

Validazione di prodotti fotogrammetrici speditivi ottenuti con immagini da UAV

Paolo Dosso (*), Livio Pinto (**), Giovanna Sona (***), Rossana Gini (***), Daniele Passoni (**)

(*) Studio di Ingegneria Terradat, via Andrea Costa, 17-20037 Paderno Dugnano (MI). p.dosso@terradat.it

(**) Politecnico di Milano, DICA, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano - 02/2399 6525

livio.pinto@polimi.it, daniele.passoni@polimi.it

(***) Politecnico di Milano, DICA, Polo Territoriale di Como, rossana.gini@mail.polimi.it, giovanna.sona@polimi.it

Riassunto

I sistemi di ripresa aerea montati su UAV rappresentano una tecnologia flessibile, in grado di raccogliere in breve tempo una grande quantità di informazioni ad alta risoluzione sia per usi metrici che interpretativi. In questo ambito è spesso necessario che la procedura utilizzata per la produzione dei prodotti finali (ad esempio l'ortofotocarta) sia un valido compromesso tra rigidità analitica e ridotti tempi di realizzazione. A tale proposito si stanno sempre più diffondendo tra gli specialisti del settore i programmi nati dalle ricerche della Computer Vision che, in questo ambito, assolvono pienamente alle esigenze di produzione fotogrammetrica.

Gli autori propongono e testano su un caso reale una procedura di georeferenziazione speditiva delle ortofoto; essa viene ricampionata tramite una trasformazione piana che si avvale di alcuni punti doppi. Il confronto con l'ortofoto prodotta con strumenti tradizionali (LPS ERDAS) ha messo in luce un'ottima congruenza dei prodotti, con precisioni comparabili con le dimensioni del GSD.

Abstract

UAV-based survey systems represent a flexible technology able to collect a big amount of high resolution information, both for metric and thematic uses. It turns out to be necessary to define procedures that bring to final products (e.g. orthoimages) balancing rigorous solutions and time consumption. In this context, modeling software coming from Computer Vision are spreading over, as they fulfill the main requirements of photogrammetric production. The authors propose and test a procedure for orthoimage quick georeferencing, that has been verified on a real case; the orthoimage is resampled through a planar transformation based on few fixed points. The result is compared with the orthoimage obtained by processing the same data set with standard photogrammetric software (LPS ERDAS), thus proving an excellent agreement, and accuracies on the order of the GSD.

1. Introduzione

I sistemi di acquisizione dati basati su piattaforme UAV sono in rapida espansione grazie allo sviluppo di sistemi automatici di navigazione e controllo sempre più affidabili ed al ridotto costo dei sistemi di ripresa e di restituzione del prodotto finale.

La maggiore facilità di utilizzo rispetto ai tradizionali mezzi aerei di rilievo fotogrammetrico allarga l'impiego degli UAV in molti ambiti di rilevamento di prossimità; e anche se è ormai chiaro che i sistemi aerei senza pilota sono una tecnologia flessibile, in grado di raccogliere una grande quantità di informazioni ad alta risoluzione, vengono condotte molte indagini per valutare le precisioni raggiungibili nei differenti ambiti applicativi, sia per gli usi metrici che interpretativi.

Infatti, lo scarso carico utile della maggior parte delle piattaforme UAV, comporta l'uso di sensori ultraleggeri, spesso meno precisi rispetto a quelli di normali dimensioni. Ad esempio, nella ripresa nell'ambito del visibile vengono utilizzate fotocamere digitali in grado di acquisire una grande

quantità di immagini ad alta risoluzione ma soggette a deformazioni superiori rispetto alle camere fotogrammetriche dotate di sensori calibrati in laboratorio.

Insieme alla diffusione dei sistemi di acquisizione dati, si sono parallelamente sviluppati anche i metodi per la post-elaborazione, i quali spesso utilizzano algoritmi e approcci di calcolo non tradizionali (Barazzetti et al. 2010; Strecha et al. 2010). Per quanto riguarda le immagini aeree, gli approcci generalmente utilizzati e testati sono due: a) post-elaborazione utilizzando metodi fotogrammetrici tradizionali; b) software provenienti dalla Computer Vision (CV). Nel primo caso, il principale requisito è l'alta precisione del risultato finale unito all'alta affidabilità degli algoritmi di calcolo; i software di CV lavorano invece principalmente per ottenere una rapida elaborazione e un prodotto finale efficace per gli scopi prefissati.

