

Integrazione di dati da laser scanner e fotografia digitale per la modellazione tridimensionale di un manufatto architettonico

Eufemia Tarantino^(a), Grazia Caradonna^(a), Giovanni Abate^(b), Michele Curuni^(b),
Antonio Novelli^(a), Alessandro Capra^(c)

^(a)Politecnico di Bari, via Orabona 4, Bari, 70125, Italy, tel: 080 5963299, fax: 080 5963414,
e-mail: eufemia.tarantino@poliba.it

^(b) Leica Geosystems S.p.A.

^(c)Dipartimento di Ingegneria (DIEF) 'Enzo Ferrari', Università di Modena e Reggio Emilia

Sommario

Le opportunità previste dall'integrazione delle moderne tecniche digitali di rilievo (fotogrammetria terrestre, sistemi attivi tipo laser, immagini satellitari ad alta risoluzione, Lidar, GPS, etc) permettono di ottenere nuovi prodotti non solo dalle attività di rilievo, ma anche nella rappresentazione e nella visualizzazione. Tale integrazione consente di ricostruire virtualmente siti di interesse artistico per documentare e, allo stesso tempo, per fornire uno strumento per l'interpretazione delle dinamiche di trasformazione dei manufatti architettonici.

In questo contributo viene descritta la realizzazione di un modello geometrico tridimensionale fotorealistico del "Casale di Pacciano" (interno ed esterno) sito a 4 km da Bisceglie, in Puglia. Per il rilievo è stato utilizzato lo scanner Leica P30, dotato di un compensatore biassiale che ne garantisce e corregge la verticalità di ogni singolo punto battuto per tutta la durata della scansione alla velocità di acquisizione di un milione di punti al secondo. I modelli tridimensionali dell'edificio, rispettivamente interno ed esterno, disgiunti e ottenuti da riprese indipendenti sono stati uniti ponendo i due modelli in un unico sistema di riferimento. Pur non essendo state utilizzate mire specifiche topografiche, poiché le riprese sono unite con il metodo automatico cloud to cloud, sono stati individuati punti omologhi misurati con ricevitori GNSS per la verifica finale del corretto allineamento dei due modelli.

Abstract

The opportunities offered by integrating modern digital techniques (Earth photogrammetry, laser active systems, high resolution satellite images, Lidar, GPS, etc) allow to get new products not only from survey, but also for representation and visualization aims. This integration enables rebuilding virtually sites of artistic interest in order to document and, at the same time, to provide a tool for interpreting the transformation dynamics of architectural artefacts.

This work describes the realization of a three-dimensional photorealistic geometry of the "Casale di Pacciano" (internal and external) located near Bisceglie, in Apuglia region. For the survey, the Leica P30 scanner was equipped with a biaxial equalizer to guarantee and correcte the verticality of

each identified point for the scan duration at the acquisition speed of one million points per second. The three-dimensional models of the building, both internal and external, separated and obtained from independent shoots were combined by placing the two models in a single reference system. Although topographic specifications were not used since the shooting is combined with the cloud-to-cloud automatic method, homologous points measured with GNSS receivers were identified for the final verification of the correct alignment of the two models.

1. Introduzione

Negli ultimi anni, la conservazione dei Beni Culturali attraverso la ricostruzione di modelli tridimensionali fotorealistici, per i fini più diversi (conservazione del patrimonio artistico-storico, divulgazione e fruizione etc) ha assunto sempre più importanza (Miri and Varshosaz 2005, Campana, Sordini et al. 2008). Per modellazione tridimensionale si intende quel processo che, partendo dall'acquisizione del dato metrico, giunge alla produzione di un modello virtuale in tre dimensioni visibile in modo interattivo su un computer (Peloso 2005).

Nel campo della Geomatica, sempre più sono le metodologie e le tecniche per la rilevazione, documentazione e conservazione di beni architettonici (Remondino and Rizzi 2010).

Le tecniche più utilizzate per i rilievi digitali si basano su immagini (image-based imaging) e su sensori attivi di tipo laser (range-based modelling) (Remondino 2011) che acquisiscono direttamente l'informazione 3D attraverso diversi principi di misura (triangolazione, tempo di volo, modulazione di frequenza, etc.).

