

APPLICAZIONE DI FOTOGRAMMETRIA PANORAMICA PER IL RILIEVO DELLA CHIESA DI SAN CATALDO A PALERMO

Valentina ARMETTA (*), Donatella DOMINICI (**), Gabriele FANGI (***)

(*), Dirap, Università degli Studi di Palermo, valentina.armetta@unipa.it;

(**) Dau, Facoltà di Ingegneria de L'Aquila, dominici@dau.ing.univaq.it;

(***) Dardus, Facoltà di Ingegneria - Università Politecnica delle Marche, g.fangi@univpm.it.

Keywords: Fotogrammetria panoramica, orientamento, laser scanner.

Riassunto

Con la tecnica dei panorami sferici (Fangi, 2007, 4) è stato effettuato il rilievo geometrico della chiesa di san Cataldo a Palermo. Nell'interno si è anche proceduto alle scansioni laser. L'orientamento dei panorami è avvenuto secondo due modalità distinte, per l'interno è stata osservata con stazione totale una rete di punti di appoggio, che ha consentito una compensazione di blocco della rete di appoggio, per l'esterno invece l'orientamento è avvenuto tramite l'algoritmo della complanarità. Scelta una coppia base di panorami, ne è stato effettuato l'orientamento relativo, e con le coordinate modello sono stati orientati tutti gli altri panorami esterni. Per avere un dimensionamento di massima ed un orientamento nel sistema Utm, sono state utilizzate le coordinate UTM di alcuni punti prese da Google-Earth ad alta risoluzione. La scarsa precisione di queste ultime produce al più un difetto di scala del modello. In entrambi i tipi di orientamento i valori finali dei parametri di orientamenti sono ottenuti con una compensazione di blocco a fasci proiettivi. Il pregio principale della fotogrammetria panoramica sta nella sua velocità e completezza di presa e nella sua economicità.

Abstract

With the technique of the spherical panoramas (Fangi, 2007, 4) the geometric survey of the church of saint Cataldo in Palermo have been carried out. The interior has been scanned also by laser. The orientation of the panoramas has happened following two distinguished modalities, for the interior a net of control points has been observed with a station total, then a block adjustment been performed, for the exterior instead the orientation has happened by means of the algorithm of the relative orientation by coplanarity. For a dimensioning and the orientation in the Utm system, the UTM coordinates of some points taken from Google-Earth to high resolution have been used. In both type of orientation, the final values of the orientation parameters are got fro a bundle adjustment procedure. The insufficient precision of the UTM coordinates produces a defect of scale of the model only. The main advantage of the panoramic photogrammetry it in its speed of the tacking phase and in its inexpensiveness.

Introduzione – Cenni storici

La chiesa di San Cataldo con il suo chiaro blocco stereometrico, si erge accanto alla chiesa di Santa Maria dell'Ammiraglio o Martorana in posizione sopraelevata rispetto al piano stradale di piazza Bellini. La chiesa fu costruita poco dopo il 1154 sulle vecchie mura della città da Majone da Bari, Gran Ammiraglio alla corte di Guglielmo I come cappella di un sontuoso palazzo oggi scomparso. La cappella fu concessa dal re al successivo regio ammiraglio Silvestro di Marsico che vi seppellì la figlia, come risulta da una lapide sepolcrale attualmente conservata al suo interno. Nel 1182 il re Guglielmo II cedette la cappella ed il palazzo ai Benedettini di Monreale che vi rimasero fino a

quando tutto l'edificio, nel 1787, fu trasformato in ufficio postale. Solo grazie ai restauri del 1882 del Patricolo la cappella venne restituita all'antica configurazione, eliminando le costruzioni postume.

