

Analisi sperimentale sulla qualità metrica della camera aerofotogrammetrica DMC

Livio Pinto (*), Giovanna Sona (**)

Politecnico di Milano, DIAR - Sezione Rilevamento, P.zza Leonardo Da Vinci 32, 20133 Milano

(*) tel. 02 2399 6525, Fax 02 2399 6530, e-mail: livio.pinto@polimi.it

(**) tel. 02 2399 7521, Fax 02 2399 6530, e-mail: giovanna.sona@polimi.it

Riassunto esteso

L'utilizzo di immagini analogiche con DPW prevede la scansione delle immagini per ottenere l'immagine trasformata in matrice di numeri: ad ogni pixel è associato un valore numerico intero, che ne esprime la risposta radiometrica, in funzione della risoluzione radiometrica scelta (2ⁿ valori interi possibili). Il problema principale è quale sia il valore ottimale di risoluzione geometrica di scansione del fotogramma analogico per consentire una buona restituzione cartografica. Per valutare tale parametro occorre analizzare la funzione di trasferimento della modulazione (MTF) dell'immagine. La valutazione della MTF si basa su test specifici, quali *l'edge response* e il *Siemens star test* (Jacobsen, 2008). Negli ultimi anni sono stati prodotti differenti test di confronto tra immagini fotogrammetriche aeree di tipo analogico digitalizzate a varie risoluzioni (5, 10, 15 e 20 μm), e immagini acquisite direttamente digitali, la cui risoluzione geometrica varia in funzione del tipo di camera. Valutando i risultati dei test svolti sulle immagini digitali e su quelle analogiche digitalizzate, si perviene alle seguenti considerazioni:

- dalle immagini analogiche digitalizzate a 5 μm si ricavano le stesse informazioni di quelle digitalizzate a 20 μm ;
- le immagini analogiche danno gli stessi risultati nell'*edge response* e nel *Siemens star test* delle immagini digitalizzate a 20 μm .

Da queste sperimentazioni si può concludere che, per l'attuale tecnologia sul mercato, la digitalizzazione di immagini con una risoluzione inferiore a 20 μm comporta solo un aumento nel volume di memoria delle singole immagini, maggior tempo per la scansione e per la successiva elaborazione e nessun miglioramento in termini di informazione. Dal punto di vista delle camere digitali, invece, grazie al continuo sviluppo tecnologico dei sensori allo stato solido (le dimensioni dei pixel utilizzati oggi nelle camere digitali variano da 7 a 12 μm) si possono ottenere risoluzioni geometriche e radiometriche uguali, e anche migliori, di quelle da immagini analogiche, con l'ovvio vantaggio di ridurre i costi e i tempi dedicati e al post processing delle immagini (senza contare le distorsioni indotte all'immagine dai trattamenti in camera oscura), e spesso riducendo anche i tempi di ripresa.

Al contrario delle camere analogiche, le camere digitali aeree presenti attualmente sul mercato hanno lunghezze focali e formati delle immagini molto diversi fra loro, scelte costruttive dei sensori differenti, e differenti composizione delle immagini parziali, a colori, pancromatiche o multispettrali. Lasciando ad una prossima pubblicazione l'analisi estesa a tutto il panorama commerciale delle camere aeree, si prende qui in considerazione la sola camera DMC della Z/I.

La camera (Hinz et alii, 2001) è composta da un corpo esterno sul quale sono montati due gruppi di obiettivi. Il primo è costituito da quattro coni, posti in posizione centrale, per il canale pancromatico; il secondo è posizionato esternamente al corpo centrale e consta di 4 coni che leggono il canale multispettrale (rosso, verde, blu e infrarosso). Le quattro immagini pancromatiche vengono assemblate tramite un software di post-processamento per creare l'immagine virtuale usata a scopi fotogrammetrici.

