

Il rilievo 3D nella tutela e conservazione di un bene architettonico in un'area a elevato rischio geologico

Lorenzo Leone (*), Daniela Laudani Fichera (*), Giuseppe Pulvirenti (*),
Patrizia Spicuzza (**), Marco Leone (***), Carmelo Caruso (****)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania
Viale Andrea Doria n°6 - 95100 Catania

lleone@dica.unict.it - dlaudani@dica.unict.it – ing.gpulv@tin.it

(**) Architetto Libero Professionista, Dott.ssa Master, Via Vittorio Veneto n°27, 95018 Riposto -
arch.spicuzza@gmail.com

(***) Ingegnere libero professionista, Piazza Ludovico Ariosto n°29, 95100 Catania
ing.leone@gmail.com

(****) Ingegnere libero professionista, Corso Sicilia n°87 - 95047 Paternò
caruso.carmelo154@tiscali.it

Riassunto

Il patrimonio architettonico, per il suo valore storico ed estetico, richiede ai fini della tutela e della conservazione, un'approfondita attività sia in termini di ricerca della relativa documentazione storica-artistica sia in termini di rilievo della geometria e della posizione. In particolare l'ubicazione di un bene architettonico in un'area a rischio geologico acuisce l'esigenza di disporre di un rilievo accurato ed approfondito dello stato di fatto in caso si determini la necessità di interventi di ricostruzione o conservativi o, più in generale, di monitoraggio. In tale contesto l'utilizzo di un rilievo tridimensionale con la tecnica di scansione laser consente di acquisire con notevole accuratezza geometrie anche molto complesse. A tale scopo si renderà altresì necessario vincolare il rilievo a riferimenti stabili, per il monitoraggio di possibili deformazioni di elementi strutturali o per eventuali verifiche di stabilità. Con riferimento a detta problematica nel presente lavoro viene riportata l'esperienza di rilievo con laser scanning, condotta sulla Chiesa di San Matteo Baglio nel territorio di Giarre. Trattasi di un esempio di chiesa rurale, un tempo filiale della parrocchia di Macchia, con origini risalenti alla fine del 1600, che, divenuta pericolante in seguito ad eventi sismici, venne interdetta al culto e, successivamente, ridotta a rudere. La chiesa è stata ristrutturata e riaperta al culto nel 1991. L'edificio sorge, infatti nei pressi delle faglie vicarianti (fascio di faglie sub parallele) legate alla faglia principale Mangano-Miscarello, area soggetta nei secoli a fenomeni sismici anche di rilevante intensità. Dette faglie, ancor oggi attive, determinano prescrizioni e limiti negli strumenti urbanistici vigenti e lasciano presumere anche per l'avvenire fenomeni sismici importanti. Pertanto, detto rilievo è stato eseguito al fine di fornire un modello attuale, strutturato in modo da consentire l'acquisizione di informazioni utilizzabili in attività di monitoraggio, di conservazione e di verifica strutturale.

Abstract

Architectural Heritage, for its historical and aesthetic value, requires a peculiar study for the protection and conservation, both in terms of an in-depth research of its historical record-art and in terms of relief of geometry and position. In particular, the location of a architectonic good in a geological risk area heightens the need for an accurate and deep survey of the status quo if it is determined the need for reconstruction or conservative or, more generally, monitoring. In this context the use of a three-dimensional relief with the technique of laser scanning captures with remarkable accuracy even very complex geometries. For this purpose it will make also necessary to

constrain the survey to stable references, for the monitoring of possible deformation of structural elements, or for inspection of stability. With reference to this issue in the present study we report the experience with laser scanning survey, conducted on the Church of St. Matthew Baglio in the territory of Giarre. This is an example of a rural church, once a subsidiary of the parish of Macchia, with origins dating back to the end of 1600, which, become unsafe as a result of earthquakes, was closed to worship and, later, in ruins. The church was renovated and reopened in 1991. The building is in fact close to the faults vicarious (bundle of sub parallel faults) related to the main fault Miscarello-Mangano, area subject to earthquakes over the centuries also of considerable intensity. These faults, still active, determine requirements and limitations in existing planning instruments and give cause for future important earthquakes. Therefore, the relief has been performed in order to provide a current model, structured so as to allow the acquisition of information for use in monitoring activities, conservation and structural verification.

