

## **MODELLI PER LA GENERAZIONE DI ORTOFOTO DIGITALI A MEDIA SCALA DA SENSORE DIGITALE LEICA ADS40**

Eva Savina MALINVERNI (\*), Stefano BELLESI (\*\*)

(\*) Università Politecnica Marche - Facoltà di Ingegneria – DARDUS, Via Brece Bianche – 60131 Ancona  
e-mail: e.s.malinverni@univpm.it

(\*\*) Regione Marche - PF Informazioni Territoriali e Beni Paesaggistici, Via Tiziano, 44 – 60100 Ancona  
e-mail: stefano.bellesi@regione.marche.it

### **Abstract:**

Nell'ambito di un accordo di ricerca tra la Regione Marche e l'Università Politecnica delle Marche per la produzione e l'aggiornamento di carte uso del suolo, è stato eseguito un test per determinare la metodologia corretta per la realizzazione di ortofoto alla scala 1:10000 da camera digitale Leica ADS40. Pur nella loro apparente semplicità d'uso le due procedure presentate risultano alquanto diversificate e complesse in quanto richiedono di considerare correttamente gli elementi preposti alla produzione di un'ortofoto (dati del sensore, parametri di orientamento, DTM) e soprattutto richiedono di controllare la coerenza dei dati usati nel processo con il sistema di riferimento scelto. Le ortoimmagini così ottenute sono state poi sottoposte ad un test per la verifica dei requisiti di precisione per il loro utilizzo a scopi ambientali impiegando come dati di riferimento alcuni vertici geodetici della rete di raffittimento GPS7 della Regione Marche.

This research is part of a wider project whose main objective is to develop a Corine Land Cover class based automatic classification methodology starting from Leica ADS40 high resolution digital images. The data were provided by Regione Marche Institution thanks to a Research Agreement signed together with the Università Politecnica delle Marche. The first step has been the selection of a correct methodology to realize orthoimages according to the national rules for map at the scale 1:10000. The different procedures require to consider correctly the parameters which are necessary for the orthoimage production (inner and exterior orientation, DTM) and their congruity with the choose reference system. We have compared the results in GIS environment testing the accuracy by means of some vertices of the GPS7 geodetic network of the Regione Marche.

### **Generalità**

Nell'ambito di un accordo di ricerca siglato tra la Regione Marche e l'Università Politecnica delle Marche per l'analisi e l'utilizzo di sensori digitali ad alta risoluzione per la produzione e l'aggiornamento della Carta Uso del Suolo, è stato eseguito un test per determinare la metodologia corretta per la produzione di ortofoto da camera digitale Leica ADS40. La copertura del territorio marchigiano è stata eseguita nel periodo giugno/luglio 2007 da parte della Compagnia Generale Ripresearee (CGR), che su bando di gara ha concesso in licenza d'uso alla Regione Marche il materiale stesso. Le riprese sono state eseguite in periodi ed ore tali da garantire la migliore leggibilità delle immagini adottando una focale 62,4 mm, che conseguentemente alle variazioni del terreno e un valore medio della quota di volo di circa 6700 m, ha prodotto una scala media dei fotogrammi pari a 1:107710 con un abbracciamento longitudinale pari a 5385 m. Questo ha permesso la formazione di strisciate Est-Ovest in un numero complessivo di 36 per una copertura di 9.694 km<sup>2</sup> dell'intero territorio. Lo schema delle strisciate è riportato in Figura 1.