La costruzione, tipico prodotto delle maestranze di cultura fatimita a servizio di committenti cristiani, si presenta come un blocco parallelepipedo dal quale emerge solamente l'abside principale mentre le minori sono ricavate nello spessore murario. Il paramento murario esterno, in nitidi conci di arenaria, è variato in superficie dal motivo delle arcate cieche con ghiere e definito in alto da un elegante cimasa. Le tre alte cupolette rosse a sesto rialzato insistono sulle tre campate della navata centrale, più alta delle due navate laterali. L'interno, assai suggestivo nella sua nudità, nonostante abbia pianta rettangolare, possiede uno spazio centralizzante per la presenza di quattro colonne, con capitelli di reimpiego, che definiscono tre serie di campate nelle quali si concretizza l'iterazione dell'elemento cubico cupolato. Piccole nicchie poste agli angoli del tamburo quadrato mediano il passaggio al cerchio di base delle cupolette costruite con piccoli conci di tufo. Le due navate laterali hanno campate rettangolari coperte da volte a crociera. Originali sono anche il pavimento a tarsie con motivi aniconici in marmi policromi e porfido ed un altare in marmo in cui sono incisi una croce ed i simboli degli evangelisti.

La chiesa capitolare di San Cataldo, dal 1937, appartiene all'Ordine Equestre dei Cavalieri del Santo Sepolcro di Gerusalemme.

I panorami sferici

Per una esauriente trattazione della teoria si veda (Fangi, 2007, 4). I panorami multi-immagine vengono ottenuti fotografando a 360° con una fotocamera digitale con buona sovrapposizione da uno stesso punto di presa. Con appositi software di “Stitching” le immagini vengono proiettate su una sfera di raggio pari alla focale della camera. La sfera viene quindi mappata su un piano. Ci sono diversi tipi di proiezione, la cilindrica, la sferica e la piana. Vengono utilizzate in questo caso solamente proiezioni sferiche cosiddette “azimutale-zenitale”. Dalle coordinate immagine del panorama si ricavano gli angoli orizzontale e verticale che si sarebbero misurati con un teodolite il cui centro coincidesse con il centro del panorama. Occorre però stimare due angoli di correzione degli assi orizzontali per rendere l'asse principale della sfera verticale. I parametri di orientamento di un panorama sono dunque sei, le tre coordinate del centro di presa e tre angoli di assetto degli assi di questa. Una volta effettuato l'orientamento dei panorami, le coordinate terreno dei punti oggetto si ottengono per intersezione di rette proiettive. È possibile orientare relativamente un panorama rispetto ad un altro tramite l'imposizione delle condizioni di complanarità, con un procedimento del tutto simile a quello che era stato definito “poligonale cieca” (Fangi, 5, 1998). In questo modo si possono ottenere coordinate modello dei punti oggetto, senza avere nessuna informazione metrica preventiva dell'oggetto stesso. (Fig. 1)



Figura 1 – Un panorama esterno della Chiesa

Il rilievo

La chiesa di San Cataldo possiede tutt'oggi una notevole valenza architettonica, da qui si può comprendere l'utilità di raggiungere un elevato livello di dettaglio soprattutto per quanto concerne la copertura. La metodologia usata per il rilievo dell'involucro architettonico ha visto l'integrazione della fotogrammetria panoramica e del rilievo strumentale tridimensionale tramite laser scanner.

Ambedue le applicazioni hanno permesso infatti, in tempi significativamente più veloci, di ricreare lo stato di fatto dell'esistente.

La campagna di rilievo si è effettuata in step di lavoro successivi. Nella prima fase di lavoro si sono realizzati sei panorami sferici con l'ausilio di una camera a dorso digitale reflex Canon EOS-1Ds Mark II dotata di un sensore CMOS a pieno formato da 16.7 megapixel effettivi. Ogni panorama è composto da 80 fotogrammi aventi una dimensione di circa 6 megapixel scattati con la fotocamera con obiettivo 52 mm equivalente di focale. Il software utilizzato per la formazione del panorama è *Ptgui Pro 7* e la larghezza di ogni singolo panorama è stata limitata a 15.000 pixel. Inizialmente per orientare i panorami sono state utilizzate le coordinate di alcuni punti d'appoggio determinate con una total station. Inoltre, si è scelto di orientare il modello secondo le direzioni principali dell'edificio.

