Quando un pixel fa la differenza? L'incertezza nelle equazioni di collinearità e la coerenza radiometrica negli ortomosaici multispettrali

De Petris S.[1][0000-0001-8184-9871] e Borgogno-Mondino E.[1][0000-0003-4570-8013]

[1] Department of Agriculture, Forest and Food Sciences, University of Turin,
samuele.depetris@unito.it ; enrico.borgogno@unito.it

Abstract. Le equazioni di collinearità rappresentano il modello fotogrammetrico fondamentale per stabilire la relazione geometrica tra le coordinate nello spazio oggetto e quelle nello spazio immagine. Nella fotogrammetria multispettrale, tali equazioni vengono utilizzate implicitamente per associare le informazioni radiometriche registrate da un sensore (digital number, radianza o valori di riflettanza) a specifiche posizioni al suolo e, viceversa, per proiettare i punti a terra sui pixel dell'immagine. Tuttavia, l'incertezza associata a questa trasformazione geometrica viene raramente valutata dal punto di vista dell'assegnazione dei dati radiometrici.

Questo studio analizza la propagazione dell'incertezza nelle equazioni di collinearità mediante la legge di propagazione della varianza, al fine di quantificare l'accuratezza con cui un punto al suolo può essere associato al corrispondente pixel dell'immagine. L'analisi considera le principali fonti di incertezza che influenzano il modello fotogrammetrico, tra cui la posizione e l'assetto della camera, la risoluzione dell'immagine, la lunghezza focale, le coordinate del punto principale.

Per valutare l'impatto di questi fattori, è stato sviluppato un sistema di simulazione Monte Carlo in ambiente R. Ai parametri di orientamento interno ed esterno sono stati assegnati diversi livelli di incertezza e sono stati simulati molteplici scenari di acquisizione delle immagini. Questi comprendono geometrie di ripresa nadirali e oblique, differenti quote di volo e diverse posizioni dei punti all'interno del campo immagine. Per ciascuna configurazione, l'incertezza risultante sulle coordinate immagine è stata stimata e confrontata, allo scopo di individuare le condizioni di acquisizione che minimizzano l'incertezza di riproiezione.

I risultati mostrano che livelli di incertezza realistici, comunemente riscontrabili nei rilievi multispettrali effettuati con droni, possono generare incertezze sulle coordinate immagine superiori a un pixel. Ciò implica che il valore di radianza o riflettanza registrato dal sensore potrebbe non essere associato al pixel corretto durante la proiezione attraverso il modello fotogrammetrico (equazioni di collinearità in prospettivizzazione). Di conseguenza, l'informazione spettrale attribuita a una determinata posizione al suolo può essere influenzata da un errore di natura geometrica, spesso trascurato nei flussi di elaborazione convenzionali.

Le implicazioni sono particolarmente rilevanti per la generazione di ortomosaici multispettrali, nei quali si assume che il valore radiometrico assegnato a ciascun pixel ortorettificato provenga dalla corretta posizione nell'immagine originale. Se l'incertezza delle equazioni di collinearità supera la dimensione del pixel, il mosaico risultante può presentare incoerenze radiometriche sistematiche, dovute ad associazioni errate tra pixel e posizioni al suolo. Questi effetti diventano particolarmente critici nelle applicazioni che richiedono un'elevata accuratezza radiometrica, come l'agricoltura di precisione, il monitoraggio della vegetazione, la valutazione ambientale e il telerilevamento quantitativo.

Il quadro metodologico proposto evidenzia la necessità di valutare congiuntamente l'accuratezza geometrica e quella radiometrica nelle catene di elaborazione fotogrammetrica e dimostra come le incertezze geometriche possano influenzare significativamente l'affidabilità dei prodotti spettrali derivati da immagini multispettrali.

Parole chiave: - Fotogrammetria multispettrale, Equazioni di collinearità, Propagazione dell'incertezza, Coerenza radiometrica.