Introduzione

A livello normativo il concetto di “tutela e conservazione di un bene architettonico”, pur variamente interpretato e citato in ambito legislativo, ha assunto una dimensione più ampia con l’introduzione del “Codice dei Beni culturali e del Paesaggio (D. Lgs. 42/04)”. L’art. 29 del suddetto decreto definisce come attività di manutenzione, il “complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale ed al mantenimento dell’integrità, dell’efficienza funzionale e dell’identità del bene e delle sue parti”. Pertanto, tale definizione richiama diverse tipologie di interventi che comprendono non solo la progettazione delle eventuali opere di ripristino della funzionalità ma anche le attività mirate alla “conservazione” dello stesso, consistenti principalmente nel monitoraggio e controllo degli stessi beni e del relativo contesto nel quale sono inseriti. Trattasi quindi di uno stretto legame esistente tra il “primitivo” concetto di “restauro” ed il successivo concetto di “mantenimento e conservazione”. Infatti, intervenire nel ripristinare la funzionalità di un bene architettonico, senza valutare le cause che ne hanno determinato il deterioramento, non costituisce una politica programmata di gestione dell’immobile atta a limitare i costi onerosi sostenuti inizialmente. In tal senso l’art. 29 comma 1 specifica che “la conservazione è una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro”. In base a quanto sopra riportato è, quindi, palese che il “controllo delle condizioni del bene” non coincide con la semplice manutenzione di routine, ma si deve inquadrare come azione complessa di osservazione, valutazione e registrazione che richiede competenze specializzate e necessita di un controllo delle procedure dell’intervento sia in fase progettuale che esecutiva.

Partendo dai concetti sopra esposti, nel presente studio viene riportata l’esperienza operativa eseguita sulla Chiesa di San Matteo Baglio nel territorio del Comune di Giarre. In particolare la chiesa, ristrutturata ed aperta al pubblico nel 1991, ricade nei pressi di un’area ad elevato rischio geologico e necessita, quindi, di un’importante attività di monitoraggio per garantire il mantenimento e la conservazione delle condizioni di fruibilità della stessa.

Ai fini dello stato conoscitivo dell’attuale situazione strutturale si è deciso di eseguire un rilievo con tecnologia laser scanner, così da poter giungere ad una visualizzazione della chiesa tramite file grafico tridimensionale. Grazie ai programmi di post-processamento della “nuvola di punti”, acquisita in fase di rilievo, è possibile ottenere dei file, in formato vettoriale. Si possono ricavare, così, piante, sezioni prospetti bidimensionali, utilissimi per successivi impieghi in ambito di controllo e verifica strutturale della chiesa.

La Chiesa di San Matteo Baglio

Le origini della Chiesa di San Matteo, che diede poi il nome alla contrada, si possono con certezza collegare con l’opera di disboscamento che nella seconda metà del Seicento interessò l’estrema propaggine del bosco di Mascali, compresa tra San Leonardello – Baglio – Fondo Macchia. La chiesetta, di fatto tra le esistenti la più antica delle chiese di Giarre, venne pertanto posta a servizio del nuovo insediamento demografico, dovuto alla coltivazione dei terreni circostanti, ed, essendo

collocata sulla ex strada consolare in località Baglio, costituiva un luogo di transito obbligato dove bisognava fermarsi a pagare un pedaggio. A distanza di due secoli la chiesa, dotata di due cripte all'interno e di una posta alle spalle dell'abside, per la sua posizione isolata, essendo profondamente modificato il rapporto popolazione - ambiente naturale, in seguito alla legge dell'8 giugno del 1865, variò la sua destinazione originaria, trasformandosi da luogo di culto a vero e proprio cimitero cittadino, fino all'apertura del nuovo cimitero di Trepunti.

Con la realizzazione del nuovo tracciato della strada consolare (oggi S.S. 114), e la costruzione del cimitero cittadino, la chiesa perse centralità e funzione, venendo sostituita dalla nuova chiesa di Trepunti aperta al culto il 02-09-1869. Divenuta nel frattempo pericolante in seguito ad eventi sismici, oltre che per il protrarsi dello stato di abbandono e per l'incuria degli uomini, venne interdotta al culto e, successivamente, ridotta a rudere.