Presso il dipartimento DICA del Politecnico di Milano sono in corso dal 2010 esperimenti e test condotti nell'ambito del progetto FOGLIE (Fruition Of Goods Landscape in Interactive Environment) (Gini et al., 2012), che fa uso di immagini aeree acquisite da UAV per indagare un più efficace modo di fruire il patrimonio naturale, artistico e culturale della Regione Lombardia, e per migliorare la fruizione e la sorveglianza delle aree naturali protette.

Nel presente lavoro viene presentato un test effettuato con lo scopo di validare i risultati ottenuti nella modellizzazione 3D di una porzione di territorio e nella successiva costruzione dell'ortofotoproiezione, utilizzando le stesse immagini riprese da UAV ma due differenti sistemi di elaborazione dati: il software di fotogrammetria "tradizionale" LPS di Erdas e il software di CV AgiSoft Photoscan. Gli autori ritengono che, al fine di essere consapevoli nella scelta del sistema da adottare, che dovrebbe essere il più adatto per lo scopo di indagine, sia necessario valutare attentamente le precisioni dei prodotti finali (Remondino et al. 2012).

2. Acquisizione dei dati

La zona scelta per il test è una piccola area rurale (circa 0.3 km²) nel comune di Cisano Bergamasco (BG) all'interno del Parco Adda Nord. La zona comprende campi coltivati, filari di alberi, viabilità secondaria ed edifici rurali; essa è stata scelta in quanto già utilizzata per altri test effettuati nell'ambito del progetto FOGLIE (figura 1).



Figura 1. Area test e posizione dei centri di presa delle immagini.

La piattaforma UAV utilizzata per le riprese è un SwingleCAM ad ala fissa prodotto dalla svizzera SenseFly (entrata dal 2012 nel gruppo Parrot), di proprietà dello "Studio di Ingegneria Terradat". Il sistema di ripresa permette, in modo del tutto automatico, di pianificare il volo, caricarlo sulla memoria del drone e realizzarlo tramite la serie di sensori GPS/IMU montati a bordo. Del tutto autonomi sono anche il decollo e l'atterraggio.

Il sistema è dotato di una fotocamera compatta Canon Ixus 220HS (12 Mp e lunghezza focale fissa di 4,0 mm), in grado di acquisire immagini con GSD di 3-7 cm a seconda dell'altezza di volo. Durante la ripresa sul poligono test di Cisano la quota relativa di volo è stata impostata a 132 m, il che ha comportato un GSD di 4 cm. Inoltre, al fine di ottenere una ottima copertura stereoscopica ed evitare buchi fotogrammetrici, il volo è stato pianificato con sovrapposizione longitudinale e trasversale pari all'80%. Con questi dati di input sono state pianificate 7 strisciate che, in fase di ripresa, a causa del forte vento e delle turbolenze atmosferiche, sono state ridotte a 5 per un totale di 49 immagini (figura 1). Nonostante questo, la sovrapposizione tra le immagini è risultata sufficiente anche se inferiore rispetto a quella pianificata e con variazioni di scala considerevoli. I valori approssimati dei parametri di orientamento esterno (OE) di ciascuna immagine sono stati registrati durante il volo dal sistema di controllo dell'UAV SwingletCAM.

Per la georeferenziazione di blocco e la successiva analisi di precisione sono stati rilevati sedici punti di appoggio pre-segnalati (GCP) ben distribuiti lungo i bordi e nel centro della zona del rilievo; le coordinate di riferimento sono state misurate mediante GPS (Trimble 5700) in modalità NRTK. Di questi punti, alcuni sono stati utilizzati come punti di appoggio, altri come punti di controllo (CP) (figura 2).

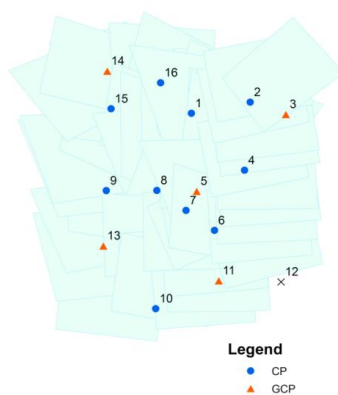


Figura 2. Punti di appoggio (in rosso) e di controllo (blu).

