

Sistemi Multi-Sensore Aeroportati per il Rilievo Territoriale Flessibile

- La mappatura della superficie terrestre è oggi un campo in cui un discreto numero di tecnologie diverse competono in un mercato decisamente sofisticato. Le tecniche per il rilievo satellitare, quelle per il rilievo con sistemi laser scanner e quello basato sulle tecniche SAR, sono solo alcuni dei nuovi metodi e delle nuove tecnologie applicati con successo e quindi consolidati sicuramente nella tecnica. Nonostante i metodi aero-fotogrammetrici classici abbiano dominato per lungo tempo, si reputa che negli ultimi anni l'affacciarsi di un diverso mercato e con esso diversi modelli di business, orientati alla ottimizzazione della produzione, quindi un'alta efficienza ed un sostanziale aumento della produttività. Caratteristiche queste sicuramente ben viste dagli operatori del settore e dalla committenza in genere.
- Nell'articolo che segue, estratto dall'edizione Mapping & Cartography di GIM International, la disamina su come le tecniche di geo-referenziazione di immagini possano essere impiegate per ottenere tempi produttivi ottimizzati, considerando che l'accuratezza di 0.2-0.3 m (RMS), attualmente raggiungibile con molte applicazioni aerotrasportate, è spesso sufficiente in molteplici applicazioni orientate al mapping e che richiedono un forte ciclo di aggiornamento

Negli ultimi due decenni le scienze di base per la mappatura territoriale si sono costantemente rivolte verso il digitale, facendo anche uso degli sviluppi multidisciplinari caratteristici del settore della geomatica. L'evoluzione dai metodi analogici a quelli digitali, unitamente agli sviluppi nell'Information Technology, hanno portato alla creazione di diversi sistemi in grado di risolvere problemi in una frazione di tempo esigua non rapportabile ai tempi che necessiterebbero normalmente ad un tecnico esperto; la fotogrammetria, in questo modo, è passata dall'essere "l'arte che evita il calcolo" all'essere "l'arte che sfrutta il calcolo".

Tempi di ritorno più brevi

Gettando un occhio ai problemi ancora da risolvere, sembra che essi rimarranno tali ancora per un po'; l'acquisizione delle immagini è la parte della fotogrammetria che si trova un passo indietro rispetto ai recenti sviluppi di cui tutto il settore ha beneficiato. Le camere ad alta precisione, infatti, lavorano ancora con metodi di acquisizione analogici anche se poi le immagini vengono comunque digitalizzate per renderle utilizzabili su computer. All'interno di progetti fotogrammetrici molto ampi, la digitalizzazione trae vantaggio grazie a tempi di ritorno più brevi. Allo stesso tempo, l'utilizzo di valori di precisione all'interno dei parametri sull'orientamento esterno permette la riduzione dei tempi di elaborazione nella correzione dei blocchi fotogrammetrici, riducendo i cicli di iterazione per ottenere la convergenza. Due delle possibili stra-

tegie per ottenere tempi di elaborazione inferiori sono la geo-referenziazione e l'impiego di camere digitali.

Geo-referenziazione

I parametri sull'orientamento esterno, tre traslazioni e tre rotazioni, descrivono essenzialmente il movimento di un corpo rigido nello spazio. Se un sistema in grado di misurare il moto di un corpo rigido potesse essere installato su un aereo, allora le traslazioni e le rotazioni dell'aereo stesso potrebbero essere determinate direttamente rispetto ai vettori che variano. Il processo di determinazione di suddetti valori attraverso sensori indipendenti viene spesso chiamato geo-referenziazione.

Se oggi si può parlare di geo-referenziazione in maniera più immediata è grazie all'avvenuta integrazione delle misurazioni effettuate attraverso le Unità di Misurazione Inerziale (IMU) con quelle effettuate tramite GPS differenziali (DGPS). L'integrazione IMU/DGPS fornisce parametri sull'orientamento e la traslazione per l'aereo come soluzioni di un sistema di equazioni differenziali.

Sistemi Multi-Sensori Aeroportati

I sistemi mobili multi-sensori consistono in due componenti principali: uno per le immagini ed uno per la georeferenziazione. Il primo può essere una ca-

