

UN'ESPERIENZA DI RILIEVO FOTOGRAMMETRICO BASATO SU PANORAMI SFERICI

Matteo MASTROIACO (*), Gabriele FANGI(**), Carla NARDINOCCHI (*),
Alberico SONNESSA (*)

(*) Università degli Studi di Roma, DITS carla.nardinocchi@uniroma1.it, alberico.sonnessa@uniroma1.it
**Università Politecnica delle Marche gfangi@univpm.it

Abstract:

Il lavoro presentato è relativo ad un rilievo fotogrammetrico basato sui panorami sferici secondo la metodologia proposta da G. Fangi (*The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*, XXI International CIPA Symposium). Il vantaggio principale nell'impiego dei panorami sferici è la notevole semplificazione del problema fotogrammetrico architettonico in quanto l'immagine panoramica sostituisce numerose prese fotogrammetriche.

La restituzione 3D della Piazza S. Rufo a Rieti è stata realizzata utilizzando cinque panorami sferici orientati per mezzo di 6 punti d'appoggio. La precisione del modello 3D è stata verificata per mezzo di 30 punti di controllo.

Abstract:

The presented work is a photogrammetric survey based on the spherical panoramas according to the methodology proposed by G. Fangi (*The Multi-image Spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey*, XXI International CIPA Symposium). The main advantage in the employment of the spherical panoramas is the remarkable simplification of the architectonic photogrammetric problem since the panoramic image replaces many photogrammetric images. The 3D evaluation of the Public square S. Rufo in Rieti has been realized using five spherical panoramas, oriented by means of 6 control points. The accuracy of the 3D model has been verified by means of 30 check points.

1. Le immagini Panoramiche Sferiche

Un'immagine panoramica è un'immagine ottenuta da una o più foto acquisite dallo stesso punto di vista con la caratteristica di avere un campo fino a 360°. Esistono diverse tecniche per realizzare i panorami. Fra questi quella più interessante è l'impiego di camere digitali dedicate alla produzione di panorami. La procedura di realizzazione del panorama è analoga a quella delle camere analogiche con rotazione della camera in cui la pellicola si muove ad una velocità sincronizzata con quella di rotazione della macchina con la sola differenza che al posto della pellicola (film) viene utilizzato un array lineare di CCD che spazzola la scena a 360°. Esse producono direttamente l'immagine panoramica e sono sempre di elevata risoluzione (immagini costituite da giga-pixel). Quest'ultimo fattore permette di avere un elevato contenuto di informazioni utili per il rilievo.

Una alternativa più economica per produrre il panorama è quella dell'immagine stitching con cui la fusione di singole immagini acquisite dallo stesso punto di presa (Szeliski, 2004). In questo caso è possibile montare la propria camera digitale su una testa rotante che garantisce la coassialità del centro di presa con l'asse dello strumento e la stabilità di tale punto durante le varie acquisizioni. La risoluzione dipende dalla camera e dalla focale che si sta utilizzando. Le dimensioni degli attuali sensori CCD mettono comunque un limite alla risoluzione di tali immagini. Le condizioni che devono essere soddisfatte per ottenere una immagine panoramica geometricamente corretta sono le seguenti: la posizione del centro di proiezione non cambi durante le varie prese; immagini adiacenti abbiano una sufficiente sovrapposizione.

Esistono vari software per la generazione delle immagini panoramiche che producono automaticamente il panorama. Fra questi ne vengono analizzati due: Autopano della Kolor e PtGui della New House Software che permettono un'interazione nella scelta dei punti corrispondenti in fase di allineamento. Inoltre entrambi consentono l'inserimento di vincoli tipo orizzontalità o verticalità delle linee. Infine forniscono i parametri di qualità sia globale che locale, su ogni corrispondenza trovata. PTGui modella i parametri di distorsione delle lenti, fornendo i parametri dell'orientamento interno e le costanti di distorsione radiale.

Autopano (<http://www.autopano.net/>) è un software molto veloce nella generazione dell'allineamento. Si basa su un algoritmo di ultima generazione per la ricerca delle corrispondenze fra immagini, l'algoritmo SIFT (Scale Invariant Feature Transform), che ha la caratteristica di essere invariante sia alla scala che alle rotazioni delle immagini (Lowe, 2004). PTGui (Graphical User Interface per Panorama Tools) è un software sviluppato anch'esso sotto Windows che crea panorami a 360° in modalità sia automatica che manuale (<http://www.ptgui.com/>).