3. Orientamento delle immagini

Come riportato nell'introduzione, le immagini sono state orientate con due differenti software. Il primo dei due è Leica Photogrammetric Suite (LPS), prodotto del marchio Intergraph. LPS nasce per orientare immagini aeree ed è uno dei software "tradizionali" di restituzione fotogrammetrica digitale più utilizzato al mondo. Pur avendo al suo interno un modulo di orientamento automatico delle immagini, in questo lavoro è stato deciso di orientare i fotogrammi digitali individuando e collimando manualmente i punti di legame. In totale sono stati scelti 295 punti, ciascuno dei quali è stato osservato mediamente su 5 immagini (figura 3).

Il secondo dei due programmi è Photoscan del marchio Agisoft LCC (nel seguito denominato PA). Questo pacchetto software è in grado automaticamente di popolare la nuvola di punti tramite un algoritmo di estrazione automatica di punti omologhi che opera in modo molto efficace. PA è un programma a basso costo che si sta diffondendo sempre di più in molti ambiti tecnici sia specialistici che non specialistici per la sua elevata versatilità di utilizzo.

A causa dell'elevato numero di punti di legame estratti, si è operata una loro decimazione e nelle successive analisi sono stati considerati ed utilizzati i soli punti classificati con un RMSE inferiore a 0.40 m avente molteplicità maggiore o uguale a 3.

In figura 3 viene mostrata la distribuzione e la molteplicità dei punti di legame per entrambi i pacchetti software utilizzati. E' evidente che nel caso di PA il numero dei punti è molto più elevato

che nel caso di LPS anche se la numerosità media è inferiore (circa 3 contro 5 di LPS) e i punti scelti manualmente con LPS sono meglio distribuiti.

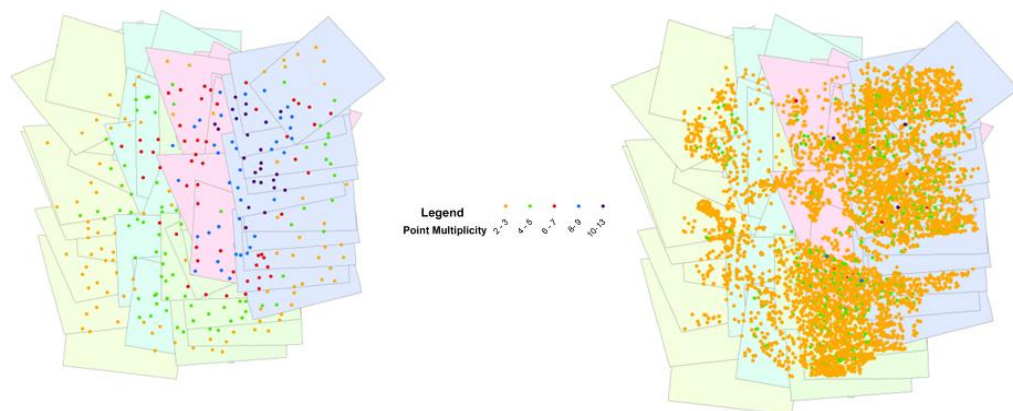


Figura 3. Distribuzione e numerosità dei punti di legami con LPS (sinistra) o PA (destra).

Per determinare l'OE delle immagini sono stati seguiti due differenti approcci. Con LPS si è seguita una procedura standard basata sull'utilizzo dei GCP. Per uniformare l'analisi dei risultati, la compensazione è stata realizzata con il programma Calge del DICA del Politecnico di Milano (Forlani, 1986); sono state vincolate le coordinate di 5 punti di appoggio (figura 2) ottenendo un σ_0 di compensazione pari a 2.6 μm (1.6 volte la dimensione del pixel). L'analisi degli scarti dei 10 CP ha messo in luce una precisione del blocco di immagini di 5 cm nelle coordinate planimetriche e di 13 cm in quota. Durante la compensazione sono stati stimati i parametri di *selfcalibration* in accordo con il modello di Fraser (Fraser, 1997).

