

# VALUTAZIONE DELLA ACCURATEZZA DELLE IMMAGINI ADS40 IN FUNZIONE DELLA QUOTA DI VOLO E DELLA STRATEGIA DI TRIANGOLAZIONE AEREA

V. Casella <sup>a</sup>, M. Franzini <sup>a</sup>, B. Padova <sup>a</sup>

<sup>a</sup>DIET - Università di Pavia, Via Ferrata, 1 - 27100 Pavia - (vittorio.casella, marica.franzini, barbara.padova)@unipv.it

**KEY WORDS:** Fotogrammetria, Camere digitali, Orientamento, Triangolazione aerea, Accuratezze

## RIASSUNTO

Il lavoro concerne lo studio delle accuratezze ottenibili dalle immagini Leica ADS40. La ricerca è stata condotta utilizzando software commerciali quali Socet-Set ed Orima e dati acquisiti sul test-site di Pavia. In particolare sono stati presi in considerazione tre blocchi acquisiti nell'agosto 2004 a tre differenti quote di volo di approssimativamente 2000, 4000 e 6000 m. Sono state valutate diverse configurazioni caratterizzate da un numero variabile di punti di appoggio e da differenti strategie di triangolazione aerea. La presente nota rappresenta un riassunto esteso delle analisi effettuate; una più ampia discussione della metodologia seguita, insieme ai risultati completi, verrà prossimamente pubblicata all'interno del Bollettino SIFET.

## ABSTRACT

The paper concerns an in-depth study of the attainable accuracy of Leica ADS40 imagery. The study has been carried out with the Socet-Set and ORIMA programs and takes advantage of the Pavia Test Site, where many artificial and natural, very well measured control points are available. Three flights are considered, having a relative height of approximately 2000, 4000 and 6000 meters. Different configurations are investigated, characterized by the usage of 5 and 12 GCPs. Finally, several adjustment strategies are analyzed: together with the basic adjustment model, the usage of additional parameters (such as datum transformation and re-estimation of IMU misalignments), as well as the camera self-calibration are taken into consideration. The present paper is a wide summary of the performed analysis; an exhaustive discussion about methodologies and obtained results will be soon published inside the SIFET's journal named *Bollettino SIFET*.

## 1. INTRODUZIONE

La camera digitale Leica ADS40 è dotata di sensori lineari e utilizza il metodo di acquisizione detto push-broom. Le camere a linee hanno caratteristiche innovative rispetto alle tradizionali frame e richiedono un intenso lavoro di ricerca su svariati temi: il modello di camera, la calibrazione e la sua stabilità, la self-calibration, i modelli di traiettoria, il modo in cui viene calcolata la triangolazione aerea e la necessità di calcolarla, il contenuto informativo delle immagini, l'accuratezza delle misure. La presente nota ha come argomento proprio la validazione rigorosa dell'accuratezza ottenibile.

## 2. IL TEST-SITE DI PAVIA E I VOLI UTILIZZATI

Il test-site di Pavia è stato sviluppato negli ultimi anni per supportare principalmente ricerche su lidar, fotogrammetria e GPS. Esso dispone di alcuni elementi creati proprio per la ricerca in fotogrammetria: 186 punti di controllo artificiali (AGCP) costituiti da quadrati bianchi di 35 cm di lato dipinti sulla pavimentazione stradale o sui camminamenti pedonali; 50 punti artificiali di grandi dimensioni, aventi lato di 60 cm (BAGCP), creati proprio a supporto della ricerca sulle immagini ADS40; 56 punti di appoggio naturali (NGCP) costituiti da dettagli del territorio facilmente individuabili sui fotogrammi aerei. Più recentemente, e successivamente all'esecuzione dei voli descritti nel presente articolo, sono stati realizzati altri 70 BAGCP.

La dimensione dei marker è stata attentamente ponderata allo scopo di ottenere una soddisfacente visibilità alle tre quote di volo considerate (2000, 4000 e 6000 m). Tutti i punti di appoggio sono stati misurati con GPS in modalità rapido-statica, utilizzando tre ricevitori fissi collocati su vertici della rete GPS di Pavia. La compensazione del rilievo ha prodotto accuratezze inferiori al centimetro per ogni componente.

Nell'agosto del 2004 sono stati acquisiti sopra il test-site di Pavia alcuni blocchi fotogrammetrici con una camera ADS40 alle altezze di volo 2000, 4000 e 6000 m; i voli sono stati realizzati dalla Compagnia Generale Ripreseeree (CGR) di Parma. Il volo si compone complessivamente di sette strisciate Est-Ovest: due per il volo più alto, due per il volo intermedio e tre per il più basso.