2. Fotogrammetria basata sui panorami sferici

Per panorama sferico s'intende quell'immagine ottenuta come rappresentazione cartografica piana della sfera su cui sono state proiettate immagini fatte a 360° dallo stesso punto di presa con una parziale sovrapposizione. L'importanza della rappresentazione sferica è che la sfera può essere mappata sul piano cartografico tramite la rappresentazione azimutale-zenitale dalla quale si possono ricavare le direzioni angolari che si misurerebbero con un teodolite il cui centro coincidesse con il centro della sfera.

Il presente lavoro è realizzato con il software SPHERA per il rilievo architettonico con panorami sferici (Fangi, 2006; Fangi, 2007). Le osservazioni immagini dai panorami sferici sono trasformate in osservazioni angolari e trattate come se fossero realizzate con un teodolite con la differenza che mentre il teodolite è facilmente orientabile con asse principale perfettamente verticale, nel caso dei panorami sferici è impossibile rendere l'asse principale verticale. E' necessario pertanto determinare le due rotazioni ai due assi orizzontali (α_x, α_y), che nel rilievo topografico sono generalmente nulle, per poter disporre delle misure angolari corrette. Attraverso le equazioni di collinearità corrette per la mancata rettifica dell'angolo di collimazione (α_x) ed inclinazione (α_y) si determinano i 6 parametri di orientamento.

Il vantaggio di questa tecnica che si basa su immagini sferiche consiste nella grande velocità, semplicità ed economicità. I limiti della tecnica, sono comuni alla fotogrammetria monoscopica, in cui la restituzione è limitata ad alcuni punti isolati, riconoscibili nelle diverse immagini.

3. Rilievo Fotogrammetrico di Piazza San Rufo a Rieti

Nel presente articolo viene sperimentata una metodologia di rilievo fotogrammetrico basata sui panorami sferici della Piazza S.Rufo a Rieti. La formazione del panorama sferico viene effettuata con due software commerciali: Autopano della Kolor e PtGui della New House Software di cui viene effettuata un'analisi di qualità sia in termini di risoluzione grafica che di qualità degli orientamenti quest'ultima valutata per mezzo di circa 30 punti di controllo disposti attorno alla piazza. Infine è stata eseguita la restituzione dei componenti principali della piazza rispettando la risoluzione dei panorami impiegati.

La camera digitale utilizzata per il rilievo è una Canon EOS-1DS con sensore CMOS di formato (36 x 24 mm) e risoluzione di 11 Megapixel. Il pixel ha dimensione di 8,85 μm . La focale scelta è stata di 14 mm. E' stata utilizzata una testa rotante che ha permesso di effettuare scatti dallo stesso centro di presa ad intervalli angolari definiti dall'utente. Nel rilievo della piazza sono state posizionate 5 stazioni fotogrammetriche in modo da avere una ridondante copertura di ogni area della piazza (Figura 4.5), mentre il rilievo topografico con cui sono stati misurati per irraggiamento i 36 punti topografici, è stato eseguito con una sola stazione per mezzo della stazione teodolite.

E' stato successivamente adottato un sistema di riferimento (figura 4.18) con la direzione 25-21, solidale con l'asse X, che materializza il lato est della piazza. (Figura

3.1 Acquisizione dei panorami

Per eseguire i panorami si sono utilizzati i due programmi: Autopano e Ptgui ed i risultati ottenuti con i 2 software sono stati messi a confronto. Con entrambi i software sono state impostati dei vincoli di verticalità rispettando le condizioni della proiezione sferica. Entrambi inoltre hanno permesso all'operatore di modificare l'allineamento fra le immagini rimuovendo corrispondenze che presentano elevati residui o aggiungendo corrispondenze dove necessario. I programmi ricalcolano per ogni nuova corrispondenza lo scarto medio di tutte le coppie (Figura 1).

E' importante sottolineare che la larghezza del panorama è dettata dalla focale della camera con cui si sono realizzate le foto. Inoltre la sfera di proiezione deve avere un raggio dell'ordine di grandezza della focale utilizzata. Quindi all'aumentare della focale aumenta la risoluzione delle immagini e di conseguenza anche quella delle immagini panoramiche. E' stato imposto un raggio pari a 14 mm che è quello utilizzato durante il rilievo. Nel nostro caso la dimensione del pixel passa da 8,5 micron delle immagini di partenza passa ai 7,2 micron delle immagini panoramiche generate da Autopano ai 8.9 micron di quelle generate con PTGui. Si ha quindi un ricampionamento rispettivamente pari a 0.85 e circa ad 1 nel caso dei due softwares.