Le esperienze e i lavori che, nel corso degli anni hanno provato a confrontare le tecniche image-based e range-based, hanno condotto alla conclusione che, la scelta della tecnica di modellazione 3D più appropriata è in molti casi limitata dall'economia e dai vincoli temporali e logistici del rilievo. Infatti è ormai dimostrato che i sensori attivi, come per esempio gli strumenti laser, sono in grado di produrre direttamente DSM molto densi, adattandosi così a condizioni di studio diverse. Tuttavia questi strumenti risultano essere ancora troppo costosi e non facilmente trasportabili. Inoltre le immagini digitali sono comunque necessarie per l'acquisizione della texture dell'oggetto e quindi spesso risulta più economico, speditivo e conveniente produrre modelli tridimensionali attraverso tecniche fotogrammetriche. Spesso le modellazioni 3D ottenute con tecniche laser vengono utilizzate come modelli di verifica del risultato ottenuto con tecniche fotogrammetriche (Bitelli, Girelli et al. 2007). Ammesso che le condizioni al contorno siano state valutate con estrema precisione ed affidabilità e riducendo al minimo gli errori accidentali e grossolani legati allo strumento e all'operatore, si è riscontrato che spesso i

risultati ottenuti con le due tecniche di modellazione, risultano essere paragonabili (Remondino 2007). Quindi un metodo può essere considerato migliore dell'altro caso per caso in funzione della qualità delle condizioni operative.

Obiettivo di questo lavoro è stato il confronto di due modelli geometrici 3D ottenuti con tecniche image-based e range-based. L'area di studio è il "Casale di Pacciano", sito a 4 km da Bisceglie, in Puglia.

Per acquisire le immagini per la fotomodellazione è stata utilizzata una DLR Canon EOS 600D, con un obiettivo Canon 18-135 mm ad alta risoluzione spettrale e metrica, la cui peculiarità risulta essere quella di avere integrato un ricevitore GPS che allega al file EXIF di ogni immagine la posizione nel momento dello scatto. Mentre per il rilievo con laser scanner si è scelto lo scanner Leica Geosystems P30 dotato di un compensatore biassiale che ne garantisce e corregge la verticalità di ogni singolo punto battuto per tutta la durata della scansione alla velocità di acquisizione di un milione di punti al secondo.

I modelli tridimensionali dell'edificio disgiunti e ottenuti da riprese indipendenti sono stati uniti ponendo i due modelli in un unico sistema di riferimento. Inoltre, non essendo presenti numerosi targets in comune per le stazioni realizzate, è stato necessario ricorrere ad un rilievo topografico tradizionale d'appoggio eseguito con ricevitori GNSS, per la verifica finale del corretto allineamento dei due modelli.

2. Caso di Studio: Il Casale di Pacciano

Il Casale, situato sulla via Bisceglie-Corato a 4km dal centro abitato di Bisceglie (Figura 1) è uno dei 17 casali con rilevanza storica recuperati e tutelati dall'amministrazione comunale dell'agro biscegliese. Fondato intorno all'VIII secolo d.c., si hanno le sue prime tracce scritte, come Papianus super Trane, in un diploma di concessione del 789 d.c. in cui si fa riferimento ad alcune case rurali appartenenti a dei servi palatini, e ad alcune proprietà concesse al monastero beneventino di Santa Sofia.