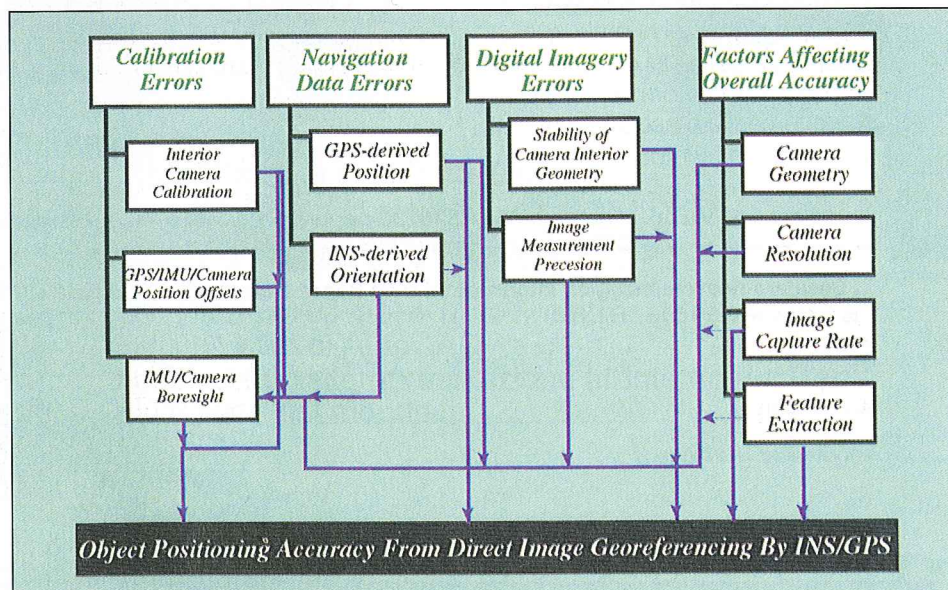


Fig. 1 - Diagramma dei fattori chiave per la georeferenziazione di immagini con GPS/INS.

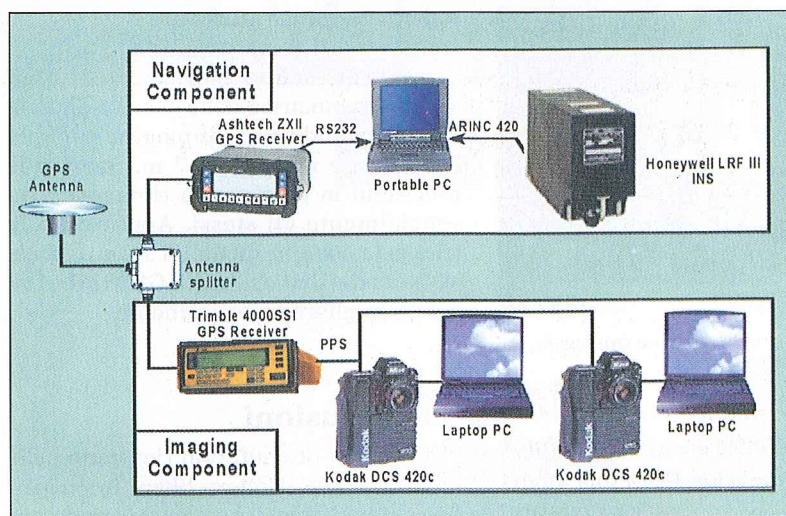


Fig.2 - Configurazione hardware del sistema.

mera ottica o digitale, uno scanner multispettrale, un sistema radar interferometrico o un sistema di laser scanner.

Se le camere digitali sono impiegate per la cattura di immagini, e le stesse fossero fissate sullo stesso corpo rigido come l'IMU (Piattaforma Inerziale) e l'antenna GPS, allora i parametri sull'orientamento esterno potrebbero essere determinati semplicemente interpolando i vettori della traslazione e della rotazione al momento dell'esposizione. Questi parametri possono poi essere stampati su ciascuna immagine digitale. In questo modo il complesso problema del posizionamento in dipendenza del tempo può essere trasformato in un problema spaziale dal quale il tempo come variabile viene eliminata del tutto. Questo, chiaramente, implica una accurata sincronizzazione del tempo in tutti i sensori. Le immagini digitali georeferenziate che si ottengono diventano così le fondamenta di tutto il processo di mappatura digitale del territorio.

Autosufficienza

Un sistema multi-sensore è completamente autosufficiente. Questo significa che solo i dati raccolti all'interno dell'aereo sono necessari per la soluzione del problema del posizionamento. Il tutto risulta essere indipendente dal controllo a terra in quanto il GPS, connettendosi all'interno di un sistema di satelliti terrestri orbitanti, riferirà i risultati ad una struttura fissata e centrata a livello di coordinate a terra, il WGS 84. Il modello degli errori che si presenta risulta essere piuttosto complesso (Fig. 1). I sistemi multi-

sensori forniscono quindi una soluzione integrata ai problemi, un'acquisizione dati rapida, una piena archiviazione degli stessi, sia nel *post-mission* che nel *post-processing*.