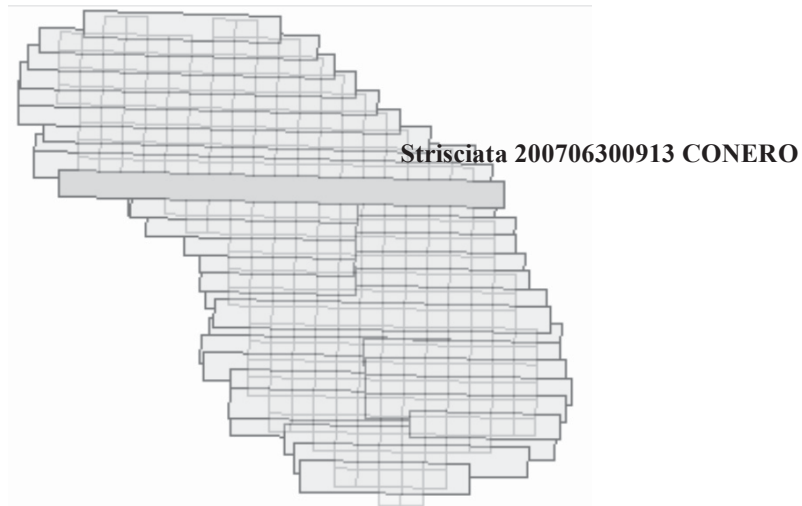


Figura 1 Strisciate acquisite con Leica ADS40 sulla Regione Marche con evidenziata la scena test

Il sensore digitale Leica ADS40 presenta caratteristiche innovative rispetto ai tradizionali sensori aviotrasportati in quanto comune per certi aspetti alla tecnologia del telerilevamento di ultima generazione. Esso si basa su 3 gruppi di sensori CCD lineari con una elevata risoluzione geometrica ( $GSD < 1$  m.) che consentono la registrazione contemporanea di immagini pancromatiche, a colori e multispettrali. La tecnica con la quale la camera è realizzata consente diverse disposizioni dei sensori sul piano focale, nel caso particolare la configurazione da noi testata ha il solo sensore RGB nadirale mentre i due sensori Pancromatici e quelli del Falso Colore sono inclinati in posizione *forward* e *backward*. L'asimmetria di tali disposizioni può apportare in alcuni casi sostanziali benefici come la possibilità di potere scegliere tre diverse configurazioni di visione stereoscopica (*Forward/Nadir*, *Backward/Nadir*, *Forward/Backward*) e di evitare singolarità nelle formule matematiche usate nel processo di triangolazione aerea ma può anche causare nelle prese inclinate un accentuato effetto prospettico (vedi il Falso Colore).

Un'ulteriore differenza di questo sensore rispetto ai sistemi satellitari è la maggior flessibilità e tempestività nell'impiego operativo e la possibilità di una copertura omogenea e continua di grandi aree di territorio con strisciate virtualmente illimitate. Infatti per un'intera strisciata la scansione di ogni linea è chiamata scena e si compone di 12000 pixel con dimensione di  $6,5 \times 6,5$  micron con una risoluzione radiometrica di 16 bit per canale (Fricker et al., 2003). Tale profondità radiometrica garantisce risultati migliori per applicazioni di tipo ambientale ottenute mediante processi di segmentazione e classificazione automatica (per esempio la produzione di carte uso del suolo).

Per la georeferenziazione diretta delle immagini registrate viene impiegata la tecnologia APPLANIX POS/AV. Il dato presenta un primo livello (L1) di correzione che consiste in un allineamento delle strisciate mediante le informazioni fornite dal sistema GPS/IMU solidale alla camera e attivo durante la fase di acquisizione in volo. Tale sistema garantisce in modalità cinematica un'accuratezza di posizionamento del sensore nell'ordine del decimetro mentre il sistema IMU calcola i tre angoli di assetto del velivolo: rollio, beccheggio e deriva. I dati GPS sono riferiti al sistema geocentrico WGS84. Le specifiche di tale tecnologia sono tali che l'orientamento risultante può andar bene per certi tipi di prodotti, ma non può soddisfare requisiti di accuratezza per rilievi che richiedono una maggiore affidabilità. Quindi una volta calcolata la traiettoria di ogni scena si deve avviare un processo di triangolazione aerea mediante una serie di punti di appoggio a terra ed eventuali punti di legame per risolvere la linearizzazione delle equazioni di collinearità (ORIMA) (Hinsken et al., (2002)). A questo deve fare seguito la correzione degli spostamenti altimetrici del terreno e una corretta georeferenziazione nel sistema cartografico prescelto che genera un'immagine al secondo livello (L2): un'ortofoto digitale. In Tabella 1 sono mostrati i parametri di riferimento al livello L1 di una delle strisciate relative all'area test (Provincia di Ancona-Monte Conero).