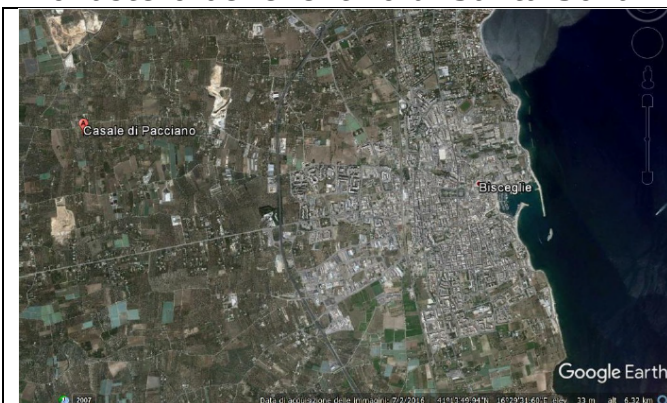


Figura 1- Localizzazione del sito da Google Earth

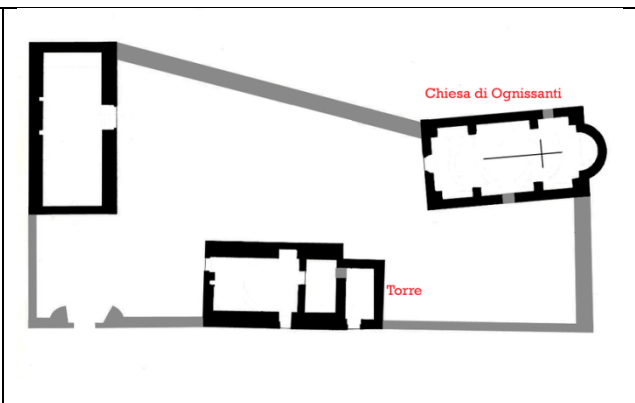


Figura 2 - Planimetria Casale di Pacciano

Del Casale ci rimangono solo due corpi di fabbrica, con torre annessa e due chiese, rispettivamente la Chiesa di Ognissanti e la Chiesa di Sant'Angelo, come si evince dalla planimetria (Figura 2).

La Chiesa di Ognissanti, risalente all'XI secolo, rappresenta un piccolo tesoro di architettura preromanica (Figura 3). La sua costruzione risale forse agli inizi del 1000 d.c. per via della sua somiglianza con altre strutture di epoca non superiore alla seconda metà dell'XI secolo. L'intero edificio è ad unica navata, voltata a botte con cupola sferica in asse, con transetti accennati solo da due nicchie laterali tipico di edifici a croce contratta, e un'abside sporgente semicircolare. Altre quattro nicchie con arco a tutto sesto precedono e seguono la parte centrale, contraddistinte da una volta più bassa rispetto a quest'ultima. Gli interventi di restauro hanno portato alla luce, oltre alla necropoli medioevale adiacente alla chiesa, il suo l'aspetto originario, recuperando il tetto a "chiancarelle sovrapposte" (a piramide a base quadrata sulla cupola, e a cono sull'abside), e i trafori che decorano il tetto a piramide centrale. Le dimensioni complessive, austere e slanciate (la struttura è alta nella parte centrale 9 metri), le conferiscono un aspetto a cattedrale unico, per una chiesa casalina.

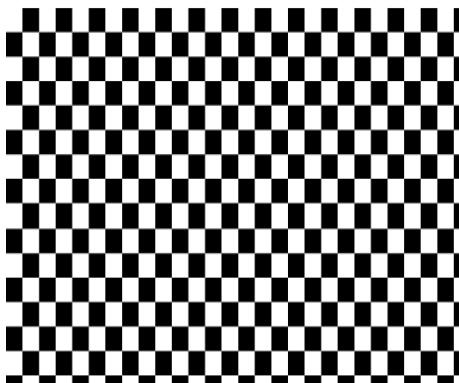


Figura 3- Chiesa di Ognissanti prima e dopo il restauro

3. Image-based modeling

Le operazioni di rilievo fotogrammetrico sono state realizzate in due differenti fasi. Nella prima fase sono state eseguite delle prese convergenti attorno alla chiesa di Ognissanti, nella seconda sono state effettuate delle prese dall'alto.

Le prese convergenti sono state realizzate con una camera digitale Canon EOS 600D, dotata di una focale 18-135mm; la distanza di presa è stata di circa 1 metro e sono state eseguite 207 prese di cui solo 186 sono state ritenute idonee per la fotomodellazione. La fotocamera è stata pre-calibrata nel laboratorio di Geomatica mediante il software Agisoft Photoscan Lens (Figura 4). Per la calibrazione della camera sono stati caricati 14 scatti da 5184x3456 della griglia ad una lunghezza focale di 18 mm, i di cui risultati sono riassunti nella Tabella 1 e rappresentati nelle immagini 5 e 6.