Per il pancromatico, la focale utilizzata è di 120 mm, la dimensione del pixel è di 12m e la dimensione del sensore è di 13824 x 7680 pixel. Le singole immagini multispettrali coprono circa la stessa porzione di terreno al suolo dell'immagine virtuale pancromatica grazie all'uso di una focale minore (25 mm) rispetto a quella del pancromatico.

La varietà di caratteristiche costruttive delle camere digitali rende difficile il loro confronto negli usuali termini di soli parametri di orientamento interno (lunghezza focale) e parametri di progetto delle prese (quota di volo, ricoprimenti, base di presa, etc); occorre tener conto anche delle dimensioni del sensore e della sua risoluzione geometrica.

Il modo più corretto per valutare la risoluzione di un'immagine digitale, o analogica scannerizzata, è quello di prendere in considerazione l'area di superficie dell'oggetto la cui immagine, proiettata sul sensore, copre la superficie di un pixel: la *Ground Sampling Distance* (GSD). Per valutare la GSD dobbiamo tenere conto della quota di volo (Z), della lunghezza focale della camera utilizzata (c) e della dimensione del pixel (d_{pixel}) secondo l'equazione:

$$GSD = \frac{Z \cdot d_{pixel}}{c} = m_b \cdot d_{pixel} \dots \dots \dots (1)$$

L'equazione (1) definisce il GSD *nominale* (o teorico), ma è stato dimostrato tramite le curve della MTF che occorre nella pratica tener conto di un GSD effettivo, ottenibile dal GSD nominale tramite una correzione che dipende dall'illuminazione (elevazione del Sole), dalle condizioni atmosferiche, dalla dimensione del pixel e dal sistema ottico (Lingua, Nex, 2008):

$$GSD_{effettivo} = f \cdot GSD_{nominale} \quad (2)$$

Studi effettuati all'Università di Hannover (Jacobsen, 2008), presso la test area Franklin Mills, hanno fornito i fattori di correzione f per alcune camere digitali, basandosi sull'*edge analysis* e sullo studio della ampiezza della *Point Spread Function*, (risposta del sensore a una sorgente luminosa puntiforme). La camera DMC Z/I è risultata avere un coefficiente f pari a 0.92, vale a dire un valore a favore di sicurezza del quale occorre tener conto nei calcoli.

I parametri fondamentali di progetto in un rilievo fotogrammetrico sono:

- La scala della carta;
- La scala del fotogramma;
- Il GSD;
- L'altezza di volo (Z);
- L'ingombro del fotogramma a terra.

Usando come riferimento le immagini analogiche digitalizzate a 20 μ m e fissando la scala del fotogramma (in base allo scopo del rilievo e della scala di carta da produrre) si calcola il GSD dalla (1) e, noti la focale (c) e il lato del fotogramma (l), è possibile ricavare i parametri di progetto tramite le note relazioni di similitudine (3):

$$Z = c \cdot m_b \quad ; \quad q = l \cdot m_b \quad (3)$$

Questi parametri si possono valutare anche per le camere digitali, indipendentemente dai risultati delle camere analogiche oppure, a parità di GSD delle camere analogiche, è possibile calcolare i parametri di una camera digitale. In questo modo è possibile effettuare confronti tra una ripresa con camera analogica e con camera digitale. Molte camere digitali, a differenza di quelle analogiche, hanno un sensore rettangolare con il lato minore parallelo alla direzione di volo e quello maggiore perpendicolare alla direzione stessa. Ciò comporta un maggior numero di fotogrammi nella singola strisciata, con corrispondente diminuzione della base di presa, ma un minor numero di strisciate in quanto il lato maggiore è superiore a quello delle camere analogiche. Riportiamo nella tabella 1 le quote di volo e gli ingombri a terra sviluppati per la camera DMC e per quattro differenti scale della carta: 1:1000, 1:2000, 1:5000 e 1:10000 calcolati a partire dal GSD di una corrispondente ripresa con camera analogica e scala di ripresa canonica.

Tabella 1 – Parametri di presa per cartografia a grande e media scala per la camera DMC.

