

Direct Georeferencing

Fotogrammetria diretta

Con l'espressione inglese ***direct georeferencing***, si indica una modalità di rilevamento del territorio in cui l'orientamento esterno del sensore, invece di essere stimato a posteriori, con un problema inverso, è misurato direttamente.

Tale metodologia si applica a varie tecniche di rilevamento, come *fotogrammetria*, *laser scanning*, *mobile mapping vehicles (MMS)*.

Alcune di queste, come il *laser scanning*, non esisterebbero senza il ***direct georeferencing***; altre, come la *fotogrammetria*, possono ovviamente prescindere da esso, ma ne verranno probabilmente trasformate in modo profondo.

Il ***direct georeferencing*** è quasi sempre basato sull'uso di dispositivi *GNSS/INS*, che integrano ricevitori GNSS cinematici e sensori inerziali e consentono di determinare, in continuo e con ottima precisione, posizione e assetto di un veicolo mobile.

Consideriamo in particolare la *fotogrammetria*.

Tradizionalmente essa richiede che, dopo il volo, vengano effettuate misure topografiche per determinare le coordinate oggetto di un certo numero di punti di appoggio.

Tali coordinate consentono poi di determinare, mediante la triangolazione aerea, i parametri dell'orientamento esterno dei fotogrammi.

Una caratteristica essenziale di questa metodologia è la

IPERDETERMINAZIONE

cioè la possibilità di inserire nel calcolo un numero di osservazioni maggiore delle incognite: ciò consente, come noto, di stimare la precisione delle misure e, fatto forse ancora più importante, offre ragionevoli speranze di individuare errori grossolani eventualmente presenti nelle misure stesse.

L'uso di sensori *GNSS/INS* in *fotogrammetria* consente, in linea di principio, di evitare la misura dei punti di appoggio e la successiva triangolazione aerea.

Terminato il volo, elaborati i dati prodotti dai sensori, si dispone immediatamente dei parametri di orientamento esterno di tutti i fotogrammi.

L'avvento dei sensori *GNSS/INS* riporta la fotogrammetria aerea ad un approccio analogo a quello della *fotogrammetria* terrestre agli albori della disciplina, quando i primi esperimenti della fine del secolo XIX con i fototeodoliti partivano dalla conoscenza delle coordinate dei centri di presa e dell'assetto angolare dell'asse ottico della camera.

VANTAGGI

La nuova procedura è estremamente più rapida della tradizionale e non richiede lavoro in campagna

evidente guadagno di tempo e denaro

Il risparmio di tempo ha talvolta un valore che va oltre il fatto economico

gestione razionale ed efficace di un'emergenza ambientale

La misura diretta dell'or. esterno si rivela inoltre utile per il rilevamento di:

**zone inospitali e di difficile accesso, acquitrini, zone allagate e ghiacciai
zone a bassa tessitura, come ad esempio le foreste fitte**

In tali contesti la *fotogrammetria* incontra severe difficoltà, che ne sconsigliano l'uso e che rendono preferibili altri metodi di rilevamento come il *laser scanning*.

Tuttavia può capitare che voli di grande estensione contengano fotogrammi scattati su foreste e che questi presentino difficoltà a volte insormontabili anche per la sola misura dei punti di legame necessari per realizzare la TA.

Se non è possibile restituire un fotogramma di foresta fitta il danno è lieve, ma se questo impedisce di triangolare un blocco che copre una regione intera, il danno è davvero grande.

L'uso di sensori integrati permette anche di superare questo tipo di problemi.

PROBLEMATICHE

mancanza di ridondanza e controllo

per ogni fotogramma, il sensore integrato misura esattamente i sei parametri di orientamento esterno e non c'è modo di stimarne gli errori medi, né di verificare l'eventuale presenza di errori grossolani.

prestazioni da verificare

Necessario quantificare la precisione che la *fotogrammetria* supportata da GNSS/INS (*fotogrammetria diretta* nel seguito, che si oppone a *fotogrammetria indiretta*) può offrire, e come questa vari in funzione dei tipici parametri fotogrammetrici

altezza di volo

rapporto base/altezza

lunghezza focale

Tali interrogativi hanno trovato da tempo una risposta per la *fotogrammetria* classica, ma devono essere riconsiderati per quella diretta, sia dal punto di vista teorico, sia da quello sperimentale.