Il prototipo multi-sensore

Per esplorare le capacità di un sistema multi-sensore sono stati integrati un DGPS/IMU e una camera digitale, la cui configurazione impiegata è quella in Fig. 2, ovvero:

- I dati di georeferenziazione vengono raccolti mediante un sistema SINS (Strapdown INS) di navigazione inerziale del tipo Honeywell LRF III e una coppia di ricevitori GPS Ashtech ZXII, connessi ad un PC portatile per l'acquisizione dei dati ed il loro immagazzinamento.
- La sincronizzare del sistema SINS, il GPS e i dati delle immagini avvengono in una singola struttura temporale, le acquisizioni del sistema SINS vengono visualizzate in tempo reale median-

te un ricevitore GPS Ashtech con opzione PPS. Un GPS simile viene invece impiegato per registrare l'istante esatto in cui una immagine viene catturata da una delle camere. Inoltre, tutti i dati vengono sincronizzati con il tempo GPS durante l'archiviazione.

- Le immagini sono ottenute mediante due camere digitali Kodak DCS420c (1.5kx1k) a basso costo; una delle quali è in posizione al nadir, mentre l'altra è montata obliquamente di circa 30 gradi al nadir. Simulazioni molto dettagliate hanno dimostrato come questa configurazione a camere doppie compensi nel migliore dei modi la scarsa intersezione geometrica della singola camera (Fig. 3).

Calibrazione del sistema

L'operatività del sistema è affidata anche alla fase di calibrazione, necessaria ad estrapolare le posizioni derivate-GPS, i parametri di comportamento derivati-SINS e le coordinate dei punti oggetti derivati dall'immagine. Essa è altresì essenziale se si vuole ottenere un'alta precisione nella mappatura digitale degli elementi del terreno.

Gli autori hanno studiato due diversi tipi di approccio per quanto riguarda la calibrazione:

- Calibrazione terrestre.
- Calibrazione in volo.

In entrambi i casi il problema ricorrente è la determinazione dello scarto nell'orientamento tra le due camere e il SINS.

Nella calibrazione terrestre questo problema viene risolto montando le camere digitali ed il SINS direttamente su di una struttura metallica ottenendo una calibrazione in laboratorio. Le camere sono utilizzate per ottenere una serie di immagini direttamente su un poligono di test. La geometria interna delle came-

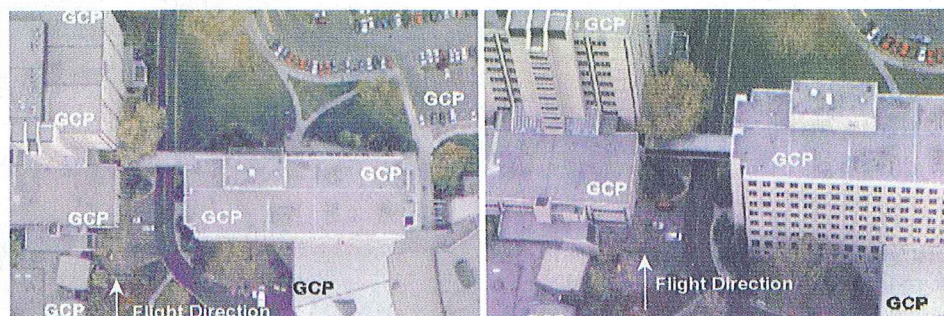


Fig.3 - Immagine al nadir e obliqua del campo di test.

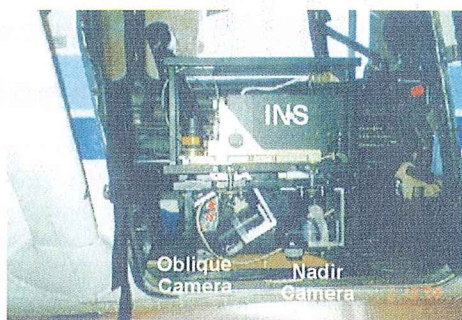


Fig.4 - Il velivolo Cessna 310 impiegato per i test e l'interno con la strumentazione impiegata.

re, la distorsione degli obiettivi, la posizione dei centri di presa, la differenza di orientamento tra le camere e l'IMU, sono parametri determinati dalle stesse immagini.

Nella test in volo la calibrazione è effettuata in condizioni quanto più simili all'attuale configurazione operativa, mentre le riprese sono effettuate anche esse su un poligono di test. Successivamente vengono poi calcolati i parametri del sistema. Le diverse peculiarità dei due metodi, vantaggi e svantaggi dell'uno rispetto all'altro vanno esaminati riferendosi a testi e pubblicazioni specifiche.