L'edificio sorge, infatti, nei pressi delle faglie vicarianti (fascio di faglie sub parallele) legate alla faglia principale Mangano-Miscarello, area soggetta nei secoli a fenomeni sismici anche di rilevante intensità. Dette faglie, ancor oggi attive, determinano prescrizioni e limiti negli strumenti urbanistici vigenti e lasciano presumere, anche per l'avvenire, fenomeni sismici importanti, come si può desumere anche dall'elaborato grafico "Tavola Aree a rischio geologico" allegato alla Delibera n° 59 del Consiglio Comunale, esecutiva dal 1/9/2010, avente per oggetto "Delimitazione aree a rischio geologico identificate all'interno del territorio comunale nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'area compresa tra i bacini del F. Alcantara e del F. Simeto, nel PRG e nel piano comunale di P.C."

Fino all'inizio degli anni 80 del secolo scorso, restavano in piedi solo alcuni muri e parti di costruzioni annesse: il fronte anteriore era totalmente scollato dal resto del fabbricato (lungo gli spigoli anteriori correvano infatti delle lesioni passanti della larghezza di ½ cm), essendo pressoché mancanti gli ammassamenti d'angolo; la copertura era inesistente; gli stucchi e gli intonaci erano crollati o degradati; il pavimento in cotto era per lo più dismesso; altari e infissi erano divelti; le cripte erano ricolme di detriti; gli arbusti avevano invaso l'interno del fabbricato.

Successivamente la chiesa è stata ristrutturata e riaperta al culto nel 1991, in seguito ad un progetto di restauro globale effettuato dalla Soprintendenza per i Beni Culturali ed Ambientali di Catania (articolato in due lotti protrattisi all'incirca dal 1987 al 1991) che ha eseguito dei lavori di consolidamento statico delle strutture murarie e delle cripte annesse alla Chiesa mediante perforazioni, iniezioni di miscela fluida di cemento; realizzazione di un cordolo di coronamento e un vespaio perimetrale, coperture, pavimentazione e sottostante vespaio, intonaci, infissi, opere varie di completamento, ecc... Un ulteriore intervento di restauro e risanamento conservativo della copertura della chiesa di San Matteo è stato eseguito nel 1999 in seguito a danni provocati da eventi atmosferici.



Figura 1 - Stato della chiesa ante restauro.

Acquisizione ed elaborazione del rilievo

Per il rilevamento della chiesa è stata utilizzata, come già detto, la tecnologia laser scanner. Tale tecnologia costituisce di fatto un ottimo supporto per la definizione dello stato di fatto e la pianificazione degli interventi. Il laser scanner, infatti, permette di ottenere in tempo reale la forma tridimensionale dell'oggetto rilevato. Dopo la fase di pulitura del dato grezzo e registrazione delle

nuvole di punti è possibile visualizzare, navigare, misurare e utilizzare l'oggetto virtuale tramite semplici visualizzatori dedicati.

Nel caso specifico, il rilievo della chiesa è stato eseguito con strumentazione SCANSTATION LEICA P20, caratterizzata da una velocità elevata di acquisizione dei punti (fino a 1 milione di punti/secondo), portata di 120 m con tecnologia WFD, e dotata di fotocamera integrata da 5 megapixel e compensatore biassiale. Si è, quindi, proceduto al rilievo dei luoghi, individuando in loco 10 stazioni, di cui 3 all'interno della chiesa e 7 all'esterno a giro su tutto il perimetro, utilizzando il collegamento "topografico" esistente tra le diverse stazioni, che sono state reciprocamente collimate mediante il posizionamento di marker.



Figura 3 - Rilievo dell'interno della chiesa.



Figura 4 - Visualizzazione d'insieme della nuvola di punti.

Si è, inoltre deciso di effettuare da ciascuna stazione una scansione mirata all'inquadramento dell'area oggetto di indagine, limitando in tal modo le dimensioni dei relativi file ai fini di una maggiore rapidità nella successiva fase di analisi e studio delle nuvole di punti. Contestualmente alla fase di scannerizzazione, essendo la strumentazione utilizzata dotata di fotocamera integrata, è stato possibile effettuare gli scatti relativi alla porzione di spazio rilevata, in modo tale da potere successivamente associare alla "nuvola di punti" ottenuti, le relative immagini.