Le immagini panoramiche hanno una variazione di scala notevole; nel caso dei cinque panorami di Piazza S. Rufo si ha una variazione da circa 1/2000-1/2500 a circa 1/500 che si traduce in una risoluzione pixel medio di circa 15 mm per AutoPano e 20mm per PTGui. La risoluzione minima arriva in entrambi i casi a pochi millimetri (3-4 mm per AutoPano e 4-5 mm per PtGui)

Sono stati riassunti i residui massimi, minimi e medi ottenuti nei 10 panorami dopo un operazione di editing dell'allineamento (Tabella 1).

Panorami	Residui					
	AutoPano			PTGui		
	Min (pixel)	Medio (pixel)	Max (pixel)	Min (pixel)	Medio (pixel)	Max (pixel)
1	0.18	4.35	7.5	0,16	4,10	11,43
2	0.18	3.03	6.78	0,18	3,96	12,13
3	0.16	3.18	7.44	0,22	3,94	13,34
4	0.15	2.92	9.98	0,13	3,40	8,82
5	0.10	2.82	4.92	0,39	3,46	10,48

Tabella 1 - Valori riassuntivi degli allineamenti realizzati con Autopano e PTGui.

Nella formazione dei panorami sono stati riscontrati degli errori grafici locali. Queste imprecisioni sono causate dal cattivo allineamento fra immagini. Tali errori sono abbastanza evidenti ma riguardano aree molto ristrette situate prevalentemente nella parte alta del panorama dove è meno vincolata la sovrapposizione delle immagini.



Figura 1. Uno dei 10 panorami utilizzati nel presente lavoro

3.2 Orientamento dei Panorami

L'orientamento dei panorami eseguiti con i software AutoPano e PTGui è stato realizzato utilizzando esclusivamente punti d'appoggio oppure punti d'appoggio e di legame, con una compensazione di blocco del tutto analoga a una compensazione a fasci proiettivi. In particolare sono stati utilizzati 6 punti d'appoggio distribuiti a giro d'orizzonte lungo la piazza. Gli orientamenti sono confrontati in termini di sqm delle 6 incognite di ogni panorama e di residui sui 30 punti di controllo.

Nella tabella 2 sono riportati i risultati dell'orientamento dei panorami di Autopano, mentre la tabella 3 è relativa ai panorami di Ptgui così come escono dal file di orientamento prodotto dal programma di compensazione a minimi quadrati dei panorami sferici. Si hanno al massimo differenze di 2-3 centimetri sulle coordinate dei centri di stazione. La grande differenza dell'angolo di orientamento κ dipende dalla direzione di partenza del panorama sferico (riferimento alle due figure con le foto dei panorami), mentre si rilevano differenze più significative (fino a 1gon) nei valori degli angoli di orientamento di collimazione ed inclinazione. Le tabelle successive riassumono gli sqm dei parametri incogniti per i 5 panorami (Tabella 4 e Tabella 5).

STAZIONE	X (m)	Y (m)	Z (m)	κ (gon)	α_x (gon)	α_y (gon)
1	102.724	107.834	9.626	70.4471	-0.4771	0.5734
2	102.350	117.019	9.361	349.5328	0.3503	0.3702
3	111.465	119.502	9.294	172.6529	0.3457	-0.0991
4	120.399	104.762	9.821	219.7846	1.0955	-0.6175
5	112.903	108.764	9.648	242.6945	0.3372	0.0432

Tabella 2 – Risultato orientamenti dei panorami seguiti con Autopano.

STAZIONE	X (m)	Y (m)	Z (m)	κ (gon)	α_x (gon)	α_y (gon)
1	102.737	107.844	9.628	323.0501	-0.4465	0.1677
2	102.324	117.026	9.382	328.6615	-0.7502	-0.5498
3	111.484	119.489	9.335	237.2924	-0.6609	-0.2186
4	120.399	104.768	9.872	195.9992	0.0406	-0.5875
5	112.912	108.755	9.670	168.0069	0.7582	-0.4078

Tabella 3 - Risultato orientamenti dei panorami eseguiti con Ptgui.