Test in volo

Sono stati effettuati due test in volo alla quota di circa 400-500 metri sopra l'Università di Calgary. Il sistema con due camere è stato impiegato a verifica dell'efficienza del sistema con singola camera. Il tutto è stato installato a bordo di un Cessna 310 (Fig. 4), la cui traiettoria di volo è descritta in Fig. 5. All'interno del campus sono stati installati un centinaio circa di punti di controllo determinati con il DGPS prima dell'esecuzione del volo. I punti di controllo, distribuiti omogeneamente anche in quota (sui palazzi), sono stati determinati con deviazioni standard di 1 cm in planimetria e di 2 cm in elevazione.

Pianificazione della missione

Una pianificazione si è resa necessaria per assicurare una buona angolo della luce e una perfetta distribuzione dei satelliti in cielo. Per evitare l'oscuramento del segnale GPS dovuto alla virata dell'aeroplano, si è operato con un volo molto ampio, mantenendo l'angolo di rollio sotto i

15 gradi. Durante il test sono state attivate due reference station GPS, una vicina all'aeroporto e l'altra all'interno del campus. Questo è poi risultato in due traiettorie GPS indipendenti che, una volta sovrapposte, coincidevano con uno scarto non superiore di 10 cm, il che è tipico per una baseline GPS di 2-8-km. L'elaborazione dei dati è avvenuta tramite il software KINGSPAD, e le stime delle deviazioni standard erano di 0.04 m, 0.05 m e 0.09 m per latitudine, longitudine e altezza, rispettivamente; poi, 0.0075, 0.0097 e 0.0152 gradi per il rollio, beccheggio e imbardata, rispettivamente.

Risultati

Le coordinate dei punti di riferimento al suolo sono state determinate impiegando i soli dati di volo, impiegando coppie immagini al nadir. I risultati delle procedure per la georeferenziazione dei punti di controllo ha restituito valori con

radice quadratica media di 0.5 m. in orizzontale e di 1.6 m. in quota. Il maggiore scarto in quota è dovuto alla scarsa intersezione geometrica delle camere digitali, e aggiungendo una immagine obliqua l'errore si è ridotto a 0.7 m., mentre le precisioni in planimetria rimangono essenzialmente gli stessi. Applicando la triangolazione in modalità *strip* o *block*, assistita dai dati dell'unità GPS/IMU, i risultati migliorano decisamente.

Conclusioni

I risultati ottenuti non rientrano nelle precisioni che si otterrebbero impiegando camere analogiche con un ampio angolo di ripresa. Nonostante ciò vengono comunque evidenziate le potenzialità di queste tecniche. Esse permettono una maggiore flessibilità nella mappatura territoriale dal momento che piccole aree di territorio possono essere coperte rapidamente e senza punti di controllo a terra.

L'accuratezza di 0.2-0.3 metri è già sufficiente per molte applicazioni, dal momento che la percentuale dei progetti che necessitano di precisioni inferiori è ancora abbastanza limitata. Le potenzialità di sviluppo, poi, sono molto ampie, dal momento che le prestazioni delle camere digitali vanno ancora migliorando.

Estratto da "Flexible Mapping by Airborne Multi-sensor Systems", GIM International 8/2001. Klaus-Peter Schwarz - Dipartimento di geomatica Univ. Di Calgary e Mohamed Mostafa - Applanix Corporation.

a cura della redazione

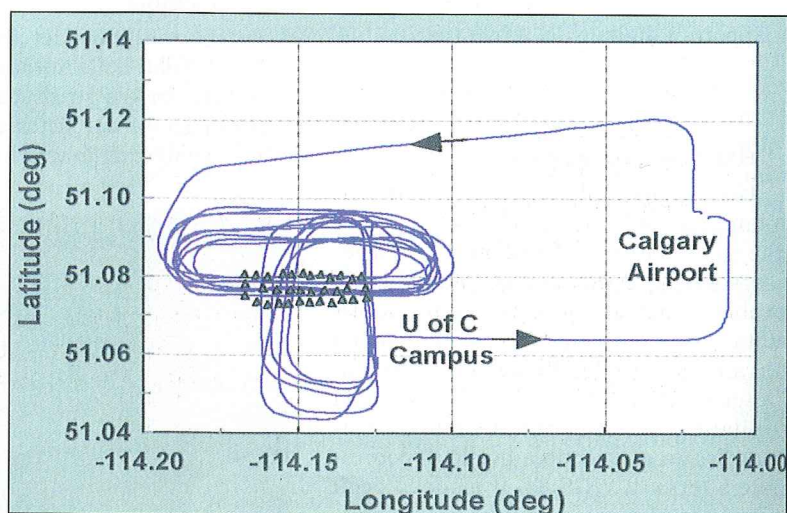


Fig.5 - Le traiettorie del volo di test derivate dall'impiego GPS/INS.