Al fine di rendere completa la restituzione di punti non facilmente osservabili nei sei panorami realizzati è risultato necessario effettuare una seconda campagna fotografica. A tal proposito per velocizzare le fasi di presa si sono eseguiti altri sei panorami sferici con l'ausilio di una camera digitale Nikon Coolpix L2 dotata di un sensore a pieno formato da 6 megapixel effettivi. In questo caso ogni panorama è composto da circa 45 fotogrammi con dimensione di 2-3 megapixel scattati con la fotocamera avente come obiettivo 30 mm equivalente di focale. Anche in questo caso la larghezza di ogni singolo panorama è di 15.000 pixel.

Contestualmente alla realizzazione dei panorami sferici utili per la restituzione dell'interno sono stati eseguiti undici panorami dell'esterno effettuati a due differenti quote altimetriche, una al livello stradale della piazza ed una al livello del piano di costruzione della chiesa. Anche queste prese si sono realizzate con la Nikon Coolpix L2 ed i panorami aventi larghezza di 20.000 pixel sono composti da circa 35 fotogrammi. In questo caso sono state prese poche misure con una fettuccia metrica. (Fig. 2)



Figura 2 – Un panorama centrale interno della Chiesa

Anche per l'esterno si è reso necessario effettuare altri panorami in modo che risultassero maggiormente visibili alcuni elementi architettonici della copertura. Nello specifico se ne sono realizzati altri sei aventi le stesse caratteristiche dei precedenti.

Al fine di avere un maggiore dettaglio della copertura, caratteristica predominante di questa architettura, si è scelto di integrare la restituzione del sistema monoscopico multi-immagine con il rilievo laser scanner. Si è utilizzato il laser scanner long-range Trimble GS200 capace di fornire una nuvola di punti 3D rapidamente (circa 5000 punti/secondo) con alta precisione (accuratezza di circa 1,5 mm) e relativamente alla scala del monumento (nello specifico, campi di presa fino variabile dagli 8 ai 10 m). Si sono eseguite 13 scansioni per un totale di oltre 13 milioni di punti rilevati attraverso l'esecuzione di una maglia 0,5 x 0,5 cm. All'interno della chiesa si sono posizionati tre appositi targets, le cui coordinate si sono ricavate con una total station orientando il modello nello stesso sistema di riferimento creato per la restituzione monoscopica. Con l'ausilio del software *Pointscape 3.0* si è effettuata la registrazione delle singole scansioni e successivamente si sono esportati i files originari .ppf (pointscape project files) in files .neu (neutral files) per una successiva elaborazione con il software per la modellazione tridimensionale *Rapidform ver. 2004*.

La restituzione

Rete dei punti d'appoggio (interno)

Per l'interno si è realizzata una rete di punti di appoggio segnalizzati, e rilevati con stazione totale. Il sistema di riferimento adottato è parallelo alle direzioni principali dell'edificio.

Orientamento esterno:

-La formazione del modello

È stata scelta una coppia di panorami formata dai panorami n1 e n 2, (Fig. 3).

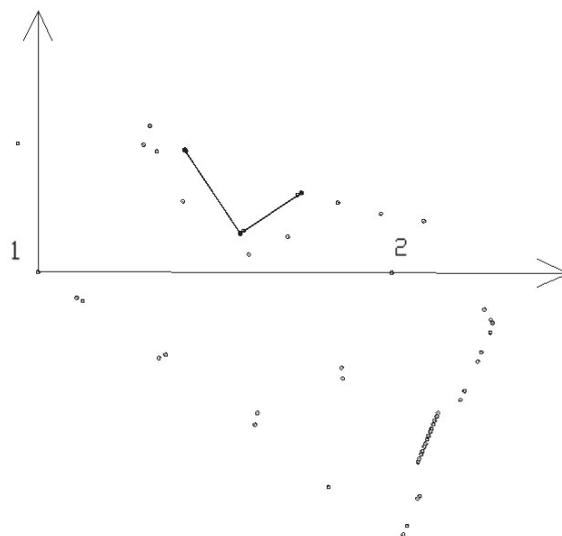


Figura 3 - La Coppia 1 e 2 base dei panorami scelti per la formazione del modello e i punti di legame

-Il Modello dopo la rototraslazione in UTM con le coordinate UTM di alcuni punti forniti da Google Earth ad alta risoluzione.

Infine è stata effettuata una compensazione di blocco di tutte le osservazioni, fissando due punti e imponendo alcune condizioni di vincolo, relative all'orizzontalità e alla verticalità di alcune rette.

