

ORTOPROIEZIONE DI IMMAGINI MIVIS: METODOLOGIA ED APPLICAZIONI GEOMORFOLOGICHE IN VALLE D'AOSTA

Marco GIARDINO^{*}, Luigi PEROTTI^{*}, Stefano RUSSO^{*}, Enrico BORGOGNO^{**}

^{*}Università degli Studi di Torino, Dip. di Scienze della Terra, GeoSITLab
Via Valperga Caluso 35 10125 Torino - luigi.perotti@unito.it – stefano.russo@unito.it

^{**}Politecnico di Torino, DITAG, C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

Riassunto

Il sensore iperspettrale MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) acquisisce immagini dalle elevate potenzialità applicative per studi tematici in molteplici campi grazie alla registrazione simultanea, ad alta risoluzione geometrica, di 102 bande nel visibile e nell'infrarosso vicino, medio e termico. La presenza di forti deformazioni geometriche, indotte principalmente dalla particolare geometria di presa del sensore e dalla variabilità altimetrica del territorio indagato, rendono però spesso problematico l'utilizzo del dato grezzo. La definizione della corretta geometria dell'intera scena registrata è quindi operazione preliminare indispensabile per un uso ottimale delle immagini MIVIS.

Presso il GeoSITLab è stata effettuata la correzione geometrica, mediante procedura di ortoproiezione, di un set di immagini MIVIS relative all'intero territorio della Regione Autonoma della Valle d'Aosta. Sono stati testati tre diversi algoritmi di ortoproiezione: due di tipo non parametrico (Funzioni Polinomiali Razionali e Reti Neurali, quest'ultimo sviluppato dagli autori) e uno di tipo parametrico (implementato all'interno del software PARGE-RESE) in grado di utilizzare i dati di assetto e posizione registrati al momento dell'acquisizione delle immagini. Una analisi quantitativa e qualitativa dei risultati ottenuti ha permesso di identificare il metodo parametrico quale quello in grado di garantire i migliori risultati in termini di accuratezza di posizionamento planimetrico. I risultati sono stati utilizzati in via preliminare per evidenziare diverse caratteristiche geomorfologiche, in particolare connesse a fenomeni di instabilità gravitativa e dinamica glaciale

Abstract

MIVIS hyperspectral sensor (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) acquires images with high application potential for thematic studies in many fields by recording, with high geometric resolution, 102 spectral bands in the spectral regions of visible, near infrared, middle infrared and thermal infrared. However, large geometric deformations, due both to MIVIS sensor model and to moved surface of the study area, make difficult using raw data. Therefore correct geometric definition of whole recorded scene is a preliminary operation necessary to an optimal use of MIVIS images.

GeoSITLab research group attended to geometric correction, by orthoprojection procedure, of MIVIS images of whole Aosta Valley Region (NW-Italy). Three different orthoprojection methods have been tested: two non-parametric (Rational Function Model and Neural Networks, last one developed by authors) and one parametric (PARGE-RESE) that can use attitude and position data recorded during images registration. Quantitative and qualitative analysis of obtained results allow to affirm that the parametric method is the best one in terms of planimetric accuracy. The results have been preliminarily applied to the geomorphological analysis; particularly natural instability phenomena linked to glacial and slope dynamic have been singled out and mapped.

Introduzione

Il GeoSITLab (Laboratorio di Cartografia Geotematica e Sistemi Informativi Territoriali) dell'Università di Torino è incaricato della preparazione e dell'analisi di immagini iperspettrali dell'intero territorio della regione Valle d'Aosta acquisite con il sensore aviotrasportato MIVIS. Il prodotto finale, costituito da una ortofoto, è stato sottoposto al test per l'applicazione in ambito geologico, geomorfologico ed idrogeologico. Altre proposte di utilizzo tematico riguardano carte della vegetazione e carte dell'uso del suolo. La fase principale del progetto riguarda invece la costituzione di un Sistema Informativo Territoriale (GIS) con dati e informazioni prodotti dalla analisi delle immagini MIVIS e connesso ai database regionali e/o nazionali: tale operazione è però possibile solo dopo procedura di ortoproiezione e la definizione di un opportuno sistema di riferimento cartografico.

