# APPROCCIO LOOCV PER L'ANALISI DELL'ACCURATEZZA DI IMMAGINI AD ALTA RISOLUZIONE

Maria Antonia BROVELLI (*), Mattia CRESPI(**),
Francesca FRATARCANGELI(**), Francesca GIANNONE(*), Eugenio REALINI(*)

(*) DIIAR - Politecnico di Milano, Polo Regionale di Como – v. Valleggio 11 – 22100 Como, Tel. ++39-0313327517 - Fax ++39-0313327519 - E-mail maria.brovelli@polimi.it, eugenio.realini@polimi.it
(**) DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "La Sapienza" – v. Eudossiana, 18 – 00184 Roma, Tel. ++39-0644585068 - Fax ++39-0644585515 - E-mail mattia.crespi@uniroma1.it, francesca.giannone@uniroma1.it

**Introduzione**

Oggetto di studio, nel processo di ortorettificazione, è la definizione di una metodologia efficace di valutazione dell'accuratezza raggiungibile nell'orientamento e nell'ortorettificazione delle immagini satellitari ad alta risoluzione, che è strettamente legata al modello di ortorettificazione scelto, alle caratteristiche dell'immagine originale e alla qualità delle coordinate dei punti noti a terra.

Allo stato attuale l'accuratezza è valutata con metodo del Hold-Out Validation (HOV).

In questo lavoro è stata proposta una nuova tecnica di valutazione dell'accuratezza nota come Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV). Per testare il metodo proposto sono state eseguite prove, su diverse immagini, con due software differenti: SISAR e OrthoEngine. I risultati completi non sono qui riportati ma verranno discussi in un futuro lavoro; una parte di essi è già presente nell'articolo *Accuracy assessment of High Resolution Satellite Imagery by Leave-one-out method* (http://2006.spatial-accuracy.org/).

**Valutazione accuratezza: Hold-Out Validation**

Attualmente il metodo più usato per la valutazione dell'accuratezza dell'ortorettificazione delle immagini satellitari ad alta risoluzione è Hold-Out Validation (HOV). Questo metodo comporta la divisione dell'insieme dei punti noti a terra in due sottoinsiemi, uno (Ground Control Points-GCP) usato per la costruzione del modello e l'altro (Ckeck Points-CP) per la sua validazione. La selezione di uno degli insiemi è casuale purchè entrambi siano ben distribuiti su tutta l'immagine. Una volta costruito il modello, l'accuratezza è valutata come RMSE dei residui fra le coordinate immagine derivate dall'ortofoto e le rispettive coordinate determinate con misure indipendenti (ad esempio mediante GPS) dei CP.

Questo metodo, semplice e veloce, ha alcuni svantaggi: non è applicabile quando si ha a disposizione un basso numero di punti a terra e la maggior parte di essi è utilizzata come GCP, perché lo RMSE sui CP dipende molto da questi ultimi e potrebbe diventare non significativo; inoltre, se ci sono outlier o punti di qualità scadente, l'accuratezza stimata ne risulta influenzata.

**Valutazione accuratezza: Leave-One-Out Cross Validation**

Un metodo alternativo al HOV per eseguire una valutazione dell'accuratezza è il metodo del LOOCV. Esso è un caso particolare del *k-fold cross validation*, e comporta la suddivisione dell'insieme di dati originali in k sottoinsiemi approssimativamente di uguale dimensione. Il modello è applicato k volte usando a turno ogni sottoinsieme come insieme di validazione. L'accuratezza globale è ottenuta mediando i valori delle accuratezze di ogni sottoinsieme.

Nel caso del LOOCV si pone k=n, dove n è la dimensione dell'insieme originale di dati. Ogni insieme usato per la validazione è perciò di dimensione unitaria quindi il modello di ortorettificazione è applicato iterativamente n volte, usando tutti i punti noti a terra come GCP eccetto uno, diverso ad ogni iterazione usato come CP. Ad ogni iterazione è calcolato il residuo tra

le coordinate immagine derivanti dall'ortofoto e le rispettive coordinate del CP (errore predetto del modello sulle coordinate del CP); l'accuratezza globale ottenibile dall'ortorettificazione dell'immagine deve essere stimata calcolando RMSE o, meglio, un indice robusto come il mAD (mediana dei valori assoluti) dell'errore predetto su tutte le iterazioni.
Il metodo è attendibile e robusto, non dipende dai CP e dagli outliers e permette di usare ogni punto noto a terra sia come GCP che come CP.

