

La congruenza geometrica tra blocchi orientati direttamente acquisiti con il sensore multispettrale Parrot Sequoia

Vittorio Casella^(a), Marica Franzini^(a)

^(a) Università degli Studi di Pavia, via Ferrata, 3, 27100 Pavia,
(vittorio.casella, marica.franzini)@unipv.it

Introduzione

Il sensore multispettrale Parrot Sequoia possiede delle caratteristiche interessanti per settori in crescente sviluppo come l'agricoltura di precisione, la silvicoltura e il monitoraggio ambientale. Il sistema ha peso contenuto, costo moderato ed è operativamente autonomo poiché dotato di un sensore di irraggiamento solare, un ricevitore GNSS, direttamente sincronizzato con la camera, ed un target di calibrazione radiometrica.

Il sensore viene spesso proposto insieme al software Pix4D che possiede diverse funzionalità dedicate che rendono il processamento largamente automatico. Anzitutto può eseguire la calibrazione radiometrica delle ortofoto di riflettanza attraverso l'utilizzo di alcune immagini scattate al target di calibrazione. Inoltre, sfruttando le osservazioni del ricevitore GNSS interno, può eseguire la georeferenziazione diretta delle immagini.

Per utilizzare propriamente le funzionalità legate alla calibrazione radiometrica delle immagini, Pix4D richiede di creare un progetto individuale per ogni missione di volo. Prendendo spunto da questa necessità di processamento a singoli blocchi si è voluto indagare la loro congruenza geometrica analizzando le singole missioni di volo in un'ipotesi di georeferenziazione diretta.

Lo studio concerne l'analisi di un rilievo fotogrammetrico composto da 5 separati blocchi acquisiti con camera Sequoia su un'area agricola avente un'estensione di circa 30 ettari. Nel presente contributo verranno presentati unicamente i risultati di congruenza tra i DSM generati nell'area di sovrapposizione di due sottoblocchi, il numero 3 e 4. L'analisi verrà effettuata utilizzando sia i punti di appoggio presenti nell'area, sia un approccio basato su ICP (Iterative Closest Point).

Il dataset utilizzato

Il dataset utilizzato è stato acquisito con un sistema UAV HEXA-PRO appartenente al Laboratorio di Geomatica dell'Università di Pavia, equipaggiato con una camera multispettrale Parrot Sequoia (Fig. 1a). Il sensore acquisisce

quattro bande spettrali nelle lunghezze del verde (530-570 nm), del rosso (640-680 nm), del rosso vicino (730-740 nm) e dell'infrarosso vicino (770-810 nm). La lunghezza focale è 3.98 mm e la dimensione del pixel 3.75 μm ; ad una quota relativa di volo di 70 m, il GSD (Ground Sampling Distance) risulta pari a 8.6 cm.

Il volo è stato realizzato nel settembre del 2017 sull'area di Cascina Santa Sofia, nei pressi di Pavia. L'intera area, di circa 30 ha, ha richiesto cinque diverse missioni di volo aventi un'altezza relativa di 70 m e un ricoprimento longitudinale e trasversale dell'80% e del 60%, rispettivamente. Sul terreno sono stati collocati 12 marker artificiali rilevati con metodologia GNSS NRTK che garantisce un'accuratezza plano-altimetrica di pochi cm.