La restituzione da un solo panorama (monoplotting)

È possibile restituire da un solo panorama un oggetto purché esso giaccia su una superficie piana (*monoplotting*). Così si può facilmente restituire la tessitura muraria, oppure un disegno complesso, altrimenti non restituibile in monoscopia. Prendiamo ad esempio il fronte dell'altare. Si individua il piano con almeno tre punti (meglio 4) non allineati.



Figura 4 – Dettaglio del profilo restituito

Si sceglie il panorama più frontale rispetto al piano e si restituiscono i punti di una figura (l'aquila di destra in questo caso). (Fig. 4)

La restituzione avviene con un apposito modulo del pacchetto *SPhERA*. Le coordinate vengono calcolate per intersezione del piano con la retta proiettiva. (Fig. 5)



Figura 5 – Dettaglio della decorazione dell'altare - Restituzione monoplotting

I Vincoli di verticalità e di orizzontalità

Se due punti giacciono sulla stessa retta verticale (orizzontale) è possibile imporre la condizione di verticalità (orizzontalità) della retta (Fig. 6). Viene migliorata la qualità della restituzione, non solo, ma anche, è possibile effettuare la compensazione di blocco a minimi vincoli fissando due punti in planimetria, un punto quota e con vincolo di verticalità (orizzontalità). (Fig. 7)

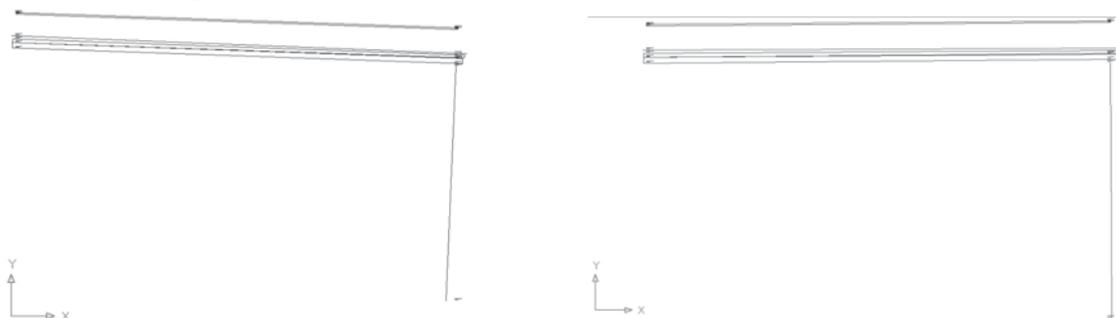


Figura 6 - Un dettaglio dello spigolo della chiesa: a sinistra senza vincoli, a destra con vincoli. È evidente la differenza.

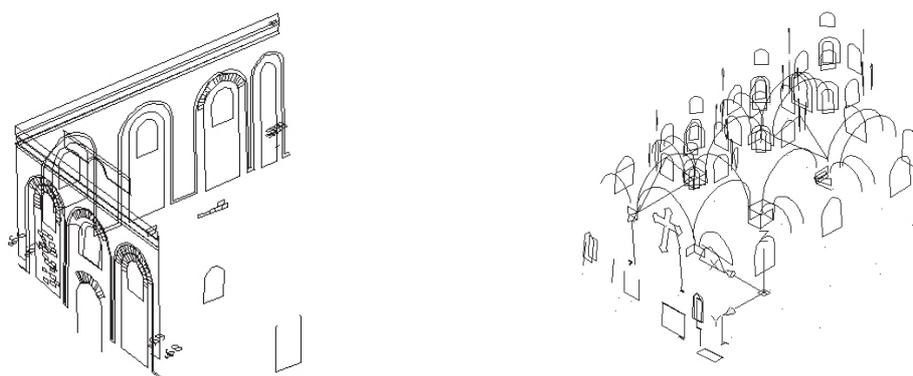


Figura 7 – Viste assometriche delle minute di restituzione dell'esterno e dell'interno