Parametri	Valore	Errore
Image width	5184	
Image height	3456	
Focal length	4181.99	250.241
Principal Point (x)	77,7046	1,78233
Principal Point (y)	-5,39083	2,94028
Affinity B1	-1,0671	0,171799
Skew B2	-0,36416	0,139898
Radial K1	-0,197807	0,00305526
Radial K2	0,223192	0,0167714
Radial K3	-0,396491	0,0526821
Radial K4	0,495099	0,00355765
Tangential P1	0,000561162	6,06E-05
Tangential P2	0,000553874	0,00010234

Figura 4 Griglia in Agisoft Photoscan Lens

Tabella 1 Risultato della calibrazione

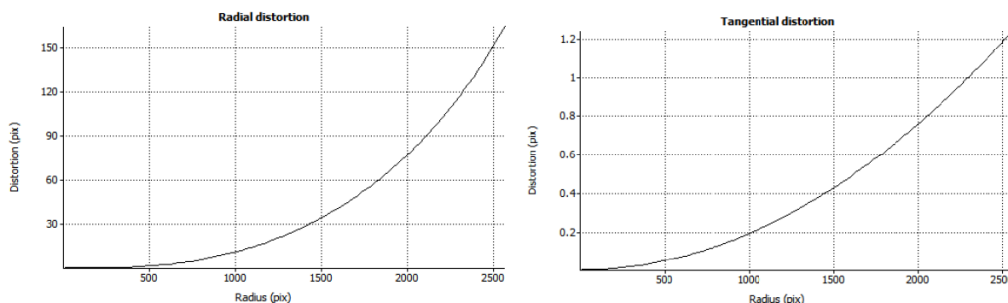


Figura 5 - Risultati Calibrazione

La direzione e l'entità della deformazione possono essere identificati confrontando la posizione degli spigoli della griglia effettiva con quelli individuati nel fotogramma. Il flusso di lavoro è completamente automatico sia per quanto riguarda l'orientamento delle immagini sia per la generazione e ricostruzione del modello. Il modello generato può essere esportato per essere gestito ed eventualmente trattato con software esterni. Le fasi dell'elaborazione sono state le seguenti (Figura 6-7-8-9):

- Align photos
- Build Dense Cloud;
- Build mesh;
- Build texture.