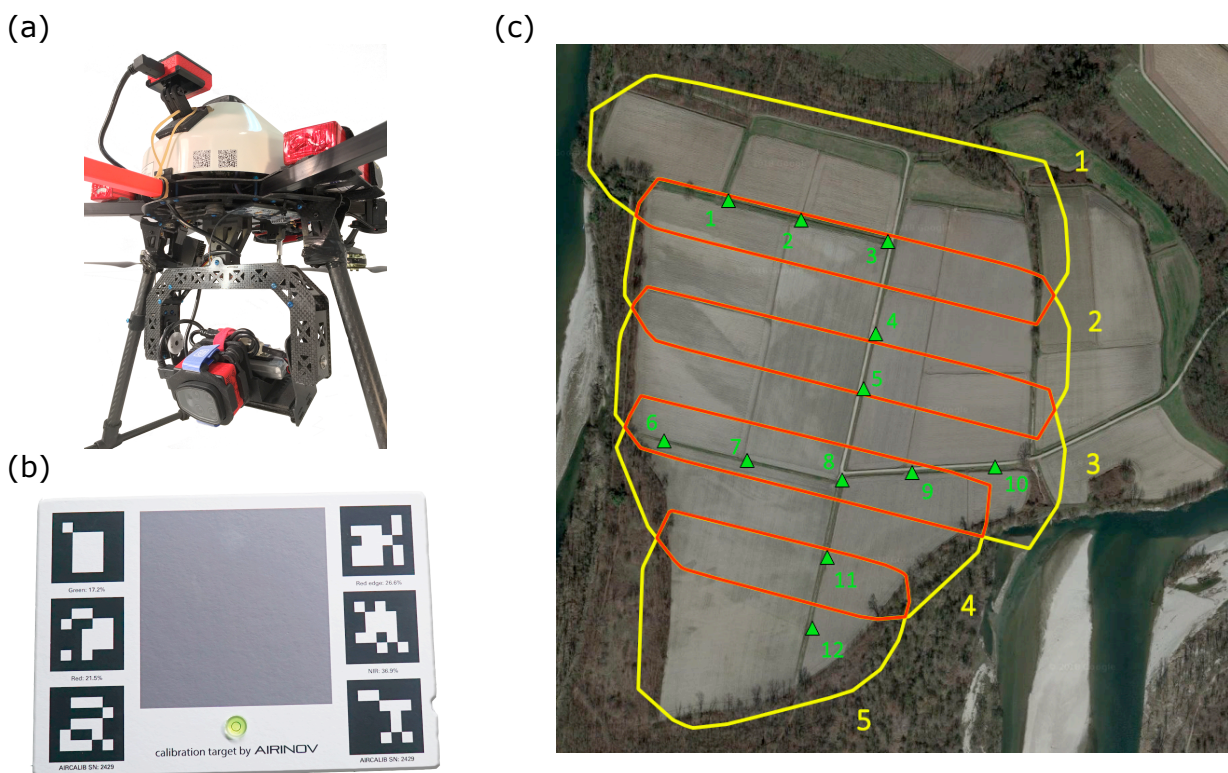


Figura 1. Il sensore Parrot Sequoia montato sul drone HEXA-PRO di proprietà del Laboratorio di Geomatica (a), il target AIRINOV per la calibrazione radiometrica delle immagini (b), la configurazione dei voli con evidenziati in giallo i 5 sottoblocchi ed in verde la disposizione dei punti di appoggio (c)

Il processamento del dataset

Il progetto fotogrammetrico è stato realizzato con il programma Pix4DMapper Pro, ver. 4.2.17. Come anticipato nell'introduzione, ogni sotto-blocco è stato processato individualmente in un approccio a georeferenziazione diretta. Sono stati utilizzati unicamente i canali multispettrali aventi una risoluzione a terra di 8.6 cm.

L'elaborazione ha seguito la tradizionale catena di processamento: allineamento delle immagini, collimazione manuale dei punti di appoggio, triangolazione aerea, generazione della nuvola densa di punti e dell'ortofoto. In un'ottica di georeferenziazione diretta non è stata effettuale la calibrazione dei parametri della camera utilizzando quelli propri del sensore ricevuti dalla casa produttrice e memorizzati nei file EXIF delle immagini.

