Rilievo metrico integrato a supporto delle attività di restauro della cappella di San Bernardo in borgata Comba (Melle, Valle Varaita).

Filiberto Chiabrando (*), Andrea Lingua (**), Davide Marenchino (***)

(*) Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura II, DINSE, Viale Mattio 39, 10125 Torino, 0115644380, filiberto.chiabrando@polito.it
(**) Politecnico di Torino, I Facoltà di Ingegneria,.DITAG. Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino,0115647645, andrea.lingua@polito.it
(**) ITHACA – Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action. Via Pier Carlo Boggio 61, 10129 Torino. davide.marenchino@polito.it

Riassunto

Al giorno d'oggi, l'idea della conservazione viene spesso estesa dal manufatto architettonico alla generalità delle testimonianze culturali ad esso collegate. In questi riferimenti si inserisce il tema della conservazione dell'architettura tradizionale come componente fondamentale del paesaggio. Nella consapevolezza che la qualità ambientale e la conservazione delle memorie collettive siano oggi necessità indiscutibili, l'architettura storica vernacolare rappresenta un aspetto ineludibile del paesaggio culturale, derivato dall'azione antropica.

Un esempio di valorizzazione del patrimonio architettonico alpino è rappresentato dal caso della cappella di San Bernardo (XVI secolo) in borgata Comba, nel comune di Melle (CN). E' infatti in fase di sviluppo un progetto di restauro che mira alla conservazione del sito, attualmente in completo stato di abbandono. L'intervento richiede il ripristino di alcuni elementi strutturali e decorativi quali la copertura esterna, la volta e gli affreschi interni. Ovviamente, il progetto di conoscenza e il relativo restauro non può prescindere da un attento rilievo metrico delle strutture preesistenti.

Nel presente articolo sono descritte le fasi di rilievo metrico della cappella. Il rilievo metrico è stato eseguito seguendo un approccio integrato con tecniche tradizionali, LiDAR terrestre e fotogrammetria digitale. L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di generare le tradizionali rappresentazioni architettoniche bidimensionali (piante, prospetti e sezioni) e inoltre per una maggiore conoscenza sullo stato di degrado della fabbrica sono state generate anche alcune ortofoto.

Abstract

In the high Varaita Valley a requalification project that is focalized in a small deserted village called "Borgata Comba" is planned in order to upgrade the alpine heritage of the area.

In particular a restoration of the little Chapel of San Bernardo Abate (XVI th century) is needed.

For these reason, in order to realize the restoration project and the graphic representation of the old chapel different integrated geomatic techniques were used for the survey of the chapel.

First of all the main objective of the work was the realization of traditional 2D drawings such as plans, façade and sections; moreover in order to test the different techniques some orthophotos of the façade were realized.

The paper shows the different methodologies used for the survey (LiDAR, digital photogrammetry, traditional survey etc.), in order to achieve the final products requested for the restoration project.

Cenni storici

Il vallone La Comba si trova sul versante Opaco, quasi parallelo con il vallone Valmala, con il quale confina nella sua parte più alta con il colle della Ciabra ed il monte Rocciavrè, nella Valle Varaita, in provincia di Cuneo. In queste zone a partire dal XVI secolo nacquero alcune borgate tra le quali quella più popolosa e consistente che prese il nome di borgata Comba. La borgata è ubicata 5 Km a monte del comune di Melle, ad una quota di 1060 m sul livello del mare. Oggi i ruderi delle "baite" e di un'antica cappella rimangono a testimonianza della borgata che a partire dal 2008, grazie all'acquisto di terreni e fabbricati da parte di alcuni privati sta lentamente riprendendo vita.