Scala carta	mb medio analogico	GSD _{effettivo} (cm)	GSD _{nominale} (cm)	Quota di volo (m)	Ingombro = L x l
					(m) x (m) => (ha)
1:1000	1:4500	9	9.78	978	1352 x 751 =
					101.5
1:2000	1:7000	14	15.22	1522	2104 x 1169 =
					245.9
1:5000	1:13000	26	28.26	2826	3907 x 2170 =
					847.9
1:10000	1:22000	44	47.83	4783	6612 x 3573 =
					2428.4

Dalla tabella si deduce che, rispetto alla camera analogica, la quota di volo calcolata per le varie scale di carta prese in analisi aumenta di circa il 50% in funzione delle minori dimensioni del pixel e della focale; inoltre la geometria rettangolare del sensore della DMC fa sì che si abbiano più fotogrammi per ogni strisciata (rispetto ad una normale ripresa analogica) per via della riduzione della base di presa e a causa del posizionamento del lato minore parallelo alla direzione di volo. Dalle equazioni (4) (precisione nel caso normale):

$$\begin{aligned} \sigma_x &= m_b \cdot \sqrt{\left(\frac{f}{c} * \frac{Z}{B}\right)^2 \cdot \sigma_{p\xi}^2 + \sigma_\xi^2} \\ \sigma_y &= m_b * \sqrt{\left(\frac{\eta}{c} * \frac{Z}{B}\right)^2 \cdot \sigma_{p\xi}^2 + \sigma_\eta^2} \\ \sigma_z &= m_b * Z * \frac{\sigma_{p\xi}}{B} \end{aligned} \quad (4)$$

si ricava che le precisioni sia planimetrica che altimetrica peggiorano a causa della riduzione della base B: Questo effetto è però compensato dalla diminuzione di $\sigma_{p\xi}$, riconducibile, tramite un coefficiente $\sqrt{2}$, a σ_ξ , cioè una frazione della dimensione del pixel.

Volendo analizzare più in profondità questa problematica è possibile invertire le equazioni (4) ricavando le precisioni σ_ξ e σ_η . Ciò può essere fatto se si suppone nota la geometria di presa e, al posto delle σ_x , σ_y e σ_z , si inseriscono i corrispondenti valori di riferimento per le differenti scala di carta, facilmente reperibili nei capitolati d'appalto (si è utilizzato σ_{pl} come precisione della coordinate planimetriche). In tabella 2 sono riportati i risultati di tale analisi per le quattro principali scale di carta (1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000) evidenziando, per brevità, solo i risultati ottenuti dalla terza equazione (4) (riguardante la precisione in quota) e la seconda (avendo preso il caso più sfavorevole di un punto sul bordo più lontano dell'immagine rettangolare). I risultati si riferiscono alla camera digitale DMC Z/I comparata al valore di riferimento ottenuto con una immagine analogica digitalizzata a 20 μ m di dimensione del pixel (ultima colonna).

Tabella 2 – Precisione di misura su immagini DMC per garantire le precisioni di capitolato.

Scala carta	GSD _{effettivo} (cm)	mb DMC	Sigma Z [cm]	Sigma pl [cm]	σ_ξ digit. [1/ps]	σ_η digit. [1/ps]	σ_ξ anal. [1/ps]
1:1000	9	1:8150	20	20	0.4	0.6	1.0
1:2000	14	1:12680	30	40	0.4	0.8	0.9
1:5000	26	1:23550	60	100	0.5	1.1	1.0
1:10000	44	1:39860	90	200	0.4	1.3	0.9

Confrontando i valori in termini di frazione di dimensione del pixel (6^a e 7^a colonna) è evidente che per raggiungere le medesime precisioni le immagini digitali devono fornire delle prestazioni migliori rispetto alle immagini analogiche digitalizzate (8^a colonna). In pratica, per garantire la precisione in quota (che, a causa della geometria sfavorevole, necessita di migliori prestazioni di misura) alle differenti scale, occorre misurare punti con precisione di circa ½ pixel, circa il doppio di quello che basterebbe con camera analogica. Garantire la precisione planimetrica risulta essere meno problematico soprattutto alle medie scale.