Come noto, non esiste alcun sistema di acquisizione a distanza che generi una reale riproduzione geometrica della superficie terrestre senza necessitare di correzioni. Fattori quali la geometria di presa, le variazioni di assetto e di velocità della piattaforma durante le fasi di registrazione delle immagini e l'orografia del territorio, generano nelle immagini telerilevate distorsioni geometriche, che nel caso del sensore MIVIS raggiungono anche notevoli entità, rendendo le immagini grezze praticamente inutilizzabili (vedi Figura 1).



Figura 1- Esempio di immagine MIVIS sulla stessa zona di territorio - (a) ortofoto alla scala 1:10000 (b) immagine MIVIS “grezza”. Risulta evidente come l’immagine MIVIS non riproduca correttamente la reale geometria della superficie inquadrata e necessiti quindi di correzioni geometriche prima di un suo utilizzo cartografico.

I metodi per la correzione geometrica di immagini telerilevate si dividono in due categorie: metodi parametrici e metodi non-parametrici. I primi sono metodi rigorosi che, nel caso di sensori aviotrasportati quali il MIVIS, fanno uso dei dati relativi alla posizione ed all'assetto dell'aereo durante il volo, oltre che delle caratteristiche ottico-geometriche del sensore stesso. I secondi sono invece metodi generalizzati che definiscono la relazione tra spazio immagine e spazio oggetto tramite funzioni generiche calibrate sulla base di un elevato numero punti di controllo a terra (GCPs, *Ground Control Points*).

Nella fase preliminare di questo lavoro si è proceduto all'applicazione, su un campione di immagini MIVIS, di tre diversi algoritmi di ortoproiezione (due di tipo non-parametrico, uno di tipo parametrico), al fine di identificare quello in grado di garantire i migliori risultati in termini di posizionamento planimetrico, in una zona, come quella in oggetto, fortemente influenzata dalla orografia.

Il sensore MIVIS ed i dati disponibili

Lo scanner iperspettrale MIVIS è uno strumento modulare costituito da quattro spettrometri che registrano simultaneamente la radiazione elettromagnetica proveniente dalla superficie terrestre nel visibile (20 bande tra 0.43 μm e 0.83 μm), nell'infrarosso vicino (8 bande tra 1.15 μm e 1.55 μm), nell'infrarosso medio (64 bande tra 2.00 μm e 2.50 μm) e nell'infrarosso termico (10 bande tra 8.20 μm e 12.70 μm).

L'elevata risoluzione spettrale (102 bande), radiometrica (12 bit) e geometrica (variabile da 2 a 8 m in funzione della quota di volo) consentono di soddisfare le necessità della ricerca per applicazioni avanzate in svariate discipline scientifiche quali l'agronomia, l'archeologia, la botanica, la geologia, l'idrologia, l'oceanografia, la pedologia, le scienze atmosferiche, l'urbanistica ed altre. Lo sviluppo di applicazioni derivate dall'analisi radiometrica del dato è stato, tuttavia, fortemente limitato dalla inevitabile necessità di dovere operare la correzione geometrica delle immagini.

Le immagini MIVIS oggetto del presente lavoro sono inerenti alla Regione Autonoma Valle d'Aosta, il cui intero territorio è stato acquisito nell'estate del 1999 grazie ad un totale di 70 strisciate, come riportato in Figura 2.