Panorama	σ_x (mm)	σ_y (mm)	σ_z (mm)	σ_κ (gon)	σ_{α_x} (gon)	σ_{α_y} (gon)	σ_x (mm)	σ_y (mm)	σ_z (mm)	σ_κ (gon)	σ_{α_x} (gon)	σ_{α_y} (gon)
1	± 2.0	± 0.8	± 4.0	± 13.4	± 10.1	± 10.1	± 2.0	± 1.2	± 2.0	± 13.5	± 10.1	± 10.1
2	± 0.7	± 0.6	± 0.9	± 17.5	± 15.0	± 15.0	± 2.0	± 0.9	± 4.0	± 17.6	± 15.1	± 15.1
3	± 1.0	± 1.2	± 2.0	± 15.5	± 13.4	± 13.4	± 0.7	± 0.6	± 0.9	± 15.6	± 14.9	± 14.9
4	± 2.0	± 41.4	± 49.9	± 17.7	± 11.9	± 11.9	± 1.0	± 41.6	± 50.1	± 17.8	± 13.5	± 13.5
5	± 11.7	± 44.5	± 11.9	± 15.0	± 14.8	± 14.8	± 11.8	± 45.8	± 12.4	± 15.1	± 11.9	± 11.9

Tabella 4 – S.q.m. dei panorami eseguiti con Autopano e PTGui

Una ulteriore verifica della qualità dell'orientamento e del panorama realizzato viene effettuata restituendo le coordinate dei 30 punti di controllo non utilizzati e confrontando le coordinate così ottenute con quelle ricavate topograficamente. La tabella 5 contiene i residui delle 30 coordinate per i panorami realizzati con AutoPano e PTGui. Residui alti si sono avuti in corrispondenza dei punti alti del panorama che risentano dei problemi dell'allineamento. E' possibile anche che il punto responsabile dell'elevato residuo sia affetto da errore grossolano in quanto il rilievo topografico è

stato effettuato per irraggiamento e quindi è isodeterminato. In più l'intersezione effettuata dai panorami è molto sensibile alla configurazione geometrica debole. Bisogna evitare che l'angolo compreso fra le rette intersecanti sia inferiore a un valore limite (per esempio 20°). Tale problema è in comune ad entrambi i software. PtGui mostra una qualità leggermente superiore rispetto ad AutoPano.

	Differenze su 30 Punti di controllo								
	AutoPano			PTGui			PTGui (con Pt. Legame)		
	X (m)	Y(m)	Z(m)	X (m)	Y(m)	Z(m)	X (m)	Y(m)	Z(m)
Minimo	0.003	0.008	0.001	0.002	-0.002	0.001	-0,001	0,001	0,000
Medio	-0.021	0.011	0.036	-0.014	0.015	0.043	0,008	0,001	0,038
Massimo	-0.438	-0.230	0.432	-0.202	0.154	0.444	-0,138	-0,158	0,489

Tabella 5 - Residui delle 30 coordinate dei panorami realizzati con AutoPano e PTGui rispetto al rilievo topografico.

All'orientamento realizzato con PTGui sono stati aggiunti circa 70 punti di legami presenti in tutte e cinque i panorami. La ridondanza della compensazione passa da 30 (orientamento con 6 punti d'appoggio) a 420.

Le seguenti tabelle (Tabella 6 e Tabella 7) riassumono i parametri di orientamento e relativi sqm dei 5 panorami di quest'ultimo orientamento realizzato con punti di appoggio e di legame. Il risultato del calcolo dei residui sui punti d'appoggio è stato riassunto in Tabella 5 nelle ultime tre colonne.

STAZIONE	X (m)	Y (m)	Z (m)	κ (gon)	α_x (gon)	α_y (gon)
1	102,799	107,784	9,632	322,8531	-0,5613	0,1199
2	102,388	117,046	9,363	328,7849	-0,6972	-0,7166
3	111,564	119,505	3,379	237,3517	-0,4781	-0,4655
4	120,395	104,763	9,858	195,9971	-0,1323	-0,4591
5	112,910	108,737	9,678	167,9527	0,7633	-0,3911

Tabella 6 - Parametri di orientamento.