Per verificare praticamente quanto appena affermato è stato effettuato un test prendendo in analisi una serie di blocchi fotogrammetrici acquisiti con camera DMC Z/I sulla zona nord della Regione Calabria. Si tratta delle riprese completate nel 2008 per la realizzazione di 3 lotti di cartografia alla scala 1:5000 della Regione: in totale circa 6600 immagini acquisite su due differenti quote di volo su terreno molto accidentato alla scala media 1:20000. Per maggiori informazioni in merito si rimanda ad un paio di pubblicazioni inserite negli atti di questa conferenza (Borrelli et. Alii, 2010 (1) e (2)). Per una analisi della precisione planimetrica e altimetrica delle immagini e della loro idoneità alla realizzazione di cartografia alla scala 1:5000 si sono confrontate le precisioni ottenute a valle del processo fotogrammetrico di restituzione: ipotizzando che le fasi intermedie per ricavare la cartografia siano affette da errori distribuiti normalmente e con media e varianza dello stesso ordine di grandezza di quella ricavabile con riprese di tipo analogico; l'analisi delle discrepanze tra coordinate dei punti misurate sulla restituzione e direttamente sul terreno fornisce, a posteriori, una validazione dell'assunto di base, cioè che la precisione della ripresa effettuata con camera digitale avente medesimo GSD di una ripresa "canonica" effettuata con sensore analogico, non risente della più scadente geometria di presa.

In questa sede, per brevità, si riportano i soli risultati ottenuti. I punti di controllo planimetrici sono 528 mentre quelli altimetrici sono in totale 270; essi sono stati determinati con strumentazione GNSS su 20 zone scelte in modo omogeneo: aree pianeggianti, collinari e montuose.

La statistica delle differenze mette in luce una differenza media in planimetria di 60.4 cm e uno sqm di 38.3 mentre in altimetria una media di 30.2 cm con un sqm di 56.8 cm. L'RMS complessivo vale rispettivamente 71.5 cm e 64.3 cm, corrispondenti a circa $3.2 * GSD_{\text{effettivo}}$ in planimetria e $2.9 * GSD_{\text{effettivo}}$ in altimetria. I valori metrici sono perfettamente in linea con la precisione prevista dai capitoli per questa scala di carta. Non si ravvisano, se non solo leggermente, differenze in funzione della quota dei punti: orografia più accidentata sembra non influenzare la precisione del prodotto finale.

Bibliografia

- Borrelli S., Caracciolo T., Dongiovanni N., Marra V., Pandiscia G.V., Pedicini N., Pellicano A., Pinto L., Scarnati S., Surace L. (2010). Strutturazione e implementazione dati Dbt 5k secondo le più recenti Specifiche Cnipa. In: Atti della XIII Conferenza Nazionale ASITA. Brescia. In pubblicazione.
- Borrelli S., Caracciolo T., Maffei A., Marra V., Pandiscia G.V., Pellicano A., Pinto L., Scarnati S., Surace L. (2010). Il controllo in corso d'opera del DB topografico della Regione Calabria. In: Atti della XIII Conferenza Nazionale ASITA. Brescia. In pubblicazione.
- Lingua A., Nex F. (2008). The semantic information of images acquired by aerial digital sensors in cartographic and environmental applications. In: The Intern. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXVII., part B4, Beijing.
- Jacobsen K. (2008). Tells the number of pixels the truth? Effective resolution of large size digital frame cameras. In proceeding of: ASPRS 2008 Annual Conference. Portland, Oregon.
- Hinz A., Dörstel C., Heier H. (2001). DMC-The digital sensor technology of Z/I-Imaging. In: Photogrammetric Week 2001, . D. Fritsch/R. Spiller editors, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 93 – 103.