### 3. LA METODOLOGIA

Lo studio delle accuratèzze è stato condotto utilizzando software commerciali: Socet-Set 4.4.1, GPro 2.1 ed Orima 6.1, nella stessa configurazione adottata da CGR. Per ogni quota di volo, vengono testati molteplici scenari che possono essere classificati secondo diverse caratteristiche.

- **Modalità con cui vengono determinati i parametri di orientamento esterno.** Viene preso in considerazione il direct georeferencing (**DG**), in cui i parametri di orientamento esterno determinati dal sistema GPS/IMU sono usati direttamente e lo integrated sensor orientation (**ISO**), in cui le misure GPS/IMU vengono inserite come osservazioni nella triangolazione aerea: gli scenari relativi a questo secondo caso sono detti **BASIC** e **SELF**, come viene spiegato successivamente.
- **Numero di GCP.** Si considerano due configurazioni aventi 5 e 12 punti di appoggio.
- **Modello della camera.** Si prendono in considerazione i modelli detti **BASIC** e **SELF**. Il primo è il modello standard adottato da Socet-Set e Orima ed è basato sull'uso del modello nominale di camera e dei file di calibrazione periodicamente prodotti dal costruttore della camera. Il modello nominale è basato, in sintesi, sulle seguenti assunzioni: l'obiettivo non ha distorsioni; i sensori sono realmente lineari ed ortogonali all'asse  $x$  del sistema di riferimento immagine; i centri delle linee di sensori si trovano sull'asse  $x$  prima richiamato.  
I programmi usati offrono tuttavia opzioni più sofisticate. È possibile stimare i 7 parametri di una trasformazione di datum utile nel caso in cui i dati GPS/IMU e i GCP utilizzati siano riferiti a due sistemi di riferimento differenti; è possibile ristimare i boresight misalignment tra camera e sistema inerziale. È infine possibile effettuare la self-calibration: in modello matematico utilizzato è quello di Brown (Brown, 1976) e, sebbene esso sia stato originariamente pensato per le camere frame, è stato adattato ed implementato anche per le camere a linee. Allo scenario in cui si calcola la triangolazione aerea stimando i parametri della trasformazione di datum ed effettuando la self-calibration è stato dato il nome **SELF**.

### 4. I RISULTATI OTTENUTI

Le accuratèzze sono state valutate tramite la comparazione tra le coordinate oggetto dei punti di controllo determinate per via fotogrammetrica con quelle derivante dal rilievo topografico GPS; le prime sono state ottenute inserendo i punti di controllo, in qualità di punti di legame, all'interno della compensazione, in modo che la triangolazione aerea ne restituisse le coordinate oggetto.

Le Figure 1, 2 e 3 riassumono i risultati per i voli aventi altezza 2000, 4000 e 6000 m rispettivamente. In ascissa sono riportati i cinque scenari considerati **DG**, **BASIC** con 5 e 12 punti di appoggio, **SELF** con 5 e 12 punti di appoggio, mentre in ordinata è indicato lo RMSE per le tre componenti est (in viola), nord (in verde) e quota (in azzurro). I valori di RMSE sono normalmente indicati con punti aventi lo stesso colore delle linee. In alcuni casi il punto rappresentativo ha invece colore rosso: ciò indica che in quella configurazione la media degli scarti è significativa e che dunque il valore di RMSE include un bias; la significatività è stata discussa con un test  $t$  con livello di significatività 5%. Vi sono anche punti di colore arancione nei casi dubbi, in cui la media degli scarti è significativa, in senso stretto, ma l'entità dei valori in gioco suggerisce prudenza nel trarre le conclusioni.

Per la valutazione delle accuratèzze ottenute è opportuno tenere presente che la dimensione del pixel a terra (GSD - Ground Sampling Distance) è di circa 20 cm per il volo a 2000 m, di circa 40 cm per quello a 4000 m e di circa 60 cm per il blocco volato a 6000m.

Negli scenari **DG**, l'accuratèzza planimetrica è attorno a 1 GSD mentre l'accuratèzza altimetrica è compresa fra 3 e 4 GSD; fa eccezione la planimetria del volo a 2000 m, la cui accuratèzza è 0.5 GSD e costituisce una anomalia.

Negli scenari **BASIC** l'accuratèzza planimetrica è di poco superiore a 1 GSD per il volo a 2000 m, attorno a 1 GSD per il volo a 4000 m e vicina a 0.5 GSD per il volo a 6000 m. Per la componente altimetrica si hanno valori di accuratèzza attorno a 2 GSD per il volo a 2000 m, prossimi a 3 GSD per il volo a 4000 m e compresi fra 2 e 3 GSD per il volo a 6000 m. L'uso di 12 GCP invece che 5 introduce in generale miglioramenti del 20-30%, anche se vi sono eccezioni.

