purtroppo messo in evidenza ogni debolezza e sconnessione presente. Anche se appariva in buono stato, il Duomo presentava infatti una struttura debole dall'origine non più omogenea, a causa dei numerosi interventi vari e differenziati effettuati nel corso dei secoli. La prima scossa aveva prodotto il crollo di una parte delle volte della navata centrale adiacente alla facciata e aveva arrecato danni alle murature verticali. La seconda scossa, dopo alcuni giorni, ha prodotto danni gravissimi alle volte ed alle coperture con il crollo delle mura del cleristorio, della parete esterna della navata sinistra e della parte superiore della facciata.



Fig. 2 - Render 3D della copertura della Navata Centrale.

#### LA SITUAZIONE DOPO IL SISMA ED IL RILIEVO

Dopo il sisma la Chiesa si presentava piena delle macerie del tetto e delle volte. Il lavoro di messa in sicurezza dei Vigili del Fuoco è stato essenziale per liberare gli spazi e per intervenire con il primo rilievo Laser Scanner. In questa prima fase è risultato necessario e fondamentale avere un rilievo accurato e fedele dello stato di fatto del Duomo. Le parti superiori rimaste dei muri e del cleristorio presentavano dopo il sisma un fuori piombo di oltre 35cm su ogni lato, ovvero ben superiori all'appoggio degli elementi lignei.

In tale situazione, come in molte altre simili, la tecnologia laser scanner risulta l'unico metodo valido per acquisire le geometrie senza contatto e con minori rischi per gli operatori. Il rilievo in questa fase ha consentito una descrizione puntuale degli interventi, a partire dalla realizzazione dei ponteggi interni, autonomi dalle murature, che hanno dato stabilità alle strutture danneggiate.

#### IL PROGETTO DI RICOSTRUZIONE

Il progetto di restauro della Chiesa consisteva nel conservare le parti rimaste, consolidandole per quanto possibi-

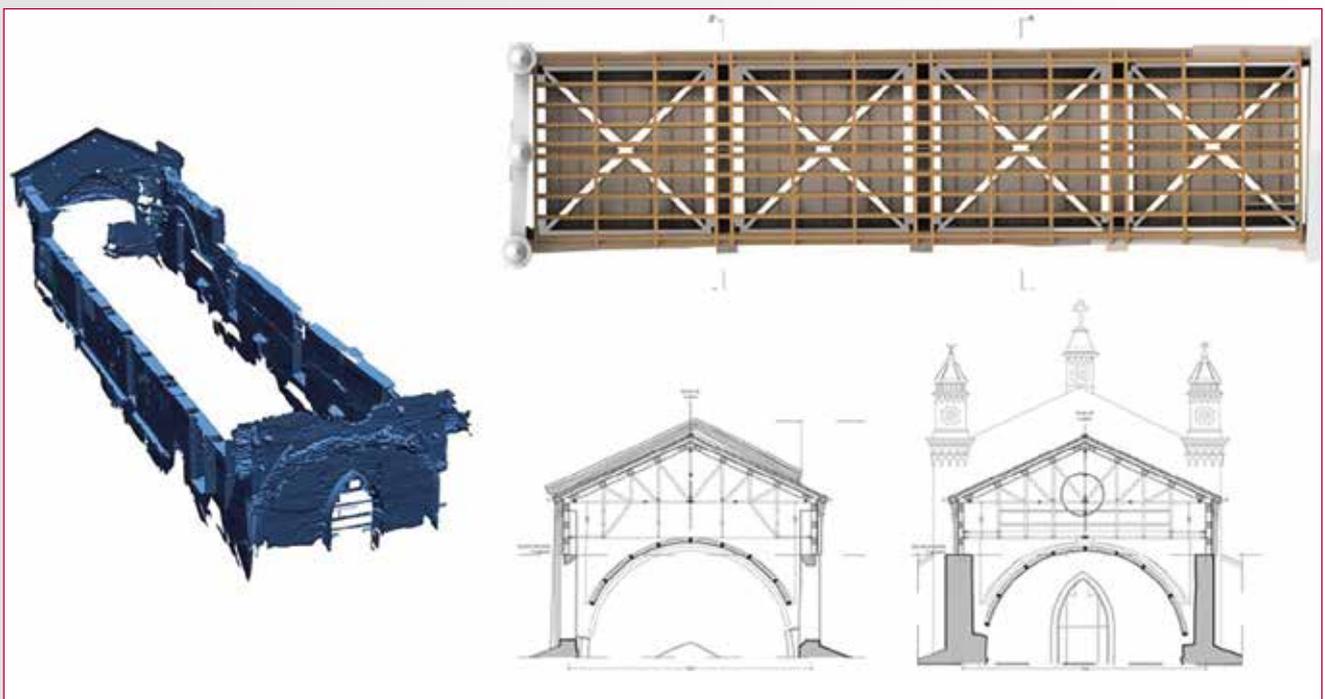


Fig. 3 - Progetto delle Volte e delle Capriate lignee per la realizzazione della nuova copertura del Duomo.

le, ricostruendo le parti superiori crollate (coperture e volte) in modo leggero, ma adeguatamente resistente per trasferire le forze sismiche ai presidi resistenti, costituiti essenzialmente, in direzione trasversale, dalla facciata e dal campanile.

Il progetto di restauro e miglioramento sismico del Duomo è stato curato dallo Studio Comes di Sesto Fiorentino, in particolare dall'Arch. Carlo Blasi e dall'Ing. Susanna Cargagni, che ha assunto anche la direzione lavori, mentre il coordinamento per la sicurezza è stato svolto dall'Arch. Enrico Miceli. L'impresa capogruppo è stata la Bottoli Costruzioni di Mantova; imprese mandanti Alchimia Laboratorio di Restauro di Cavezzo, Caem Group di Curtatone e Martini & Martini Impiantistica di Magnacavallo.