<b>Strisciata 200706300913 CONERO realizzata in data 30-06-2007 (L1)</b>				
<i>Caratteristiche del sensore</i>				
<b>Camera</b>	<b>Software</b>	<b>Focale camera</b>	<b>Risoluzione dell'immagine</b>	
ADS40	GPRO 2.1	62.4 mm	16 bits	
<i>Caratteristiche del volo</i>				
<b>Quota di volo</b>	<b>Scala del fotogramma</b>	<b>Omega</b>	<b>Phi</b>	<b>Kappa</b>
6268 m	100452	0.0	0.0	1.4
<i>Sistema di proiezione</i>				
<b>Datum</b>	<b>Proiezione</b>	<b>Fuso</b>	<b>GSD</b>	
WGS84	UTM	33	0.65294 m	

*Tabella 1 Caratteristiche della strisciata 200706300913 zona Ancona-Monte Conero*

### **Caratteristiche di un'ortofoto digitale alla scala 1:10.000 per applicazioni ambientali**

Nella sperimentazione di seguito presentata sono state seguite le Linee Guida per "Ortofoto Digitali alla scala nominale 1:10000" per applicazioni prevalentemente ambientali, curate dall'IGM e l'AGEA (Ortofoto Digitali alla scala nominale 1:10.000 del 31-03-2006). Secondo tali norme un'ortoimmagine deve avere innanzitutto una risoluzione geometrica che si attesti mediamente intorno al metro. Specifiche a livello internazionale mostrano valori prevalentemente compresi tra 0,625 m e 1,25 m. Nel caso delle immagini messe a disposizione dalla Regione Marche è stato scelto per la generazione dell'ortofoto un valore di risoluzione geometrica pari a 1 m, partendo da immagini originali con pixel a terra mediamente di 0,67 m.

Per quanto riguarda la risoluzione radiometrica i valori di riferimento sono 8 bit per le ortofoto B/N (256 livelli di grigio) e 24 bit per le immagini a colori. Immagini multispettrali possono essere considerate alla medesima stregua, ovvero 8 bit per banda, solo per immagini a Falso Colore e per le elaborazioni di classificazione va mantenuta la profondità radiometrica originale.

Per quanto riguarda i parametri di accuratezza planimetrica la tolleranza massima ammessa per un particolare puntuale individuato sul terreno mediante tecnologia GPS e sull'ortofoto non deve essere superiore a 4 m, la distanza tra due punti in un raggio superiore a 2 Km non deve eccedere i 6 m, mentre per distanze inferiori è pari a  $4\text{ m} + D/1000$ .

Il sistema di riferimento geodetico da utilizzarsi per la georeferenziazione delle immagini è la realizzazione europea ETRS89 del sistema WGS84.

Nel processo di produzione si utilizzano spesso DEM di livello 1 con passo minore o uguale a 40 m mediante interpolazione di un TIN ottenuto da oggetti tridimensionali quali: punti quotati, punti ottenuti per correlazione d'immagine, profili altimetrici, particolari topografici restituiti e *break-lines*. L'accuratezza del modello altimetrico deve essere pari, in valore assoluto, a 5 m con un errore sistematico in quota, se presente, non superiore a 2,5 m. Le due metodologie messe a confronto per la generazione delle ortoimmagini illustrate nel paragrafo successivo impiegano entrambe un DTM di Livello 1 (a passo 20 metri) prodotto mediante le informazioni altimetriche presenti nella CTR della Regione Marche alla scala 1:10000 e che rispetta ampiamente i criteri definiti sopra.

### **Modelli per la generazione di un'ortofoto digitale da sensore Leica ADS40**

La georeferenziazione è un aspetto cruciale nell'utilizzo di un'immagine come dato cartografico in quanto permette la correzione geometrica del dato *raster* e lo rende solidale ad un determinato sistema di riferimento cartografico consentendone la sua integrazione in una banca dati GIS. Il processo di georeferenziazione si riferisce, in parte, alle tecniche della fotogrammetria classica stabilendo le relazioni funzionali tra spazio oggetto e spazio immagine scegliendo, di volta in volta di operare con modelli differenti a seconda dei dati in possesso.