Al termine della fase di rilievo diretto topografico si è quindi passati alla fase di scarico dei dati, rappresentati dalla "nuvola" dei punti generata e dalla relativa analisi, mediante l'utilizzo del software Cyclone.

In particolare, essendo già i vari punti di presa collegati topograficamente tra loro, il sw stesso ha generato in automatico una prima visione di insieme dell'intera area, evidenziando nel contempo aree non ben definite e/o non perfettamente inquadrare a causa della presenza di ombre o sovrapposizioni di elementi che ne limitano la completa visuale. Il risultato ottenuto è stato ottimale con buoni parametri di precisione e tolleranza ed ha permesso immediatamente di evidenziare con chiarezza la geometria tridimensionale dell'immobile. E' stata quindi svolta un'azione di pulizia (rumore) del model space generato, così da potere procedere alla relativa associazione delle immagini. Il modello così generato in ambito



Figura 5 - Visualizzazione d'insieme della nuvola di punti.

Cyclone è stato esportato nei formati opportuni per le successive fasi di lavorazione in ambiente *3D Reshaper*. Tale sw è particolarmente dedicato alla modellazione 3D mesh di nuvole di punti, offrendo differenti funzionalità per il processamento delle stesse (3D meshing, ricostruzione di superfici, rendering realistici, etc.). I modelli generati con *3D Reshaper* possono quindi essere usati per numerose applicazioni quali video animazioni e simulazioni, analisi strutturale, tecnologia CAD. Nel caso specifico, dal modello geometrico tridimensionale creato con il laser scanner e con l'utilizzo di applicazioni specifiche, è stato possibile estrarre informazioni di tipo metrico ed in particolare piante, sezioni e prospetti bidimensionali, necessari ad eseguire le verifiche statiche di seguito descritte.

La verifica strutturale

La chiesetta di "San Matteo", strutturalmente è costituita da un unico corpo di forma rettangolare ed abside frontale con muratura perimetrale semicircolare. I muri, di vario spessore, sono realizzati in blocchi di pietra lavica in discreto stato di conservazione.

La copertura è del tipo in legno, a due falde, ed è costituita da capriate in legno poste ad interasse di circa 2,00 mt ed orditura secondaria disposta parallelamente alla linea di colmo (tetto non spingente). Partendo dal sopra descritto rilievo con tecnologia "Laser Scanner", sono stati derivati le piante e prospetti necessari ad eseguire l'input strutturale in C.D.S. Come emerso, da indagini eseguite presso i vari uffici competenti, nel periodo 1988/1990, sulla base della normativa a suo tempo vigente (D.M. 24/01/1986 - Circolare Ministeriale LL.PP. Cons. Sup. 19/07/1986 n.°27690), sono stati eseguiti degli interventi di consolidamento sulla chiesetta tali da determinarne la ripresa della stessa funzionalità. Gli interventi hanno interessato i seguenti punti:

- 1) consolidamento della muratura tramite perforazioni e iniezioni di miscela fluida di cemento;
- 2) rinforzo localizzato in fondazione;
- 3) realizzazione di un cordolo in c.a. in testa alla muratura;

Volendo verificare, sulla base della attuale normativa vigente D.M. 14/01/2008, il comportamento della struttura ed il miglioramento ottenuto con l'intervento del 1988, si è eseguito l'input strutturale. All'interno del programma di calcolo sono stati utilizzati per la definizione delle Caratteristiche meccaniche della muratura i parametri derivati dalla tab.C8A.2.1 Cic. Min. 02/02/2009 N.°617 (Fm= 700 N/cm²; τ_0 = 1,05 N/cm²; E= 2800 N/mm²; G= 860 N/mm²; Livello di Conoscenza = LC2).

Per la definizione invece delle forme spettrali (spettri elastici e spettri di progetto), in conformità ai dettami del D.M. 14 gennaio 2008 § 3.2.3., sono stati definiti i seguenti termini:

- Vita Nominale 50 Anni
- Classe d'Uso III
- Categoria del suolo B
- Coefficiente Topografico 1
- Latitudine e longitudine del sito oggetto di edificazione:

Longit. Est: 15,16986 Latitud. Nord: 37,70961 coordinate in ED50

Tali valori sono stati utilizzati su apposita procedura informatizzata sviluppata dalla STS s.r.l. che, a partire dalle coordinate del sito oggetto di intervento, fornisce i parametri di pericolosità sismica da considerare ai fini del calcolo strutturale, riportati nei tabulati di calcolo.