Il fabbricato di maggiore interesse è la Cappella dedicata a San Bernardo Abate, della quale si hanno notizie a partire dal 1533 grazie al ritrovamento nell'archivio storico di una licenza concessa dal Vescovo Tornabuoni di Saluzzo per la sua costruzione (Paseri, 2008). Grazie all'interessamento del Comune di Melle, della Curia e di alcuni privati è in fase di sviluppo un progetto di valorizzazione della borgata e di restauro dell'antica Cappella. Allo stato attuale la Cappella presenta dei gravi dissesti strutturali, per cui un eventuale intervento di restauro richiederà il ripristino di alcuni elementi strutturali e decorativi quali la copertura esterna, le volte, la cupola e gli affreschi.

Figura 1-2. Inquadramento cartografico della borgata Comba (sx). Cappella di San Bernardo Abate (dx).

Il rilievo della Cappella di San Bernardo

Gli elaborati necessari per la realizzazione di un progetto ed un intervento di restauro architettonico sono le tradizionali rappresentazioni bidimensionali (piante, prospetti e sezioni). Negli ultimi anni nel campo del rilievo architettonico si è assistito ad un sempre maggiore utilizzo della tecnica LiDAR unitamente alla fotogrammetria digitale per la produzione di modelli tridimensionali di oggetti di varia natura e dimensione. Tali tecniche, che presentano entrambe ridotti tempi di acquisizione dei dati primari necessitano di onerose, ma sempre più automatizzate, procedure di interpretazione geometrica e modellazione.

Nella presente ricerca sono state integrate le informazioni metriche provenienti da scansioni LiDAR e riprese fotogrammetriche, con i dati derivanti da tradizionali operazioni di rilievo strumentale con stazione totale e rilievi longimetrici di dettaglio. Mediante l'elaborazione dei dati acquisiti sono stati prodotti elaborati grafici bidimensionali in formato vettoriale (piante, sezioni e prospetti), le ortofoto dei fronti architettonici della fabbrica e un modello 3D completo della cappella.

La rete di inquadramento

Indipendentemente dalla tecnica che s'intende utilizzare per il rilievo di dettaglio, ogni rilievo metrico richiede la realizzazione di una rete d'inquadramento, cioè di una serie di punti noti

omogeneamente disposti nello spazio all'interno del quale avverrà il rilievo. La rete d'inquadramento ha come scopi la definizione del sistema di coordinate che sarà utilizzato per tutte le successive operazioni di rilievo e il contenimento della propagazione degli errori in modo da garantire, sui punti di dettaglio, il rispetto delle tolleranze fissate. Nel caso della cappella in borgata Comba, la necessità di realizzare tutti gli elaborati bidimensionali necessari per il processo di conoscenza e per l'elaborazione del progetto di restauro ha caratterizzato la geometria della rete stessa (Figura 3). Il rilievo è stato eseguito in maniera tradizionale, utilizzando una stazione totale Leica Smart Station.

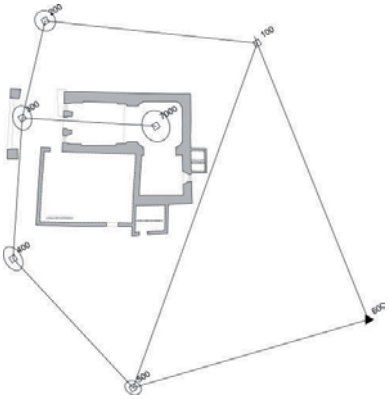

Figura 3. Geometria della rete di inquadramento

St.	dX (m)	dY (m)	dZ (m)
100	0.0002	0.001	0.004
200	0.001	0.002	0.006
500	0.001	0.001	0.004
600	0.000	0.000	0.000
7000	0.002	0.003	0.008
300	0.001	0.002	0.006
400	0.001	0.002	0.005

Tabella 1. Residui sui punti

Gli scarti quadratici medi ottenuti nelle compensazioni rigorose effettuate sono inferiori al cm e tale risultato è stato ritenuto sufficiente a garantire la tolleranza sui punti di dettaglio richiesta dalla scala di rappresentazione adottata (scala 1:50). In tabella 1 sono riportati i residui sui punti della rete al termine della compensazione ai minimi quadrati eseguita con il software *Starnet*.