Per quanto concerne la determinazione dell'orientamento esterno con il software PA, si è seguita una procedura approssimata vincolando i parametri di OE (vengono scritte delle equazioni di pseudo-osservazione di vincolo con opportuno peso, funzione della precisione di stima dei parametri) forniti dal sistema SwingletCAM: in questo modo è stato fornito al blocco un sistema di riferimento, naturalmente approssimato (i sensori posti sul drone consentono un posizionamento GPS "stand alone" con precisione di qualche metro, mentre la determinazione dell'assetto avviene con precisione angolare di qualche grado). L'iniziale orientamento esterno approssimato delle immagini viene raffinato durante la successiva fase di Triangolazione Aerea, nella quale vengono anche stimati i parametri di calibrazione della camera e le coordinate di tutti i punti di legame: il software non necessita della misura di GCP che, infatti, in questa fase non vengono utilizzati. Con questa procedura, al termine dell'orientamento delle immagini, non è possibile fornire dei parametri di accuratezza del blocco fotogrammetrico ma solo delle precisioni teoriche. La compensazione con Calge fornisce un σ_0 di 0.3 μm (1/5 della dimensione del pixel) e la precisione teorica dei punti di legame (ne sono stati estratti 6098) è risultata di 1.0 cm in planimetria e 2.3 cm in quota.

4. Generazione del DSM e dell'ortofoto

Con entrambi i software è stato generato, in modo automatico, il modello digitale delle superfici (passo della griglia pari a 0.2 m). In figura 4 sono rappresentati i due risultati. Da una prima analisi di tipo visuale si nota che, per entrambi i software, il DSM non è stato creato su tutta la zona del rilievo: le lacune sono concentrate nelle aree dove la sovrapposizione delle immagini è minima e la tessitura del terreno (prato) è povera. Un'altra evidenza di tipo grafico riguarda il comportamento dei software in prossimità degli edifici ed in generale vicino agli oggetti con forti variazioni in

quota: LPS interpola le quote dei punti vicini e quindi crea delle superfici senza punti angolosi, PA ha invece una modalità di interpolazione dei dati che riconosce le discontinuità delle superfici (linee di rottura) ed è quindi in grado di restituire più nettamente i contorni degli oggetti.

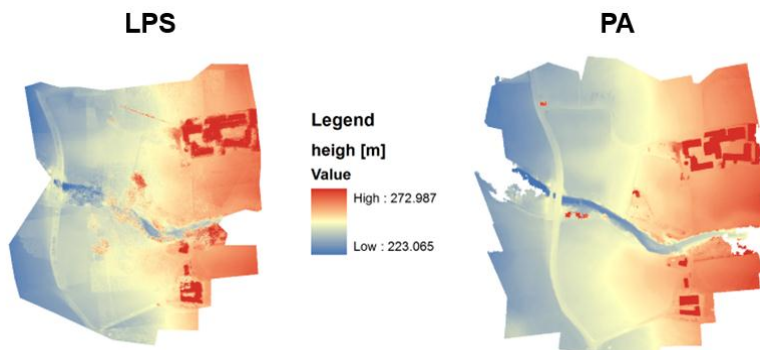


Figura 4. Generazione del DSM con passo 0.2 m: LPS (sinistra), PA (destra).

Come ultimo prodotto è stata generata l'ortofoto. La realizzazione con il programma LPS non ha richiesto ulteriore impegno: il programma effettua automaticamente la proiezione delle immagini sul DSM a partire dai parametri di OE generati durante la fase di aerotriangolazione. Il DSM prodotto con PA, senza uso dei punti a terra, ha un difetto di georeferenziazione. Infatti la qualità del prodotto è molto buona ma il DSM è basato su parametri di orientamento approssimati determinati dal drone durante la fase di ripresa. Se si genera direttamente l'ortofoto (anche in questo caso in modo automatico tramite una routine del programma PA) le differenze tra le coordinate dei punti presegnalati estratte dall'ortofoto e quelle GPS si attestano in media a 3.17 m con un sqm di 0.57 m. La procedura proposta dagli autori prevede la misura di pochi e "sicuri" punti di appoggio solo dopo aver generato questa ortofoto di prima approssimazione. In questo modo si limita molto l'impegno di carattere strettamente topografico e, se le precisioni richieste dal prodotto finale non sono troppo elevate (ad esempio in buona parte delle applicazioni in ambito agrario), possono essere direttamente utilizzati punti estratti dalla cartografia a grande scala.

In pratica l'ortoimmagine viene ricampionata sulla base di una trasformazione piana di tipo polinomiale: sulla base del numero di punti noti a disposizione può essere utilizzata una trasformazione affine, bilineare o polinomiale (generalmente è sufficiente quella di secondo grado). Il calcolo della trasformazione affine avviene con routine open source (Accord.NET, Statistics.NET) mentre le trasformazioni polinomiali sono effettuate in ambiente ENVI.