Di seguito si riportano tali parametri:

Parametri sismici secondo s.t.s.					
	Tr	Ag	Fo	Tc	S
S.L.D.	75	0,128	2,554	0,261	1,20
S.L.V.	712	0,243	2,652	0,322	1,14
Fattore di Struttura $q_0=3,60$					

Eseguito l'input della struttura è stato lanciato il calcolo sismico nell'ipotesi di struttura ante intervento eseguito nel 1988, assenza di cordoli, (analisi dinamica lineare a masse concentrate per

l'assenza di impalcanti). I risultati sono riassumibili nelle quattro immagini che seguono dalle quali emerge che diversi maschi murari presentano problemi di verifica.

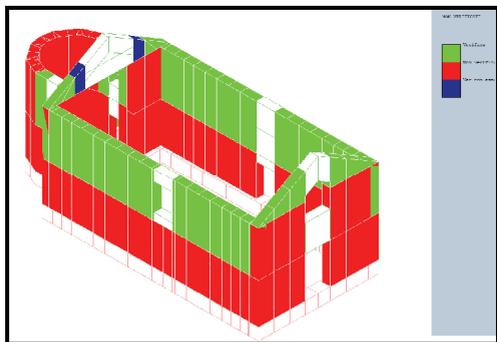


Figura 6 - Verifica sismica senza cordolo - Vista n.1.

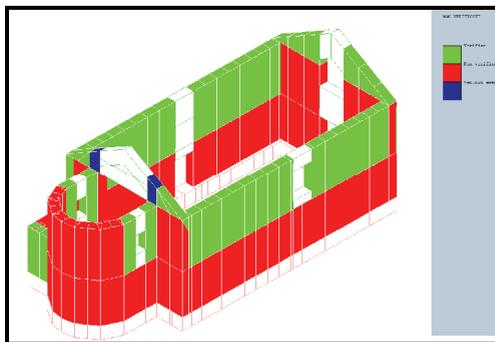


Figura 7 - Verifica sismica senza cordolo - Vista n.2.

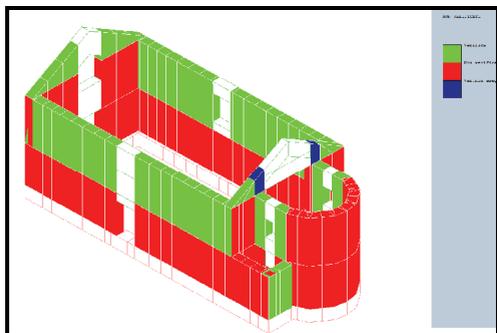


Figura 8 - Verifica sismica senza cordolo - Vista n.3.

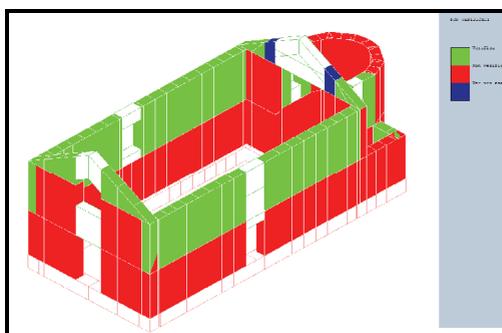


Figura 9 - Verifica sismica senza cordolo - Vista n.4.

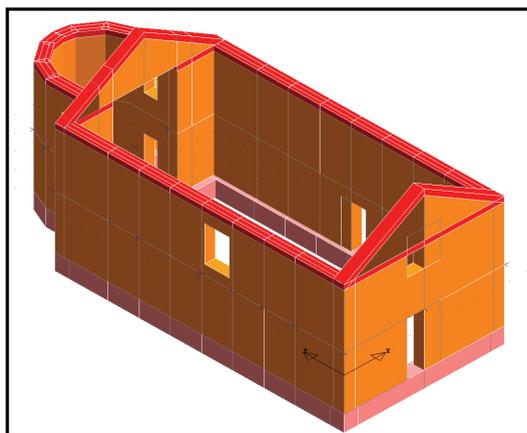


Figura 10 - Cordolo inserito in testa alla muratura.