Nella *fotogrammetria* classica infatti i parametri dell'orientamento esterno sono grandezze calcolate e la loro precisione dipende dalla precisione delle coordinate lastra e dei punti d'appoggio; nella *fotogrammetria diretta* invece, tali parametri sono misurati direttamente e la loro precisione dipende unicamente dalla qualità dell'apparato impiegato

la teoria degli errori è dunque molto diversa nei due casi

E' necessario verificare

l'affidabilità

della fotogrammetria diretta, intesa come

ripetibilità

sensibilità agli inevitabili cycle-slips

**dipendenza dalla distanza fra
i ricevitori GNSS master e rover**

A cycle slip is a discontinuity in a receiver's phase lock on a satellite's signal. A power loss, a very low signal-to-noise ratio, a failure of the receiver software, a malfunctioning satellite oscillator can cause a cycle slip. It can also be caused by severe ionospheric conditions

DIFFERENZE CONCETTUALI FRA LA FOTOGRAMMETRIA DIRETTA E QUELLA TRADIZIONALE

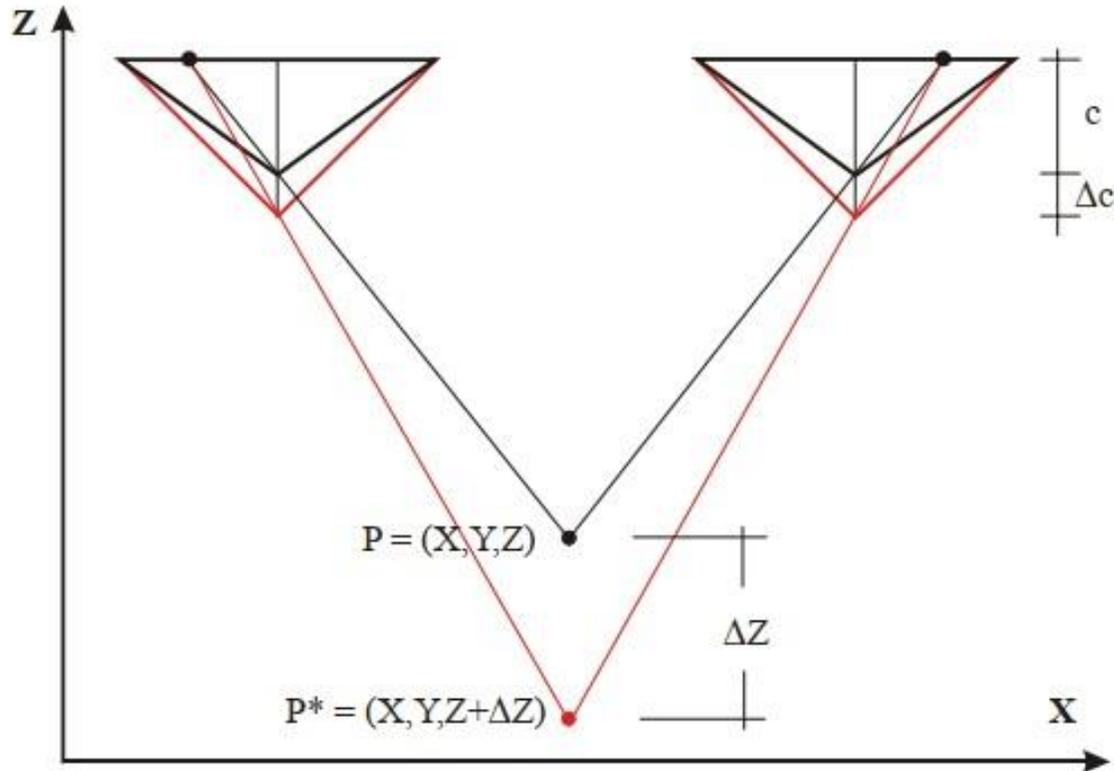
La fotogrammetria diretta pone problemi concettuali nuovi o, per meglio dire, impone di riconsiderare aspetti delle equazioni di collinearità che, nel quadro della fotogrammetria indiretta, sono poco indagati perché considerati non critici.

In particolare è necessario riconsiderare alcune fonti di errore che nell'approccio fotogrammetrico tradizionale sono, per varie ragioni, trascurate

lunghezza focale della camera

determinata periodicamente durante la taratura e il cui valore viene scritto in un apposito certificato.