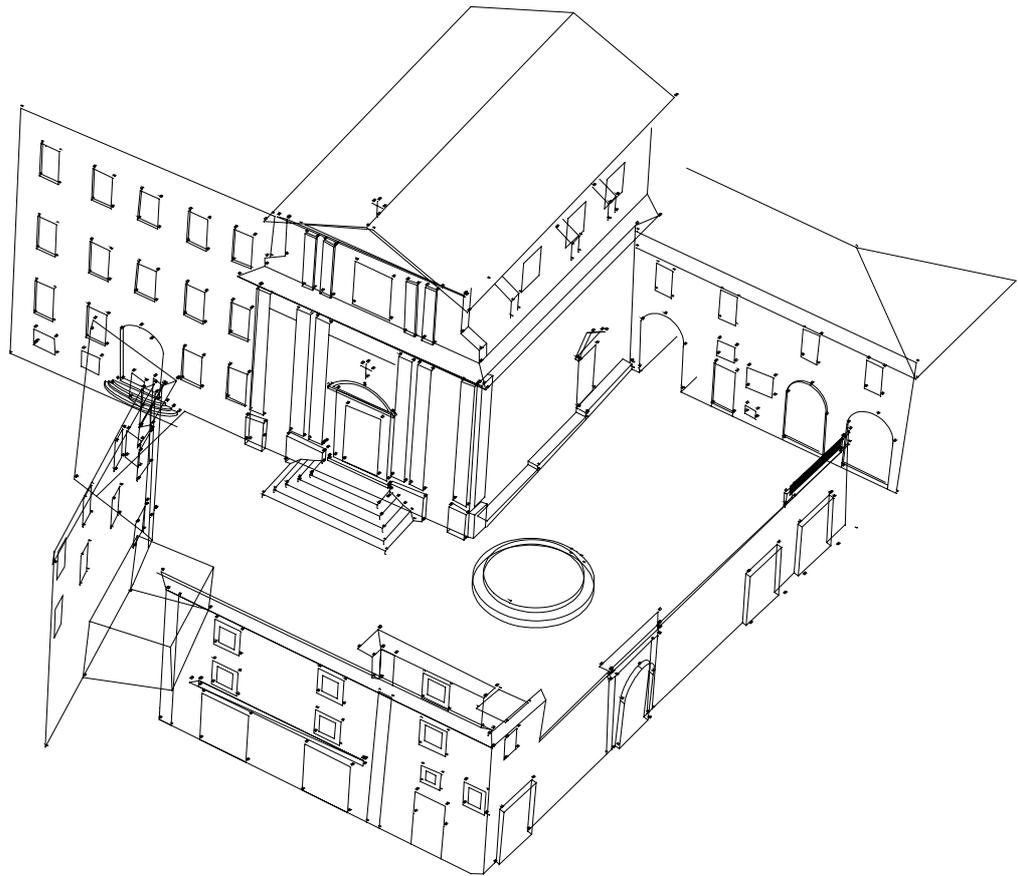
STAZIONE	σ_x (mm)	σ_y (mm)	σ_z (mm)	σ_κ (cc)	σ_{α_x} (cc)	σ_{α_y} (cc)
1	± 0,45	± 0,28	± 0,42	± 41,3	± 39,0	± 39,0
2	± 0,45	± 0,30	± 0,68	± 39,2	± 38,2	± 38,2
3	± 0,34	± 0,23	± 0,34	± 32,2	± 30,1	± 30,1
4	± 0,31	± 4,33	± 4,93	± 28,6	± 25,6	± 25,6
5	± 2,84	± 5,94	± 2,43	± 33,0	± 27,4	± 27,4

Tabella 7 - sqm dei parametri di orientamento

4 Restituzione del modello 3D

In Figura 2 è mostrata la restituzione della piazza. La restituzione ha avuto come limite la risoluzione delle immagini di partenza di 8,5 micron in quanto con una camera di focale maggiore si sarebbe aumentata la risoluzione delle immagini e di conseguenza anche delle immagini panoramiche a vantaggio della restituzione di ogni minimo particolare.

Un altro problema è legato alla ridotta qualità dei panorami e quindi riguardante la fase di formazione dei mosaici. La precisione di restituzione è limitata dalla non perfetta realizzazione dei fotomosaici sferici. La tecnica si presta bene per rilievi a breve distanza, quando la tessitura dell'immagine è tale da consentire una buona realizzazione del panorama.



5. Conclusioni

La restituzione ha avuto come limite la risoluzione delle immagini di partenza di 8,5 micron in quanto con una camera di focale maggiore si sarebbe aumentata la risoluzione delle immagini e di conseguenza anche delle immagini panoramiche a vantaggio della restituzione di ogni minimo particolare. La precisione di restituzione è limitata dalla non perfetta realizzazione dei fotomosaici sferici. La tecnica si presta bene per rilievi a breve distanza, quando la tessitura dell'immagine è tale da consentire una buona realizzazione del panorama.

Bibliografia

- Lowe, D. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2):91–110, November 2004.
- Fangi, G. (2006) - *Investigation On The Suitability Of The Spherical Panoramas By Realviz Stitcher For Metric Purposes*, ISPRS Archive vol. XXXVI Part 5, Dresden 25-27 september 2006
- Fangi, G. (2007) – *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey- XXI International CIPA Symposium, Atene, ISPRS International Archive – vol XXXVI-5/C53 – ISSN 1682-1750 – CIPA Archives vol. XXI-2007 ISSN 0256-1840 - pg.311-316*

<http://www.ptgui.com/>

<http://www.autopano.net/>

Szeliski, R., 2004. Image alignment and stitching: A tutorial. Technical Report MSR-TR-2004-92, Microsoft Research, December 2004.