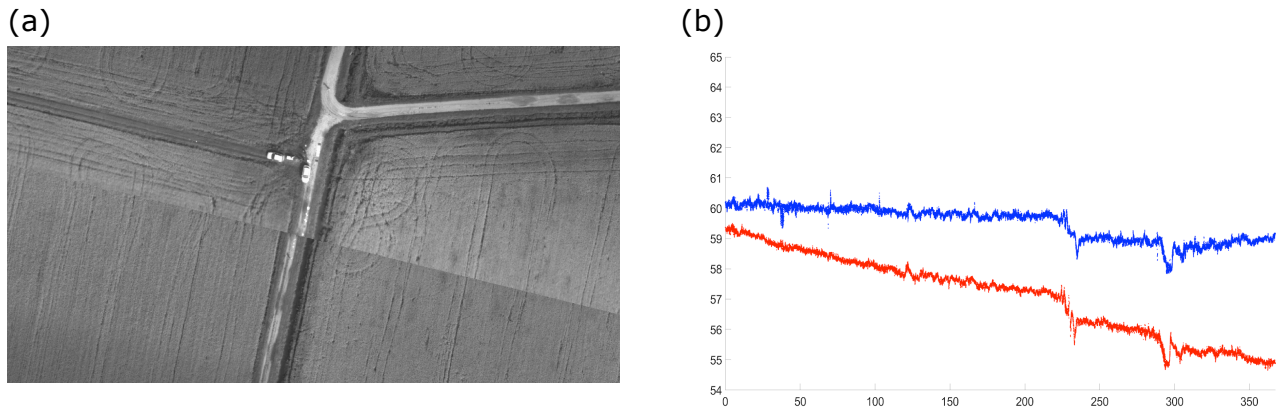


Figura 2. Verifica visuale della congruenza nella zona di sovrapposizione tra i sottoblocchi 3 e 4: spostamento planimetrico visibile tra le ortofoto generate nella banda del verde (a); scostamento altimetrico e rotazione visibili osservando due profili sulla nuvola densa di punti, in blue il sottoblocco 3 e in rosso il 4 (b)

Una volta terminato il processamento si è provveduto all'analisi di congruenza tra i risultati ottenuti per i due sottoblocchi 3 e 4. In Figura 2a è riportato il confronto tra le due ortofoto nella banda del verde nella zona di sovrapposizione; l'immagine evidenzia un spostamento planimetrico significativo. In Figura 2b mostra, per la medesima area, i profili altimetrici del terreno estratti dalla nuvola densa di punti; l'immagine evidenzia uno scostamento nella componente altimetrica e una significativa rotazione.

Lo scostamento tra le nuvole ha suggerito l'utilizzo della metodologia ICP (Iterative Closest Point) per riallineare i punti e poter determinare lo scostamento tra esse. ICP è infatti un metodo per registrare nuvole di punti totalmente o parzialmente sovrapposte senza richiedere l'identificazione di punti omologhi (Rusinkiewicz e Levoy, 2001). Associando ciascun punto della nuvola A al suo punto più vicino appartenente alla nuvola B, viene stimata una trasformazione rigida di coordinate (Low, 2004) che viene applicata al primo set di punti; la procedura viene iterata fino a quando l'ultima trasformazione stimata risulta trascurabile. Una procedura Matlab dedicata è stata sviluppata all'Università di Pavia, implementando ICP.

I risultati

Nella presente sezione, verranno mostrati principali risultati relativi alla consistenza geometrica tra i sottoblocchi 3 e 4. La congruenza è stata valutata

in due modi: attraverso il confronto tra le misure fotogrammetriche dei punti di appoggio presenti nella zona e determinando la distanza tra le due nuvole tramite l'utilizzo dell'algoritmo ICP implementato.

Il sito di test dispone di 12 punti di appoggio e alcuni di questi sono visibili sui due sottoblocchi esaminati (Fig. 1c). Una misura fotogrammetrica è stata ottenuta per ogni punto di controllo e per ogni blocco in cui è visibile ed è quindi possibile confrontarle tra loro. Le differenze formate e la principale statistica descrittiva sono riportate in Tabella 1. I risultati confermano quanto già emerso in Figura 2: la presenza di significativi scostamenti non costanti soprattutto nelle componenti x e z.

#CP	Residui		
	dE[m]	dN[m]	dH[m]
6	0.666	-0.419	1.161
7	1.197	-0.360	2.137
8	1.921	-0.227	2.785
9	2.361	-0.192	3.194
min	0.666	-0.419	1.161
max	2.361	-0.192	3.194
media	1.536	-0.256	2.319
rms	0.753	0.177	0.886
rmse	1.711	0.312	2.483

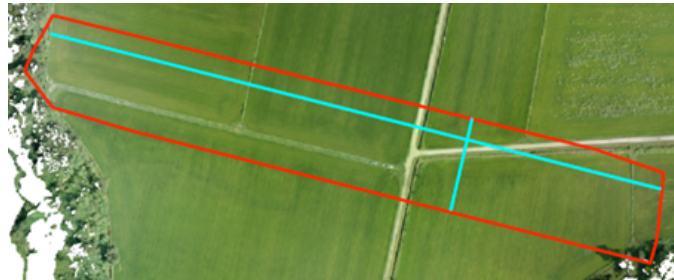
Tabella 1. Comparazione tra le determinazioni fotogrammetriche dei punti di appoggio presenti nella zona di sovrapposizione

Infine nella zona di sovrapposizione tra i sottoblocchi 3 e 4 (Fig. 1c) è possibile valutare la distanza tra le due nuvole utilizzando l'algoritmo ICP. La procedura è infatti in grado di stimare una trasformazione rigida al fine di registrare una superficie sull'altra, ad esempio per portare la generica superficie A sulla superficie B. Una volta applicata la trasformazione è possibile accoppiare ad ogni punto di A trasformato, il più vicino punto di B. Per ogni coppia di punti così formata è possibile memorizzare alcune informazioni: le componenti e la norma del vettore di collegamento, i due indici che identificano i punti considerati nelle liste rappresentati le due nuvole.