Rilievo ed elaborazione dati LiDAR

Per l'acquisizione dei dati LiDAR è stato utilizzato lo strumento lo strumento *Riegl LMS Z-420* (Figura 4). La tabella 2 riassume i principali dati tecnici di tale strumento nella configurazione utilizzata per il rilievo della Cappella in borgata Comba.

Figura 4. Riegl LMS Z-420

LASER Riegl LMS Z-420	
Distanza massima di misura	Fino a 350 m
Distanza minima di misura	2 m
Precisione della misura di distanza	± 5 mm
Velocità di acquisizione	3000-9000 pt/s
Variazione angolare nel piano verticale	80°
Variazione angolare nel piano orizzontale	360°
Peso	14.5 Kg

Tabella 2. Principali dati tecnici del Laser Scanner utilizzato

La scansione dell'intera Cappella ha richiesto 8 diverse posizioni di acquisizione. Per ottenere un risoluzione sufficiente per una corretta interpretazione dei dettagli, considerando le distanze medie di acquisizione (esterno = 10 m; interno = 3 m), le scansioni sono state eseguite con una risoluzione angolare pari a 50 mdeg per le acquisizioni esterne e 120 mdeg per quelle interne. Ogni scansione è stata integrata con una serie di immagini digitali acquisite con la camera CANON EOS 5D (12 Mpixel) con ottiche calibrate intercambiabili aventi focale pari a 14 e 24 mm. Al fine di allineare le nuvole di punti, sono stati posizionati circa 100 *marker* retroriflettenti. Questi sono stati rilevati con la stazione totale in modo da determinare per ognuno di essi le coordinate nel sistema definito dalla rete di inquadramento.
Successivamente si è proceduto con la fase di elaborazione dei dati che è consistita nella ricerca automatica dei *marker*, colorazione della nuvola (ad ogni punto è stato associato un valore RGB derivante dalle immagini acquisite), decimazione delle nuvole, registrazione delle scansioni nel sistema di inquadramento, ed estrazione di sezioni. In tabella 3 sono indicati i residui (RMSE totale) della georeferenziazione delle nuvole di punti nel sistema di inquadramento. I risultati ottenuti dall'operazione automatica sono congrui con le precisioni strumentali e le tolleranze del rilievo metrico.

Posizione di scansione	N° marker acquisiti	RMSE totale (m)
Scanpos 1	22	0.005
Scanpos 2	16	0.009
Scanpos 3	11	0.006
Scanpos 4	16	0.009
Scanpos 5	14	0.009
Scanpos 6	11	0.008
Scanpos 7	16	0.009
Scanpos 8	9	0.010

Tabella 3. Numero di marker utilizzati per la georeferenziazione e residui sui punti.

Tutti i dati LiDAR sono stati trattati con il software *Riegl Riscan Pro*. Nella successiva figura 5 si riporta il modello completo della Cappella in esame e un particolare della cupola interna.

Figura 5. Modello 3D della Cappella (sx). Particolare della cupola interna (dx)

Rilievo di dettaglio
L'acquisizione dei punti necessari a definire le linee di piante, sezioni, prospetti, punti di appoggio per le operazioni fotogrammetriche e dei *marker* utilizzati per l'orientamento e la registrazione delle scansioni Laser è stata eseguita con tecnica celerimetrica utilizzando anche in questo caso la

stazione totale *Leica Smart Station*. La stazione e gli orientamenti sono stati eseguiti su punti coincidenti con i vertici della rete di inquadramento per cui nessuna operazione di raffittimento si è resa necessaria. I punti rilevati sono stati integrati da misure dirette e da interpretazioni svolte sul posto in modo da consentire la realizzazione degli elaborati grafici.
Per l'estrazione e la conseguente rappresentazione di piante prospetti e sezioni ricavati dall'integrazione dei dati Laser, celerimetrici e di quel rilevati con tecniche dirette è stato utilizzato il software AutoCAD. In figura 5 sono riportati alcuni elaborati grafici prodotti.