**Risultati**

Per effettuare le prove del LOOCV sono stati utilizzati due software: il software SISAR, sviluppato presso l'Area di Geodesia e Geomatica dell'Università di Roma "La Sapienza", in grado di eseguire automaticamente il LOOCV, e il software OrthoEngine v.10, noto a livello internazionale, in cui, invece, la procedura del LOOCV non è implementabile e deve essere quindi eseguita in modo manuale. Le prove sono state condotte utilizzando 4 immagini, due della città di Roma rilevate dal satellite EROS A e due, rispettivamente delle città di Augusta e di Salerno, rilevate dal satellite QuickBird.
In un'indagine preliminare (non presentata in questo articolo) è stata valutata per ogni immagine, secondo la procedura del HOV, l'accuratezza raggiungibile (in termini di RMSE) e il numero minimo di GCP per ottenerla, ricordando che all'aumentare del numero di GCP si ha una diminuzione della precisione del modello ma un aumento dell'accuratezza fino ad una stabilizzazione. Questo numero minimo di GCP (17 per le immagini di EROS e 13 per le immagini di QuickBird) è stato poi utilizzato per applicare il LOOCV.
Per valutare se gli indici, quali mAD e RMSE ottenuti dopo l'applicazione del LOOCV, sono adatti a rappresentare l'accuratezza globale è necessario verificare quanto essi si avvicinano al RMSE ottenuto con HOV, assunto come riferimento. Tali indici sono realmente confrontabili solo se calcolati considerando i CP distribuiti su un'area simile; questa area è proprio uguale a quella coperta dai GCP per LOOCV, mentre dipende dalla distribuzione dei CP per HOV.
Inoltre i risultati del LOOCV sono ottenuti eseguendo n iterazioni con (n-1) GCP mentre quelli del HOV derivano da un'unica iterazione usando tutti gli n GCP disponibili. L'orientamento delle immagini con LOOCV, quindi, è ottenuto con un GCP in meno rispetto a quello ottenuto con HOV e quindi con una diminuzione dell'area ricoperta dai GCP nonché un possibile aumento del RMSE del LOOCV. Ne segue che l'indice più idoneo a valutare l'accuratezza per LOOCV è il mAD, in quanto non risente dell'effetto di un singolo punto la cui assenza può deformare significativamente una parte dell'immagine. Il mAD è stato poi confrontato con la media e la mediana degli RMSE del HOV sulle n iterazioni ognuna con (n-1) GCP, in modo tale che ad ogni iterazione il modello stimato sia ottenuto a partire dagli stessi (n-1) GCP.
La deviazione standard degli RMSE sulle n iterazioni è usata per valutare la stabilità del modello di stima, ricordando che RMSE del HOV è calcolato non includendo ad ogni iterazione il punto a terra divenuto CP nel LOOCV.
I risultati per SISAR si mostrano abbastanza stabili nel senso che gli n RMSE del HOV con (n-1) GCP sono molto vicini (la deviazione standard degli RMSE è dell'ordine di pochi cm) e la loro media (e mediana) si discosta poco dal RMSE del HOV con n GCP. In questo caso i modelli stimati con n e (n-1) GCP sono simili. Riguardo a OrthoEngine i risultati sembrano significativamente differenti, come evidenziato da una più alta deviazione standard degli RMSE, e il mAD è più vicino alla mediana degli RMSE di HOV sulle n iterazioni con (n-1) GCP che al RMSE di HOV con n GCP.

**Conclusioni**

L'accuratezza derivante dal LOOCV, valutata dall'indice robusto mAD, è globalmente più vicina alla mediana degli RMSE del HOV con (n-1) GCP e al RMSE del HOV assunto come riferimento, rispetto al RMSE del LOOCV. Perciò il metodo del LOOCV valutato con il mAD è incoraggiante.
Future indagini saranno basate su simulazioni Monte Carlo, che consentiranno di valutare il livello dell'accuratezza a partire dall'accuratezza dei punti noti a terra e di quelli immagine.