Il rilievo Laser - L'elaborazione

L'elaborazione delle nuvole di punti è avvenuta con il software *Rapidform*. Con tale programma è avvenuta la registrazione delle viste sfruttando almeno tre punti omologhi (x,y,z) tra due viste; i punti omologhi vengono materializzati con targets riflettenti di cui il software può farne il riconoscimento automatico. Per facilitare le operazioni di calcolo, al termine delle operazioni di registrazione, si è preferito lavorare con un numero ridotto di scansioni delle quali si sono realizzati

dei merge, operazione con la quale si convertono le differenti viste in un'unica nuvola di punti e si realizzano le compensazioni che minimizzano la deviazione principale. Su questi singoli modelli si sono successivamente effettuate le consuete operazioni di filtraggio dei dati al fine di alleggerire la mole di dati in maniera intelligente. Le principali operazioni di filtraggio applicate sono: il *filter noise*: pulizia dal rumore, ovvero la rimozione di punti detti outliers (punti sparsi ed in posizione errata); il *filter redundancy*: rimozione dei punti che si sovrappongono, cioè tutti quei punti che sono ad una distanza inferiore alla media di tutte le mutue distanze tra i punti; ed infine, lo *smooth points*: riduzione della rugosità superficiale senza ridurre il numero di punti. I singoli modelli così ottenuti sono stati registrati in un unico modello composto da circa 5 milioni di punti. (Fig.8)

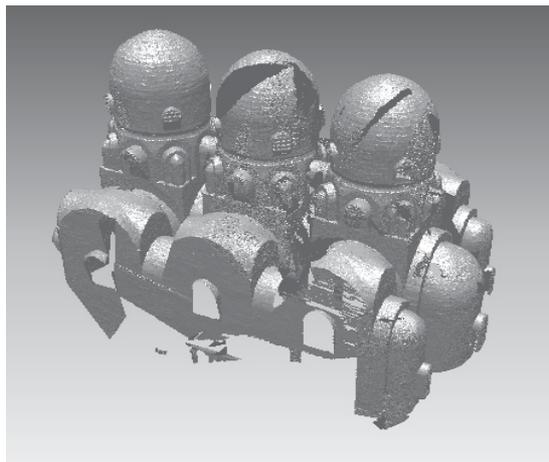


Figura 8 – Vista assonometrica della nuvola di punti

L'editing

In seguito alle operazioni di triangolazione, di filtraggio e di sistemazione dei buchi (chiusura delle mancanze tenendo conto della curvatura degli edge che lo delimitano) sulla nuvola di punti, la superficie triangolata si presenta molto disordinata. Nella creazione automatica di mesh, soprattutto nel caso di dati non strutturati, ovvero quando non si è eseguita una particolare geometria di scansione, si creano forti errori topologici nella creazione della superficie triangolata. Per regolarizzarla si è costruita una mesh di buona qualità, con triangoli che sono pressoché di uguale dimensione e di forma equilatera.

Conclusioni

Gli autori ritengono che la fotogrammetria panoramica per la sua semplicità, economicità e rapidità di esecuzione, sia uno strumento molto utile per una corretta documentazione metrica dei beni culturali. In un lavoro prossimo verrà effettuato un confronto metrico e qualitativo dei due tipi di restituzione, quella con i panorami e quella con il laser a scansione.

Riferimenti bibliografici

1. Bellafiore G. (1995), *Palermo – Guida della città e dintorni*, Punto Grafica, p.21;
2. Fangi G. (2007), *Una nuova fotogrammetria architettonica con i panorami sferici multi-immagine*, in atti della conferenza nazionale Sifet – 27-29 giugno, Arezzo pp. 41-48;
3. Fangi G. (2007), *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*-XXI International CIPA Symposium, 1-6 October, Atene, ISPRS International Archive – vol. XXXVI-5/C53 – ISSN 1682-1750 – CIPA Archives vol. XXI-2007 ISSN 0256-1840 – pp. 311-316;
4. Fangi G. (2007), *La Fotogrammetria sferica dei mosaici di scena per il rilievo architettonico*, in Bollettino Sifet n. 3, pp. 23-42;
5. Fangi G. (1998), *Poligoni senza misure dirette fra i vertici di stazione*, in Bollettino Sifet n.3, pp. 19-42.