Pertanto, tale condizione di mancata verifica delle condizioni statiche, certamente anche a suo tempo non soddisfatta, ha determinato l'esigenza di individuare degli interventi di miglioramento consistenti, appunto, nella realizzazione di un cordolo in c.a. in testa alla muratura e nel consolidamento della muratura tramite perforazioni e iniezioni di miscela fluida di cemento.

La presenza del cordolo, infatti, conferisce alla struttura l'effetto di una scatola chiusa (limita lo spostamento in testa dei muri) con un migliore comportamento in caso di sisma.

Rieseguito l'input, considerando l'inserimento del solo cordolo, è stato rilanciato il calcolo applicando i nuovi principi normativi vigenti.

Le quattro immagini che seguono dimostrano chiaramente che il numero di maschi murari che non verificano è nettamente diminuito, essendo stata migliorata in maniera sostanziale la condizione strutturale dell'edificio.

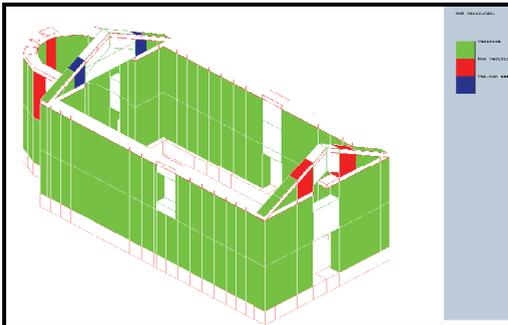


Figura 11 - Verifica sismica con cordoli - Vista n.1.

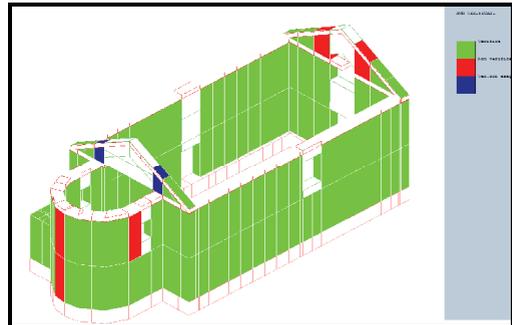


Figura 12 - Verifica sismica con cordoli - Vista n.2.

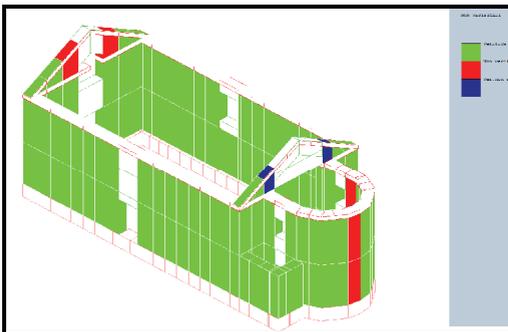


Figura 13 - Verifica sismica con cordoli - Vista n.3.

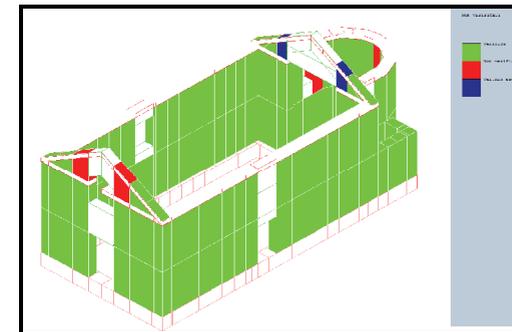


Figura 14 - Verifica sismica con cordoli - Vista n.4.

Sulla base delle sopra descritte verifiche si deduce, quindi, che anche gli altri interventi di consolidamento eseguiti (non presi in considerazione nella presente verifica) hanno certamente determinato un ulteriore miglioramento della struttura, per la cui verifica si rimanda ad un successivo studio.

Si evidenzia, inoltre, che la verifica eseguita considerando l'inserimento del cordolo ha mostrato un netto miglioramento della struttura nonostante siano stati utilizzati i criteri della normativa oggi vigente (del 2008), sicuramente più restrittiva rispetto alla normativa (del 1986) in vigore al momento in cui è stato realizzato l'intervento di consolidamento.