Dopo i lavori di messa in sicurezza, il progetto prevedeva interventi di raddrizzamento della sommità delle pareti della navata centrale con consolidamento e parziale ricostruzione delle parti danneggiate a seguito del terremoto. Inoltre prevedeva la realizzazione di nuova struttura leggera di copertura delle navate centrale e sinistra, costituita da capriate di legno lamellare/acciaio, arcarecci di legno lamellare e tavolato microlamellare. La ricostruzione delle volte crollate è stata realizzata con materiali leggeri e con caratteristiche fono-assorbenti.

Essenziale nella fase progettuale è stata la realizzazione di un modello in scala delle volte, utile soprattutto per le valutazioni progettuali di produzione delle stesse.

#### Il rilievo e la verifica del progetto

Il rilievo Laser Scanner in questa fase è risultato più complesso del solito, data la presenza delle opere provvisorie che erano addossate alle pareti e strutture, occupando gli spazi interni. Il lavoro di scansione e pulitura delle

nuvole di punti è quindi risultato molto oneroso in termini di tempo. Infatti in fase di acquisizione è stato essenziale l'uso di numerosi riferimenti come target e sfere per riferire le singole stazioni. I ponteggi rappresentano, in questi casi, un enorme ostacolo per la strumentazione: occludendo totalmente gli ambienti rendono necessario un maggior numero di scansioni, facendo quindi risultare molto più complicata la successiva fase di allineamento. Per il rilievo è stato usato un Faro Focus X120, con risoluzione a 44 milioni di punti per singola scansione e precisione 4X (I fattori di qualità da 1x a 4x sono solo espressioni diverse per il tempo di osservazione: 1x ha il tempo di osservazione minimo di 1  $\mu$ s per punto di scansione e 4x ha 8  $\mu$ s per punto di scansione).

Ogni singola scansione è stata ripulita da tutti i ponteggi e gli elementi che non interessavano il rilievo. Il risultato dopo l'allineamento è quindi una nuvola di punti 3D che descrive lo stato di fatto delle strutture murarie dopo il loro raddrizzamento. Dal rilievo è stato possibile quindi riscontrare le misure del progetto direttamente sulla nuvola di punti, verificando le incongruenze e le possibili interferenze con le murature, che dopo gli interventi di consolidamento e ricostruzione, hanno mutato la loro forma e posizione rispetto al precedente rilievo.

L'elaborazione del dato a nuvola di punti è stato inizialmente in formato 2D, producendo elaborati CAD sui quali i progettisti hanno ricalibrato il progetto. Sono state ridimensionate le volte, sfruttando il più possibile lo spazio risultante tra queste e le murature della navata centrale, e sono state riposizionate le capriate lignee, facendo corrispondere alla perfezione il progetto con la situazione reale.

Per avere sotto controllo tutte le possibili interferenze tra volte e murature esistenti, è risultato poi necessaria la modellazione tridimensionale del progetto, sovrapponendolo alla Mesh 3D risultante dalla nuvola di punti. Per realizzare quest'ultima, le metodologie usate hanno richiesto l'utilizzo di più software. Partendo dalle singole nuvole, si è proceduto alla triangolazione delle mesh, una per ogni nuvola. Questo processo allunga e rende più pesante in termini computazionali il risultato finale, che tuttavia presenta un'accuratezza geometrica molto più elevata rispetto alla triangolazione della nuvola unica (i nostri risultati di mesh generati producono così mesh più nitide e pulite con una struttura fondamentale diversa da quelle generate tramite funzioni implicite, per colmare il più possibile il divario con la scansione originale).

Attraverso la tecnologia Laser Scanner 3D è stato possibile individuare tutte le incognite relative alla realizzazione della copertura. Una volta modellate le capriate lignee e le volte leggere in 3D, sulla base delle misurazioni effettuate, è stato possibile correggere in corso d'opera il progetto iniziale, anticipando ogni tipo di problematica futura.

Il 21 settembre 2019 il Duomo restaurato è stato riaperto al culto dopo soli due anni dall'inizio lavori. Esempio di come la tecnologia Laser Scanner può fare la differenza in termini di tempo ed affidabilità.



Fig. 4 - Messa in opera delle volte leggere.



Fig. 5 - Cerimonia solenne a Mirandola per l'inaugurazione del duomo ricostruito dopo il terribile terremoto del 2012 che lo ha distrutto. Le foto della cerimonia di Gino Esposito - Fonte: Gazzetta di Modena.

#### ABSTRACT

*Digital survey technologies and three-dimensional modeling for the design analysis of the reconstruction of the Mirandola Cathedral after the 2012 earthquake.*

*Verification and resizing of the wooden trusses and of the new light vaults for the construction of the roofs, for the restoration of the structures resisted to the earthquake and for the structural consolidation.*

#### PAROLE CHIAVE

LASER SCANNER; RESTAURO; MODELLO 3D; ARCHITETTURA; CONSERVAZIONE; POST-SISMA

#### AUTORE

LEANDRO SCALETTI

LEANDRO.SCALETTI@DIMENSIO.IT

VIA DANTE ALIGHIERI, 40, 50058 SIGNA (FI)

DIMENSIO LASER SCANNER SERVICES

CARLO GIRA

CARLO.GIRA@DIMENSIO.IT

VIALE G. MATTEOTTI, 27, 50121 FIRENZE (FI)

DIMENSIO LASER SCANNER SERVICES

**Gter**  
Innovazione  
in Geomatica,  
Gnss e Gis

[www.gter.it](http://www.gter.it) [info@gter.it](mailto:info@gter.it)