Negli scenari **SELF** l'accuratèzza planimetrica è attorno a 0.20 e 0.30 GSD per i voli a 2000 m e 4000 m e scende a 0.15 GSD per la quota 6000 m. L'accuratèzza altimetrica è attorno a 0.3 GSD per i tre voli. Il passaggio da 5 a 12 GCP comporta miglioramenti limitati: in certi casi l'accuratèzza resta in sostanza inalterata, in altri migliora di circa il 10%.

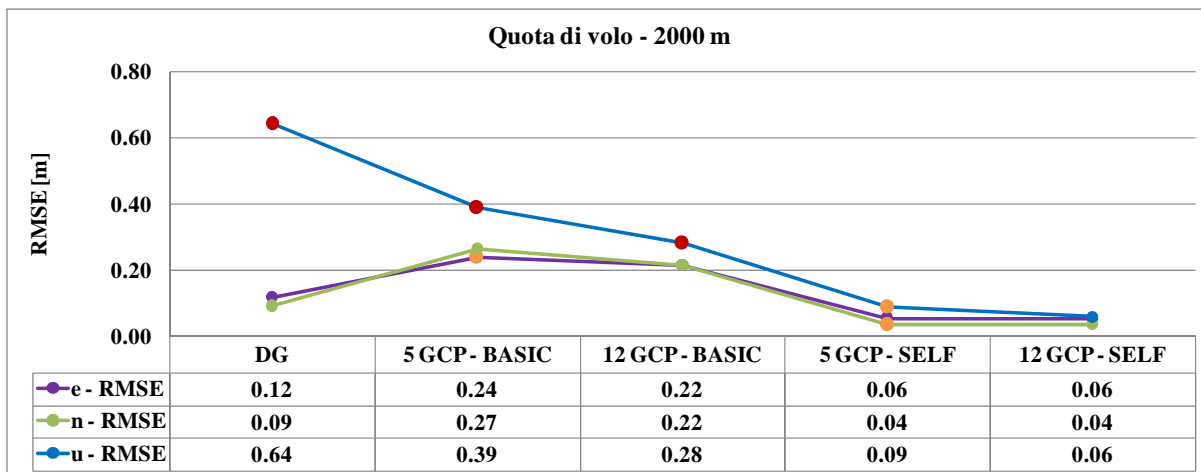


Figura 1. Accuratezze del blocco a 2000 m

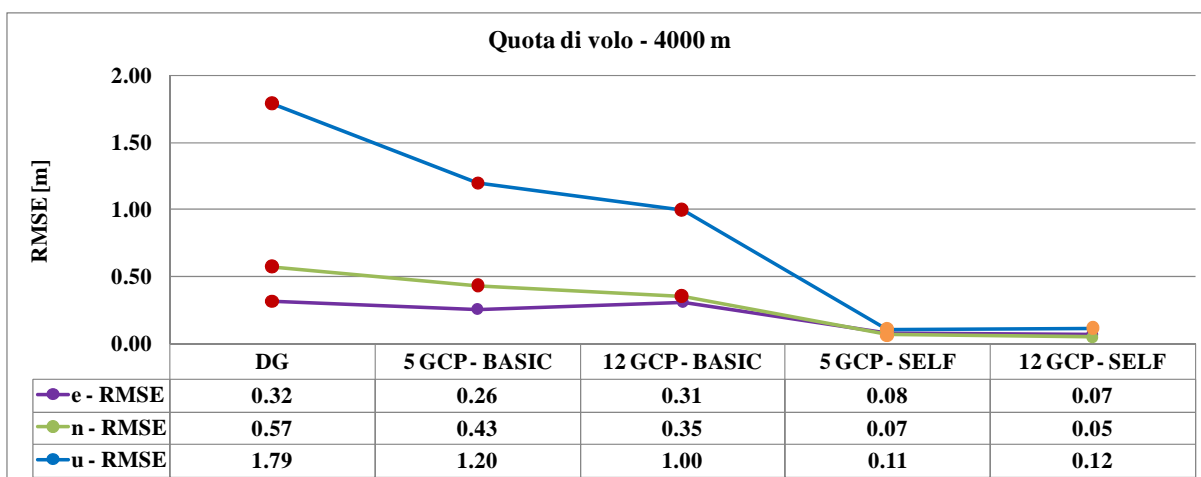


Figura 2. Accuratezze del blocco a 4000 m

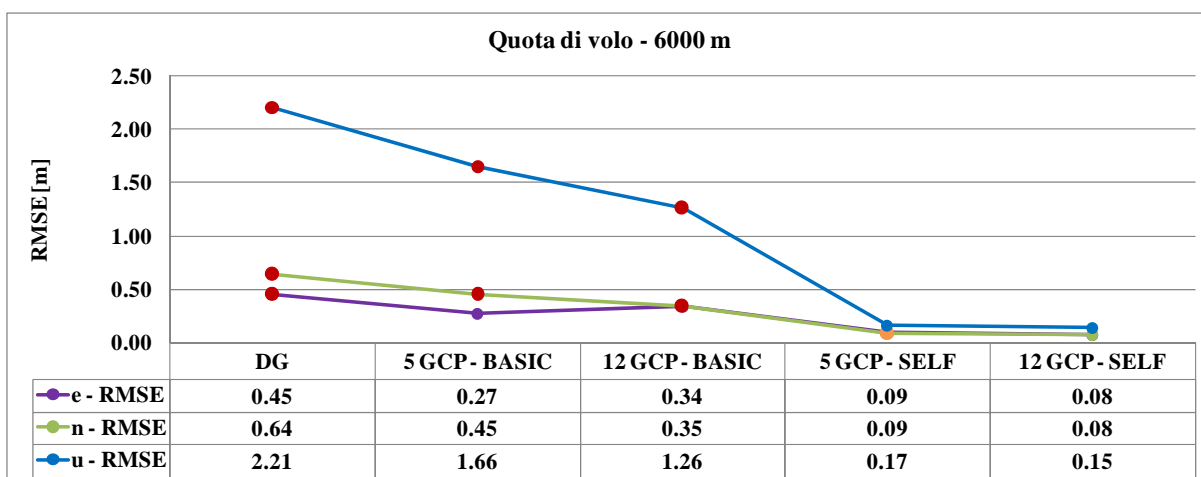


Figura 3. Accuratezze del blocco a 6000 m

## 5. CONCLUSIONI

Sono state valutate le accuratèzze ottenibili dalle immagini ADS40 acquisite sopra il test-site di Pavia in funzione della quota di volo, 2000, 4000 o 6000 m, della modalit  con cui vengono determinati i parametri di orientamento, DG o ISO, del numero di punti di appoggio utilizzati, 5 o 12, e del modello di camera adottato, BASIC o SELF.

Il direct georeferencing non consente di ottenere accuratèzze soddisfacenti. Il calcolo della triangolazione aerea con il modello di camera BASIC non migliora significativamente le cose e non consente di raggiungere la qualit  delle misure che ci si aspetta dalla fotogrammetria. L'introduzione della self-calibration migliora in modo drammatico i risultati e consente di avere accuratèzze davvero molto buone. *La self-calibration   indispensabile per ottenere misure fotogrammetriche di qualit .*

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Casella, V., Franzini, M., Padova, B. (2007). Accuracy assessment of ADS40 imagery as a function of flying height and of aerial triangulation strategies. Atti del V simposio internazionale MMT, (su CD). 29-31 maggio 2007, Padova.