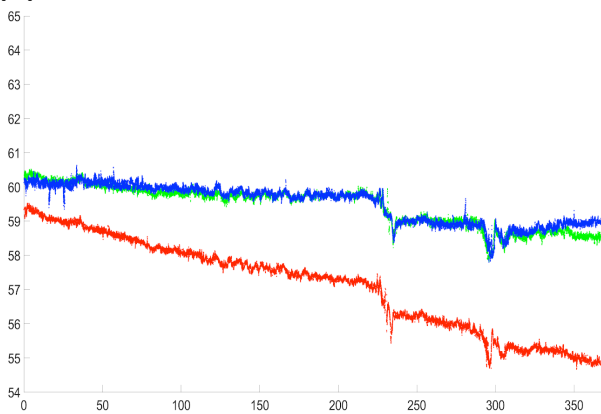
La trasformazione stimata tramite ICP è stata anzitutto valutata visivamente attraverso l'utilizzo di profili. In Figura 3 sono mostrati i due profili ortogonali estratti per l'area in esame. La linea rossa è associata al sottoblocco 3 mentre quella blu al sottoblocco 4; infine, la linea verde mostra la superficie #3 dopo l'applicazione della trasformazione rigida.

La distanza tra le nuvole stata valutata nelle due configurazioni, prima e dopo la registrazione. Se la stima delle distanze è banale dopo l'allineamento tramite ICP, la distanza originaria si è potuta calcolare solo grazie alla memorizzazione e all'utilizzo degli indici di accoppiamento menzionati nel paragrafo precedente.

(a)



(b)



(c)

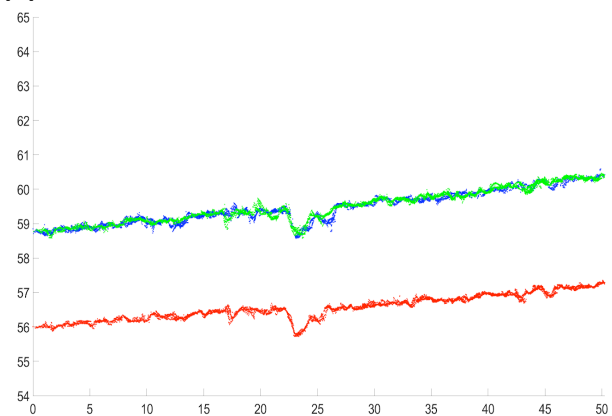


Figura 3. Collocazione dei due profili ortogonali utilizzati per la valutazione della registrazione tramite ICP nell'area di sovrapposizione (a). Profilo longitudinale (b) e trasversale (c): in rosso il sottoblocco 3, in blu il 4 e in verde il risultato dopo la registrazione tramite ICP

# sottoblocco		Distanza dopo ICP				Distanza prima di ICP			
		dE[m]	dN[m]	dh[m]	3D[m]	dE[m]	dN[m]	dh[m]	3D[m]
3-4	min	-0.437	-0.451	-0.459	0.000	-2.359	-0.344	-4.391	1.854
	max	0.441	0.454	0.457	0.459	-1.340	1.177	-0.766	4.849
	media	0.000	-0.001	-0.036	0.105	-1.845	0.394	-2.556	3.220
	rms	0.046	0.046	0.109	0.080	0.078	0.204	0.797	0.642
#4'948'979	rmse	0.046	0.046	0.115	0.132	1.848	0.444	2.677	3.283

Tabella 2. Statistica descrittiva sulla distanza tra le nuvole prima e dopo la registrazione tramite ICP

Le statistiche descrittive sono state applicate alle 4-tuple costituite dalle componenti plano-altimetriche e dalla norma del vettore che unisce i punti accoppiati; i risultati sono mostrati in Tabella 2. La prima colonna riporta l'identificativo dell'area considerata, nel nostro caso "3-4", oltre al numero di coppie di punti usate per valutare la distanza. Le colonne da 3 a 6 mostrano le statistiche tra le superfici registrate mentre le colonne da 7 a 10 i risultati di distanza tra le nuvole originarie. Prima della registrazione, gli RMSE sono di quasi 2 e 0.5 m per le componenti x e y, rispettivamente. La componente altimetrica si assesta intorno ai 2.5 m. Dopo la registrazione i risultati sono molto buoni, 5 cm per entrambe le componenti planimetriche e 10 cm circa per la z.