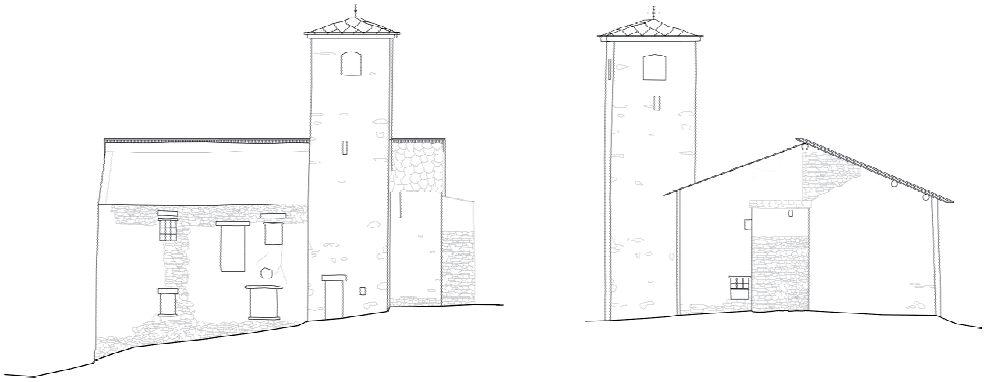

Figura 6. Prospetto sud (sx) e prospetto est (dx). Scala nominale 1/50.

Il processo fotogrammetrico e la realizzazione delle ortofoto di precisione
Per completare l'applicazione sulle possibili tecniche di rilievo su un manufatto architettonico, ed in modo particolare per poter realizzare dei prodotti metrici utili all'analisi dello stato fessurativo e del degrado superficiale, sulla cappella in borgata Comba sono state progettate e realizzate delle riprese fotogrammetriche sui quattro fronti principali e nella parte interna della stessa.
Per l'acquisizione delle immagini è stata utilizzata una camera digitale CANON EOS 5D MarkII (21.1 Mpixel) con obiettivo calibrato (focale = 24 mm). Per la completa acquisizione stereoscopica della cappella, sono state acquisite 6 strisciate di immagini con distanze medie di presa pari a 10 m per i fronti esterni e 3.5 m per l'interno e ricoprimento longitudinale del 60-80% in modo da disporre di tutte le informazioni cromatiche necessarie per la descrizione della superficie dell'oggetto.

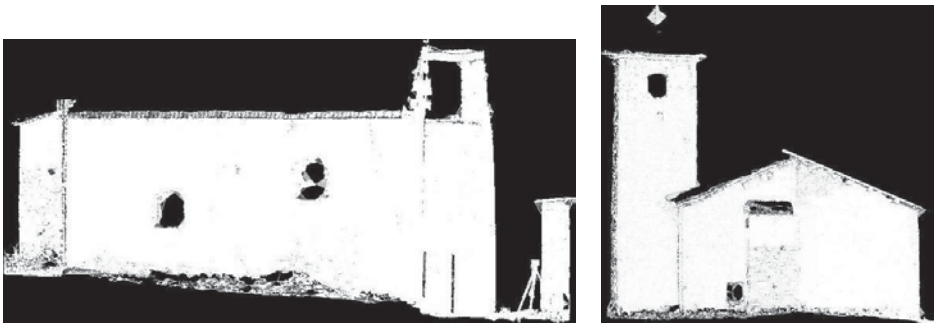

Figura 7. DDSM prospetto nord (sx) e prospetto est (dx)

L'elaborazione fotogrammetrica delle immagini è avvenuta con il software ZMap della Menci. L'orientamento è stato eseguito utilizzando come punti di appoggio sia i marker (posizionati sulla fabbrica per la registrazione delle scansioni laser) sia punti naturali facilmente riconoscibili sulle immagini. I residui sui punti d'appoggio rispettano le tolleranze metriche fissate in fase di progetto.