- Cramer, M. (2006). The ADS40 Vaihingen/Enz geometric performance test. ISPR Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , 60 (Issue 6), 363-374.
- Kocaman, S., Zhang, L., Gruen, A. (2006). Self-calibrating Triangulation of Airborne Linear Array CCD Cameras. Euro-COW Workshop, (su CD-ROM). 25-27 gennaio 2006, Castelldefels – Spagna.
- Casella, V., Franzini, M. (2005). La qualit  radiometrica e geometrica della immagini ADS40. Atti del workshop congiunto AIT e SIFET sul Rilevamento Urbano da Piattaforma Aerea e Satellitare, (su CD-ROM). 1-2 dicembre 2005, Mantova.
- Casella, V., Franzini, M., Banchini, G., Basili, D., Gentili, G. (2005). La qualit  radiometrica delle immagini ADS40 e la sua influenza sulla precisione di collimazione e di restituzione. Atti della IX Conferenza ASITA, (p. 625-628). 15-18 novembre 2005, Catania.
- Casella, V., Banchini, G. (2004). Verifica della qualit  metriche della camera Leica ADS40. Atti della VIII Conferenza ASITA, (p. 1983-1988). 14-17 dicembre 2004, Roma.
- Hinsken, L., Miller, S., Tempelmann, U., Uebbing, R., Walker, S. (2002). Triangulation of LH Systems'ADS40 imagery using ORIMA GPS/IMU. Atti del simposio ISPRS commissione III, (su CD). 9-13 settembre 2002, Graz, Austria.
- Brown, D. C. (1976). The Bundle Adjustment - Process and Prospects. Presentazione invitata al XIII Congresso ISPRS commissione III. Helsinki.

## 7. RINGRAZIAMENTI

La ricerca descritta nel presente articolo   stata svolta nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale intitolato "Analisi, comparazione e integrazione di immagini digitali acquisite da piattaforma aerea e satellitare", cofinanziato del MIUR per l'anno 2005, avente come coordinatore nazionale il prof. Sergio Dequal del Politecnico di Torino.

Si vuole inoltre ringraziare CGR – Compagnia Ripreseareee - di Parma per aver gentilmente messo a disposizione le immagini utilizzate per lo studio.