I risultati relativi alla distanza 3D, riportati in Tabella 2, sono stati resi anche in forma grafica tramite mappe di intensità (Figura 4). L'immagine di sinistra mostra la distanza dopo la registrazione mentre quella di destra la situazione originale. Anche questa rappresentazione mostra chiaramente la presenza di rotazioni nelle distanze originarie che vengono annullate grazie ad ICP.

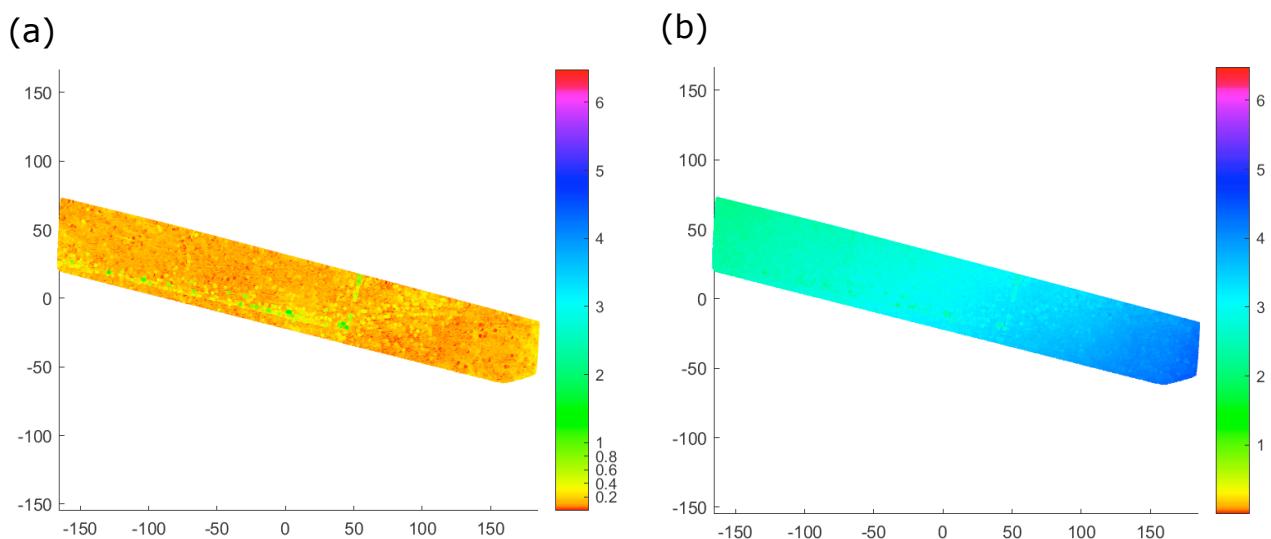


Figura 4. Distanza 3D tra le due nuvole nell'area di sovrapposizione prima (a) e dopo (b) la registrazione tramite ICP

Conclusioni

Il contributo presenta i risultati di congruenza geometrica di due blocchi fotogrammetrici acquisiti con il sensore Parrot Sequoia. L'orientamento delle immagini è stato ottenuto utilizzando i centri di presa memorizzati direttamente del sistema ed effettuando una triangolazione aerea senza ulteriori informazioni di controllo. I due blocchi, parzialmente sovrapposti, presentano spostamenti plano-altimetrici, nonché una significativa rotazione. È stata adottata la metodologia ICP per stimare gli scostamenti e per riallineare le nuvole di punti create. I residui originali presentano errori metrici (2 m nella componente x e 3 m in quota); dopo la registrazione gli scostamenti sono dell'ordine di 5 cm in planimetria e 10 cm in altimetria.

Bibliografia

Low K. L. (2004). Linear least-squares optimization for point-to-plane icp surface registration. Chapel Hill, University of North Carolina, 4.

Rusinkiewicz S., Levoy M. (2001). Efficient variants of the ICP algorithm. In 3-D Digital Imaging and Modeling, 2001. Proceedings. Third International Conference on (pp. 145-152). IEEE.