Conclusioni

L'esperienza maturata nell'ambito della Chiesa di San Matteo Baglio, tramite la tecnologia laser scanner, ha evidenziato l'utilità di disporre costantemente, nel caso di un bene architettonico, di un modello tridimensionale, in special modo se il bene è ubicato in zona a rischio geologico. Infatti l'avere a disposizione un rilevamento caratterizzato da una conoscenza geometrica globale degli elementi, sia strutturali che decorativi, risulta di importanza notevole nel caso, non auspicabile, in cui il bene andasse perduto.

L'archiviazione del rilievo eseguito è fondamentale anche in caso si verifichi la necessità di interventi di ricostruzione, conservativi o di monitoraggio.

Il rilievo tridimensionale effettuato ha reso disponibili dettagli ed informazioni non ottenibili facilmente con le tecniche di rilevamento tradizionali.

Infatti la possibilità di rilevare con notevole accuratezza geometrie molto complesse permette lo studio approfondito delle tecniche costruttive, consentendo anche la percezione e l'analisi di particolari geometrici.

Nel caso specifico il modello ottenuto consente di ricavare le geometrie degli elementi strutturali da utilizzare nei calcoli di verifica sismica, che dovessero effettuarsi o nel caso di adeguamenti a nuove normative, o in caso di interventi strutturali da eseguire con urgenza a seguito di improvvisi eventi sismici o a seguito di condizioni evolutive evidenziate da programmate operazioni di monitoraggio. Inoltre la conoscenza storica degli interventi strutturali eseguiti nel tempo, riportati sulla base geometrica completa acquisita con il laser scanner, consente di comprendere e valutare il comportamento della struttura nel suo complesso, la bontà degli interventi a suo tempo eseguiti, e permette anche di evidenziare le zone di maggiore criticità.

Tali conoscenze, assieme ai normali calcoli strutturali di verifica, consentono di definire gli interventi strutturali, per la conservazione del bene architettonico. A supporto di tale approccio metodologico relativo all'analisi strutturale, è stata proposta, sulla stessa base geometrica rappresentativa della chiesa oggetto di indagine, la verifica sismica prima e dopo l'inserimento di un cordolo armato in testa alle muratura, con riferimento a due distinte normative, quella esistente al momento dei lavori a suo tempo eseguiti, e quella attuale, sicuramente più rigorosa.

Bibliografia

- Tucci G., Guardini N., Poggi (2014), "Rilievo e modellazione 3D a supporto dell'analisi strutturale: un approccio metodologico e sostenibile per il patrimonio architettonico" in *Atti del Convegno Asita, Firenze, 14 – 16 ottobre 2014*
- Costantino F., Durazzani S., Poggi D., Callieri M., Dellepiane M., Scopigno R. (2014), "San Leonardo in Arcetri: innovazione tecnologica per la gestione integrata dei beni culturali" in *Atti del Convegno Asita, Firenze, 14 – 16 ottobre 2014*
- EnteDiocesi di Mantova (2012), "Metodologie innovative per la conservazione programmata Diocesi di Mantova"
- Leone L., Laudani Fichera D., Pulvirenti G., Spicuzza P., Leone M., (2012) "La modellazione 3D nel controllo dell'inquinamento ambientale da agenti fisici" in *Atti del Convegno Asita, Fiera di Vicenza, 6 – 9 novembre*
- Gasparoli P., Livraghi C., Bossi S., Totaro G. (2010), "Attività di manutenzione e cura sui beni culturali architettonici: strategie e politiche di incentivazione"
- Balletti C., Guerra F., Pilot L. Università IUAV di Venezia – Laboratorio di Fotogrammetria – Circe (2006) "Integrazione di tecnologie 3d multiscala per la conoscenza, l'interpretazione e la diffusione di un sito archeologico"
- Peloso D. (2005), "Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali" - Archeologia e Calcolatori
- Alba M., Giussani A., Roncoroni F., Scaioni M. (2005) "Analisi delle precisioni ottenibili nella determinazione di punti con laser scanning terrestre utilizzando la georeferenziazione diretta" in *Atti del Convegno Nazionale SIFET di Palermo*
- D. Lgs. 42/04, Codice Dei Beni Culturali E Paesaggistici (2004).