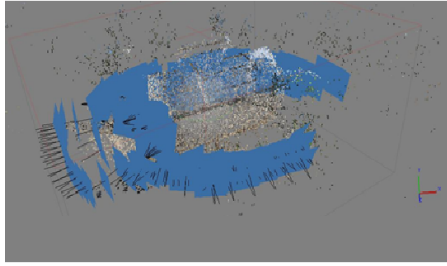


Figura 6- Align Photos

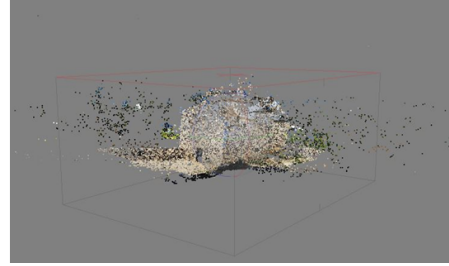


Figura 7 - Build Dense Cloud

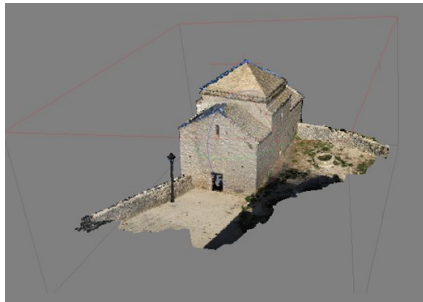


Figura 8- Build Mesh



Figura 9- Build Texture

4. Laser scanning modeling

Il rilievo con tecnologia Laser scanner, consente di rilevare, come ben noto, le coordinate tridimensionali di un numero elevatissimo di punti, con elevata risoluzione e precisione. Il rilievo è stato eseguito con Laser Scanner P30 distribuito dalla Leica Geosystems, scanner di ultima generazione con una velocità di scansione intorno ai 1000000 punti/s e una precisione dell'ordine di 1.2 mm. Il rilievo, studiato e pianificato in laboratorio, ha previsto il posizionamento di 11 stazioni e l'utilizzo di un target. Per la verifica del corretto posizionamento è stato necessario un rilievo topografico tradizionale eseguito con ricevitori GNSS Leica GS 14. La fase di restituzione ed elaborazione ha previsto (principalmente utilizzando il software dedicato Cyclone™ v.9.2), inizialmente la registrazione e l'allineamento delle varie scansioni (mediante l'algoritmo ICP), successivamente lo sfoltimento dei dati grezzi al fine di ottenere un'unica nuvola di punti rappresentativa della struttura ed infine un processo di filtraggio (Figura 10). Lo s.q.m. di registrazione ottenuto sulla quasi totalità delle constraints prodotte sui punti doppi riconosciuti è stimato intorno allo 0,01 m. A partire dalla nuvola di punti è stato generato un modello di superfici, attraverso i tools dedicati di Cyclone ed infine è stata eseguita una fase di mesh (Figura 11) al fine di ottenere un modello fotorealistico.