I fotogrammi orientati sono stati utilizzati per la realizzazione di ortofoto di precisione *(true orthophoto)*. Come noto, per eseguire tale processo è necessario un modello digitale denso dell'oggetto ripreso (DDSM). Nel caso in oggetto il DDSM è stato ricavato attraverso i dati LiDAR acquisiti. Il passo con il quale sono stati prodotti i DDSM dei fronti esterni e degli interni è di 2 cm (Figura 7). Le ortofoto di precisione prodotte (Figura 8) costituiscono uno strumento funzionale per la mappatura dei degradi e l'analisi metrica dello stato fessurativo dei vari elementi strutturali.

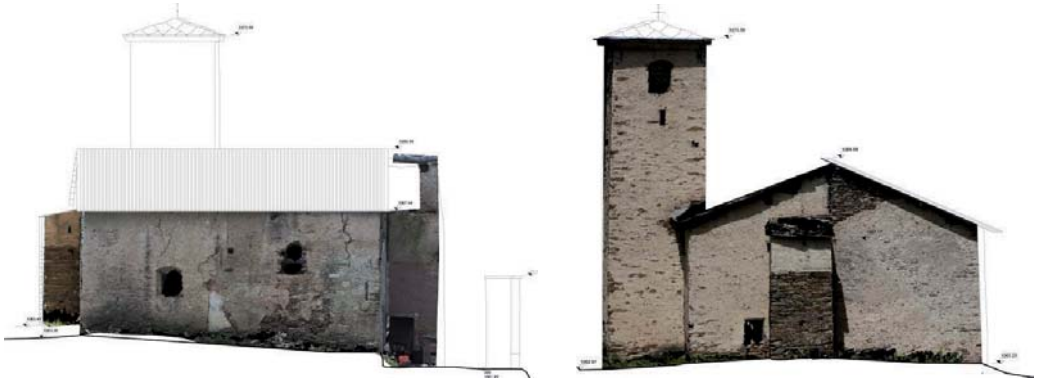

Figura 8. Ortofoto di precisione del fronte nord (sx) e del fronte est (dx). Scala nominale 1/50.

Conclusioni

Nel presente contributo è presentata una possibile integrazione tra le tecniche di rilievo metrico tradizionali dei beni architettonici e tecniche innovative quali il LiDAR e la fotogrammetria digitale.

Un corretto utilizzo delle tecniche applicate al caso della cappella di San Bernardo Abate in borgata Comba ha portato alla realizzazione degli elaborati grafici necessari per il progetto di restauro. Dall'articolo si evince che una corretta integrazione tra tecnica LiDAR, fotogrammetria digitale e rilievo tradizionale consente di sviluppare un approccio rigoroso al rilievo metrico del manufatto, cardine del processo di conoscenza per il progetto di restauro.

L'esempio dimostra che anche quando vengano richiesti esclusivamente elaborati 2D (piante, prospetti e sezioni) tali tecniche forniscono un apporto essenziale al successo tecnico ed economico dell'intervento.

Bibliografia

G.Paseri (2008), *I nosti post : toponimi dei luoghi di Melle*, Valados Usitanos

F. Chiabrando, F. Nex, D. Piatti; F. Rinaudo (2008) , "Il rilievo metrico della Chiesa della Misericordia di Torino a supporto del cantiere di restauro", *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, pp. 61-82, Vol. 1, ISSN: 1721-971X

J.Riegl,N.Studnicka,A.Ullrich (2003), "Merging and processing of laser scan data and high resolution digital images acquired with a hybrid 3D laser sensor*" CIPA 2003 XIXth International Symposium,* 30 September – 04 October, 2003, Antalya, Turkey

A.Adami, F.Guerra, P.Vernier (2007), "Laser Scanner and architectural accuracy text*", international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, Athens Ottobre 2007, vol. XXXVI-5/C53

L. Peretti, C. Porporato, F. Rinaudo (2006), "La tecnica Lidar e la modellazione 3D di ambienti complessi. Considerazioni operative".In *atti del Convegno Nazionale Sifet le nuove frontiere della rappresentazione 3D*, Taranto.