La prima metodologia impiegata nel presente lavoro astrae dalla conoscenza dei parametri che regolano le relazioni interne ed esterne al sensore ed è basata sull'utilizzo di modelli generalizzati. La soluzione viene così ottenuta impiegando il modello più complesso ma più accurato delle

funzioni razionali, *Rational Function Model* (RFM), basato su rapporti fra polinomi e solamente sulla conoscenza di una serie di informazioni a terra: *Ground Control Point* (GCP). Le incognite del problema sono i coefficienti polinomiali che legano le coordinate oggetto dei GCP con le loro coordinate immagine. Per usare correttamente tale modello si adotta una soluzione terreno-dipendente dove è necessario conoscere inoltre un DEM all'interno della scena ripresa.

Le immagini selezionate nella sperimentazione sono state quelle RGB in posizione prettamente nadirale che hanno consentito una corretta valutazione delle metodologie impiegate nella produzione dell'ortofoto. Al contrario l'immagine Falso Colore ottenuta dalla georeferenziazione dei sensori del rosso, verde ed infrarosso, disposti sul piano focale ma inclinati in posizione *forward* di angoli rispettivamente di 14°, 16°, 18°, risentendo di tale impostazione, non è esente da effetti prospettici nella direzione di volo.

I GCP sono stati localizzati sulle immagini servendosi della base cartografica, la CTR alla scala 1:10.000 della Regione Marche, cercando di individuare elementi emergenti e facilmente riconoscibili nell'area urbana (incroci stradali, basi di edifici, etc.). Dalla loro scelta e precisione dipende l'accuratezza del prodotto finale. L'accuratezza del processo basato sulla selezione di 13 GCP, adottando delle RFC a 6 coefficienti, è così espressa in Tabella 2. Questa procedura non implica nessuna trasformazione di coordinate per il DEM che viene impiegato con quote ortometriche e sistema coerente con il riferimento cartografico selezionato (UTM-WGS84). Pur con precisioni soddisfacenti il modello non è sufficiente a queste risoluzioni per ottenere un buon adattamento alla cartografia; in Figura 2 sono infatti evidenti gli scostamenti tra il tratto cartografico e l'ortoimmagine.

RMS X (pixel)	RMS Y (pixel)	RMS X (metri)	RMS Y (metri)
0.06	0.80	0.04	0.55

Tabella 2 Accuratezza del metodo delle Rational Functions nel software PCI Orthoengine



Figura 2 Ortoimmagine RGB ottenuta col software PCI Orthoengine con superimposta la CTR

L'altra metodologia impiega il metodo più rigoroso, implementato nel software SOCET Set della BAE Systems Mission Solutions Inc. Il SOCET Set contiene il modello del sensore ADS40 che fa sì che le trasformazioni tra Livello 0 e Livello 1 siano compiute in tempo reale. Nel contempo la procedura per passare al Livello 2 e generare l'ortoimmagine tiene conto direttamente dei parametri di triangolazione aerea ottenuti con ORIMA mantenendone così la precisione nella filiera dei prodotti, lo stesso dicasi per generare DTM o fare stereorestituzione.

Le immagini fornite in struttura piramidale formato proprietario ADS si collegano al livello L1 al file ADJ della compensazione ottenuta con ORIMA che fornisce il posizionamento dell'immagine nel sistema UTM WGS84 con quote ellissoidiche. Differenti possono essere le procedure da intraprendere:

- impiego dei parametri ottenuti con la TA nell'ambiente SOCET Set utilizzando in modo coerente un DEM ortometrico trasformato con griglie IGM e software Verto in quote ellissoidiche e sistema planimetrico UTM-WGS84
- impiego dei parametri ottenuti con la TA nell'ambiente SOCET Set convertiti su un modello globale di Geoida (EGM96) da impiegare con un DEM ortometrico e sistema planimetrico UTM-WGS84.

In ogni procedura l'importante è utilizzare in modo coerente le informazioni plano-altimetriche in relazione al sistema di riferimento del sensore. Le precisioni che si ottengono sono legate alle fasi intermedie del processo: orientamento dell'immagine con riferimento a terra, precisioni quindi della TA, verificate con collimazione stereoscopica sui punti di controllo dopo la compensazione con ORIMA (Tabella 3) e necessariamente precisione del DEM utilizzato per il progetto. In questo caso i risultati ottenuti sono molto più soddisfacenti rispetto a quelli del modello polinomiale come è evidente con la coerente sovrapposizione della CTR (Figura 3).