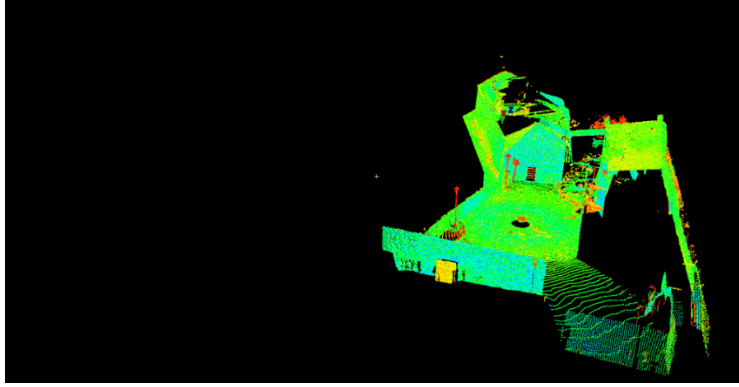


Figura 10 Nuvola di punti ottenuta dopo il filtraggio

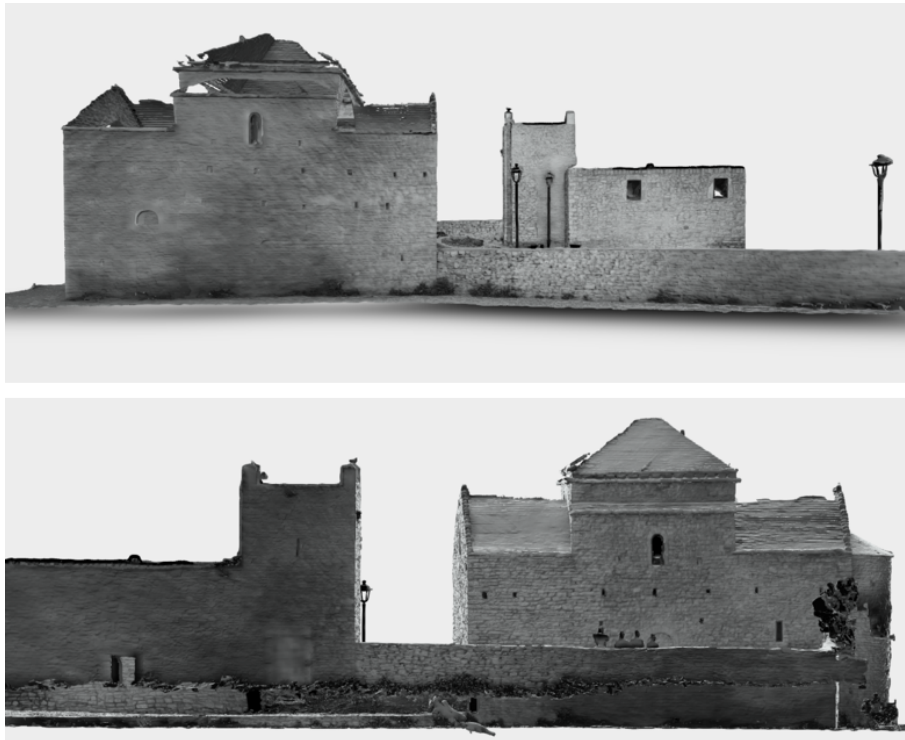


Figura 11 Modello 3D

5. Confronto tra i modelli 3D ottenuti con le due diverse tecnologie

Per valutare i modelli 3D ottenuti con i due approcci è stato necessario un confronto dei risultati dal punto di vista qualitativo e quantitativo. Da una prima analisi visiva, sembra che la scansione laser sia più adatta alla ricostruzione di piccoli particolari. Tuttavia la modellazione fotogrammetrica 3D, se studiata e pianificata ed eseguita con algoritmi ad-hoc (Remondino and Zhang 2006), è in grado di riprodurre oggetti con un grado di accuratezza paragonabile o quasi a quello fornito dal laser scanner. Per eseguire un confronto quantitativo tra i due modelli realizzati, è stato eseguito un allineamento globale dei due DSM all'interno del software CloudCompare e sono state analizzate le discrepanze calcolando i residui statistici che risultano essere dell'ordine di qualche mm in facciata principale. Per rendere più robusto il confronto si è provveduto anche all'analisi del parametro di correlazione FOM

(FIGURES OF MERIT). Vengono riportati nella tabella 2 i risultati del confronto e i valori medi e la percentuale dei punti che presentano una mancata correlazione (FOM<33).

Sovrapp. Immagini (%)	FOM	
	Media	% <33
40	62,85	8,7
45	79,22	12,4
50	78,62	15,8
55	79,83	9,55
60	77,75	12,5
65	82,42	11,58
70	86,44	15,8
75	82,11	7,55
80	84,69	13,74
85	85,82	8,41
90	87,59	9,26
95	88,33	4,78

Tabella 2 Valori medi e percentuali che presentano FOM minore di 33 per le immagini

Dalla tabella si evince che, all'aumentare della percentuale di sovrapposizione tra le immagini si ha un decremento del FOM. Al diminuire della sovrapposizione aumenta la precisione teorica in base alla relazione che lega la base di presa e la distanza, ma aumentano le zone d'ombra che portano ad un peggior risultato se confrontato con i dati laser scanning.

6. Conclusioni

I beni culturali oggi possono beneficiare di un numero sempre crescente di tecniche geomatiche per l'acquisizione e la divulgazione dei dati. Questo studio ha dimostrato che entrambi gli approcci rappresentano due ottime alternative capaci di fornire risultati confrontabili dipendenti soprattutto, nel caso di tecniche fotogrammetriche dalla minuzia e criterio con cui si progetta e si esegue il rilievo. Nuove ricerche saranno rivolte alla sperimentazione di strumenti di acquisizione sempre più economici (es. smartphones per la fotogrammetria terrestre), di archiviazione open source e di visualizzazione via web.

Riferimenti bibliografici

Bitelli, G., et al. (2007). "The potential of 3d techniques for cultural heritage object documentation." Videometrics IX 6491: 1-8.

Campana, S., et al. (2008). Integration of geomatics techniques for the digital documentation of heritage areas. EARSEL workshop Advances in Remote Sensing in the Archaeology and the management of Cultural Heritage, Rome, Italy.

Miri, M. and M. Varshosaz (2005). "Standardization of geomatics applications in cultural heritage." Map Middle East: 1-9.

Peloso, D. (2005). "Tecniche laser scanner per il rilievo dei beni culturali." Archeologia e calcolatori(XVI): 199-224.

Remondino, F. (2007). Detailed image-based 3D geometric reconstruction of heritage objects. Trinational Conference of SGPBF, DGPF, OVG (Muttentz, Switzerland, 2007).

Remondino, F. (2011). "Rilievo e modellazione 3D di siti e architetture complesse." Disegnarecon **4**(8): 90-98.

Remondino, F. and A. Rizzi (2010). "Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites—techniques, problems, and examples." Applied Geomatics **2**(3): 85-100.

Remondino, F. and L. Zhang (2006). Surface reconstruction algorithms for detailed close-range object modeling. Proceedings of ISPRS Commission III Symposium.