In tabella 1 sono riportati alcuni parametri statistici significativi degli scarti sui punti presegnalati tra coordinate GPS e coordinate estratte dall'ortoimmagine.

	Trasf. Affine		Trasf. Bilineare		Trasf. Polinomiale di 2° grado	
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]
RMS	0,052	0,046	0,051	0,035	0,030	0,006
min	-0,096	-0,089	-0,116	-0,067	-0,040	-0,012
max	0,134	0,068	0,107	0,046	0,074	0,013

Tabella 1. Statistica degli scarti per il ricampionamento dell'ortofoto realizzata con PA.

La progressione delle prove mostra come gli scarti e di conseguenza gli RMS, come ovvio, scendano gradualmente aumentando i parametri della trasformazione. Comunque già con una

trasformazione affine (per il calcolo della quale sono necessari solo pochi punti, al limite anche solo 3) i risultati sono accettabili: gli RMS si attestano intorno al valore del GSD.

Per quanto riguarda il DSM, la procedura prevede che vengano ricalcolate delle nuove quote sulla base di una regressione lineare, i cui parametri vengono determinati a partire da un certo numero di punti noti in quota. L'applicazione di questo criterio ai punti GPS porta l'RMS delle differenze da 0.96 m (semplice traslazione in quota) a 0.13 m. In figura 5 vengono riportate due porzioni di ortofoto. Esse si riferiscono ai due gruppi di edifici presenti nella zona: il risultato finale è qualitativamente molto buono pur in presenza di un evidente errore sul DSM (messo in luce dalla ortoproiezione delle pareti degli edifici).

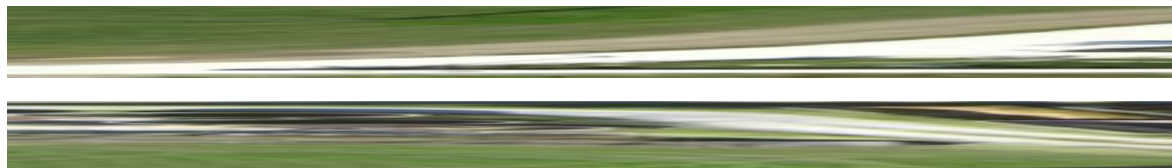


Figura 5. Porzioni della ortofoto realizzata con PA e georeferenziata in modo speditivo.

5. Conclusioni

La rapida diffusione dei sistemi UAV e i software di CV hanno aperto nuove possibilità nel contesto della gestione del territorio. In questo lavoro è stata valutata una procedura di georeferenziazione speditiva delle ortofoto basata sul suo ricampionamento sulla base di alcuni punti doppi che, se le precisioni richieste non sono troppo spinte, possono essere estratti anche dalla cartografia a grande scala. Un apposito test è stato realizzato utilizzando una ripresa acquisita con un sistema ad ala fissa SwingletCAM, su una zona rurale di circa 35 ha nella quale sono presenti edifici, strade e vegetazione con diverse specie arboree. Le 49 immagini suddivise in 5 strisciate parallele sono state elaborate con il software Agisoft Photoscan e i risultati sono stati confrontati con quelli ottenuti con il programma di fotogrammetria aerea Leica Photogrammetric Suite (LPS). Il confronto del prodotto speditivo con la procedura eseguita con LPS ha messo in luce un'ottima congruenza, con precisioni che in planimetria si assestano sulle dimensioni del GSD, mentre in quota sono leggermente superiori.

Bibliografia

- Barazzetti L, Scaioni M, Remondino F (2010) Orientation and 3D modeling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record* 25(132), 356–381.
- Forlani G (1986) Sperimentazione del nuovo programma CALGE dell'ITM. *Bollettino SIFET* No. 2, pp. 63-72.
- Fraser C S (1997) Digital camera self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 149-159.
- Gini R, Passoni D, Pinto L, Sona, G, 2012. Aerial images from an UAV system: 3d modeling and tree species classification in a park area. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. XXXIX-B1, pp. 361-366.
- Remondino F, Del Pizzo S, Kersten T, Troisi S, (2012) Low-cost and open-source solutions for automated image orientation – A critical overview. *Proc. EuroMed 2012 Conference*, M. Ioannides et al. (Eds.), LNCS 7616, pp. 40-54.
- Strecha C, Pylvanainen T, Fua P (2010) Dynamic and Scalable Large Scale Image Reconstruction. *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 406–413.