RMS sui punti di controllo (metri)		
X: 0.1968	Y: 0.2298	Z: 0.4440

Tabella 3 Accuratezza della ortorettifica in SOCET set



Figura 3 Ortoimmagine RGB ottenuta col software SOCET Set con sovrapposta la CTR

#### Verifica in ambiente GIS mediante i vertici (GPS7) della Rete geodetica della Regione Marche

Il confronto con una serie di punti GPS7 della Rete geodetica della Regione Marche ubicati nell'area di interesse, per la verifica delle precisioni planimetriche delle ortofoto, ha rilevato che la metodologia utilizzata all'interno del software SOCET Set è la più precisa delle due confrontate riportando sull'immagine RGB nadirale errori inferiori al pixel (<1 m terreno) mentre sull'immagine Falso Colore le deviazioni planimetriche sempre del pixel sono legate alla posizione *forward* del sensore e subiscono uno spostamento nella direzione di volo, con un effetto che si nota maggiormente sui rilevati. La correzione al geoida sia effettuata mediante un modello europeo EGM96 che quello più preciso dell'ITALGEO 2005 da risultati pressochè identici.

La procedura impiegata col software PCI richiede l'intervento in maniera preponderante dell'operatore che deve scegliere e collimare i GCP. Essa quindi porta ad inevitabili errori che non hanno inoltre un sistematismo ma in alcuni casi superano le tolleranze ammesse dalle Linee Guida (dai pochi metri alle decine di metri) (Figura 4).



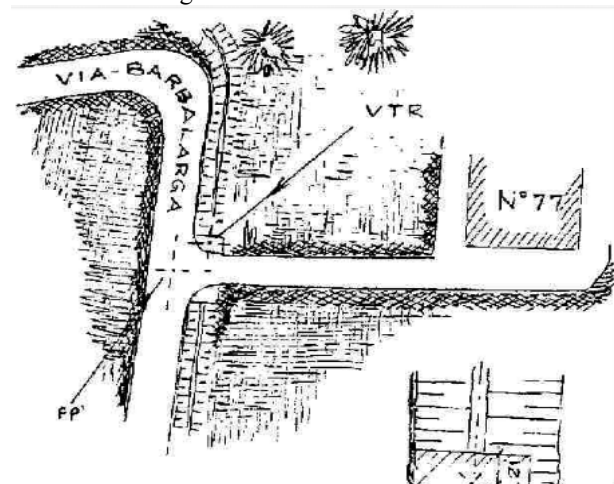
Ortoimmagine Falso Colore ottenuta con Socet Set



Ortoimmagine RGB ottenuta con Socet Set



Ortoimmagine ottenuta con PCI-Orthoengine



Vertice Rete GPS7 n° 118616 - Osimo (AN)

Figura 4 Verifica di posizionamento su un vertice GPS7 della rete geodetica delle Marche

## Conclusioni

La camera digitale ADS40 ha avuto conferma di essere un sensore versatile, il cui impiego apporta vantaggi nei vari settori applicativi della cartografia. Pur nella loro apparente semplicità d'uso le due procedure per la generazione di ortoimmagini qui impiegate risultano alquanto diversificate e complesse in quanto richiedono che nei vari *step* vengano considerati correttamente gli elementi preposti alla produzione di un'ortofoto (parametri di orientamento, DTM, dati del sensore) e soprattutto richiedono di controllare la coerenza dei dati impiegati nel processo con il sistema di riferimento scelto. Infatti l'impiego di modelli altimetrici del terreno definiti su quote ortometriche, può provocare imprecisioni planimetriche se impiegati con modelli di georeferenziazione basati su ellissoidi come il WGS84, riferimento anche per l'altimetria della triangolazione aerea delle strisciate. E' quindi necessario prestare molta attenzione al riferimento in quota per pervenire a risultati coerenti con le specifiche richieste.

## Bibliografia

- Fricke P., Saks T. (2003), ADS40, digital airborne sensor and workflow, Photogrammetrische Woche, Stuttgart, Germany.
- Hinsken L., Miller S., Tempelmann U., Uebbing R., Walker S. (2002), Triangulation of LH Systems' ADS40 imagery using ORIMA GPS/IMU, ISPRS Comm. III – Symposium, Graz, Austria.
- Linee Guida Ortofoto Digitali alla scala nominale 1:10.000, a cura di IGM AGEA, 31/03/2006.