E' possibile che, nel corso del tempo, soprattutto a causa delle forti escursioni termiche che l'attrezzatura subisce, il valore vero si allontani da quello del certificato. Restituire assumendo una lunghezza focale diversa da quella vera, introduce errori nella direzione dell'asse di presa, che, nelle condizioni di volo usuali, corrispondenti a prese pressoché verticali, si scaricano quasi esclusivamente sulle quote.



La Figura assume una presa normale e illustra graficamente il fenomeno considerato. I triangoli neri rappresentano il caso ideale, in cui si assegna alla lunghezza focale il valore vero; i triangoli rossi rappresentano il caso reale, in cui, fermi restando posizione e assetto della camera, si attribuisce alla lunghezza focale un valore diverso da quello vero.

Tale errore, pur essendo significativo, non è forte

**l'altezza di volo 1200 m,
la lunghezza focale di 150 mm**

l'errore è di 10 micron, l'errore in quota indotto 8 cm.

Questa fonte d'errore è spesso trascurata nell'approccio fotogrammetrico classico. Nel problema inverso con cui si determinano, nell'approccio indiretto, i parametri dell'orientamento esterno dei fotogrammi, i vari errori non altrimenti modellizzati, come quello che stiamo considerando, vengono neutralizzati, almeno parzialmente.

La stima della scala del fotogramma, per esempio, tende a riassorbire e compensare, nel limite del possibile, l'errore nella lunghezza focale della camera.

Tutto ciò non avviene assolutamente nella fotogrammetria diretta

GNSS/INS e triangolazione aerea sono esclusivi o complementari?

Non c'è dubbio che, se l'affidabilità dei sistemi inerziali fosse assoluta, non ci sarebbe alcun bisogno di fare triangolazione aerea

La metodologia fotogrammetrica diretta è sostanzialmente

ISODETERMINATA

e l'integrazione dei dati forniti da un sistema integrato GNSS/INS con la triangolazione aerea consentirebbe un rigoroso controllo di qualità e una quasi certa identificazione di errori grossolani.

Riassumendo

L'espressione fotogrammetria diretta fa riferimento alla più generale georeferenziazione diretta (in inglese direct georeferencing) che indica una qualunque modalità di rilevamento del territorio in cui l'orientamento esterno del sensore viene misurato direttamente.

Tale tecnica rappresenta in effetti il modo più naturale per risolvere le equazioni di collinearità, base della tecnica fotogrammetrica, in cui tali termini (i parametri di orientamento esterno), compaiono esplicitamente.

La fotogrammetria aerea, a causa della maggiore complessità delle tecniche di presa, ha costretto, fino ad ora, a rinunciare alla conoscenza a priori di questi dati includendoli tra le incognite del problema e ricavandoli in maniera indiretta, costringendo a onerose operazioni sul terreno per il rilievo dei punti d'appoggio e lunghe fasi di orientamento (triangolazione fotogrammetrica) preliminari alla restituzione.

Con il Direct Georeferencing è possibile evitare completamente, in linea teorica, la prima fase di calcolo dei parametri di orientamento. Attualmente, sono disponibili, infatti, attrezzature in grado di fornire precisioni, nella misura di posizione e orientamento di oggetti in moto, finora insperate, dato il livello di complicazione del problema. L'accoppiamento di tecniche GNSS cinematiche, a cui è demandato il rilievo del posizionamento, e tecniche di navigazione inerziale basate sull'uso di giroscopi, per il rilievo degli angoli di orientamento della camera rispetto all'asse di rotazione terrestre, rappresenta una soluzione accreditata e che fornisce notevoli speranze.

La fotogrammetria viene in questo modo riportata tra le tecniche di rilievo dirette, nelle quali l'orientamento esterno del sensore misurato direttamente e non ricavato, come avvenuto finora, attraverso processi di tipo indiretto.

Schema fotogrammetria diretta



- una camera fotogrammetrica di tipo analogico o digitale
- un sistema GNSS composto da almeno due ricevitori, uno a terra (ad esempio una stazione permanente) e uno montato sul velivolo che permette di determinarne la posizione assoluta nel sistema ETRS89 (e per conversione negli altri sistemi riferimento geografici o cartografici)
- una piattaforma inerziale montata sul velivolo in grado di determinarne l'assetto angolare durante il volo

Le tre componenti del sistema devono essere opportunamente integrate e sincronizzate durante il volo in modo da fornire i dati corretti alla georeferenziazione delle immagini acquisite dalla camera fotogrammetrica