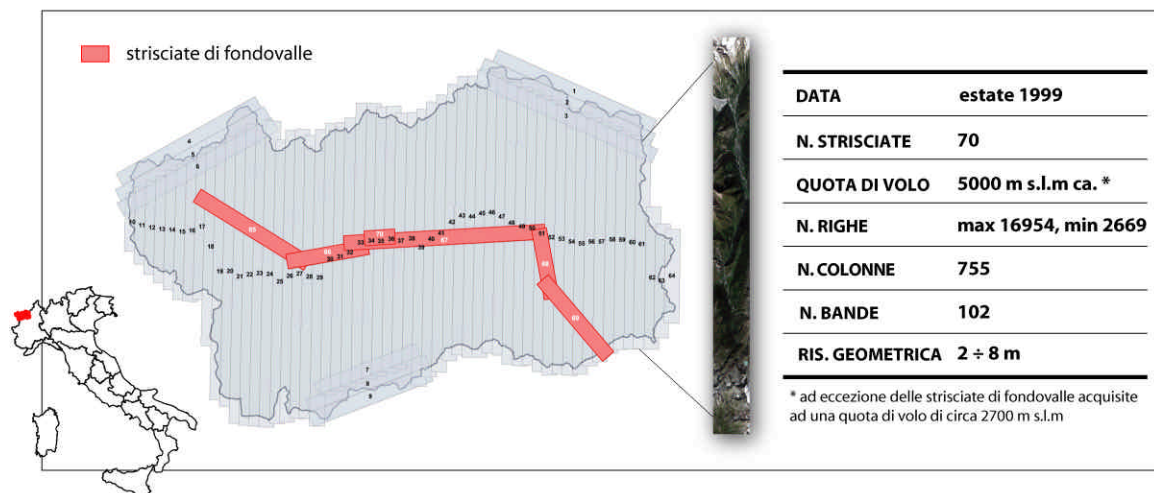


Figura 2 – Le 70 strisciate MIVIS in cui è stato suddiviso l'intero territorio della Regione Autonoma Valle d'Aosta e le loro principali caratteristiche tecniche.

Analisi dei software utilizzati

L'operazione di correzione geometrica dell'intero set di immagini MIVIS a disposizione ha richiesto innanzitutto l'individuazione della metodologia in grado di garantire i migliori risultati in termini di posizionamento planimetrico.

A questo scopo i tre seguenti metodi sono stati testati su di una striscia campione (n. 29, 15306 colonne, 755 righe) tra le 70 a disposizione:

1. RFM (*Ractional Function Model*, Metodo dei Rapporti Polinomiali);
2. Reti Neurali;
3. PARGE (*PARAmetric GEocoding*).

Il metodo RFM è sicuramente il modello non-parametrico maggiormente utilizzato tra quelli disponibili nei software commerciali per il trattamento delle immagini telerilevate (quale, per esempio, *PCI Geomatica 9.1 – OrthoEngine* da noi utilizzato): esso lega le coordinate immagine alle coordinate tridimensionali oggetto attraverso rapporti di polinomi di terzo grado (al massimo) definiti da 20 coefficienti da stimare attraverso l'utilizzo di un adeguato numero di GCPs.

Il metodo basato sulle Reti Neurali, anch'esso di tipo non-parametrico, è un metodo sperimentale sviluppato presso il DITAG del Politecnico di Torino: esso consente di relazionare le coordinate immagine con le coordinate oggetto utilizzando una rete neurale di tipo MLP (*Multi Layer*

Perceptron) appositamente addestrata in cui le coordinate immagine dei GCPs rappresentano i dati di output e quelle oggetto i dati di input.

PARGE infine, software prodotto presso il Remote Sensing Laboratories (RSL) dell'Università di Zurigo, è stato appositamente sviluppato per la correzione geometrica di immagini acquisite con sensori aviotrasportati (AVIRIS, HYMAP, DAIS, MIVIS): esso utilizza un approccio di tipo parametrico in grado di ricostruire la geometria di scansione per ogni pixel dell'immagine facendo uso, insieme ad un modello digitale del terreno (DEM), dei dati di assetto (rollio, beccheggio, imbardata) e posizione dell'aereo, registrati al momento dell'acquisizione dell'immagine stessa.

Teoricamente il metodo rigoroso necessita di un numero molto ridotto di GCPs; sfortunatamente per correggere gli errori spesso presenti nei dati ancillari forniti, è necessario comunque anche con questo metodo utilizzare un buon numero di GCPs, la cui acquisizione è quindi operazione comune e preliminare all'utilizzo di tutti e tre i metodi considerati.

Procedure di ortoproiezione

L'applicazione dei metodi sopra descritti richiede la disponibilità di un DEM e di un certo numero di GCPs. Il DEM (passo 10 m), insieme alla base cartografica (ortofoto digitale alla scala 1:10000) utilizzata per acquisire i GCPs, è stato fornito direttamente dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta. Dell'intero processo di correzione geometrica la fase dedicata all'acquisizione dei GCPs può essere considerata a buon ragione quella più gravosa e dispendiosa in termini di tempo. Il compito è reso particolarmente difficoltoso se, come nel caso in oggetto, si deve operare su di un territorio alpino caratterizzato da aree ad elevata copertura boschiva, generalmente poco antropizzate, e con zone di roccia affiorante o ricoperte da manto nevoso.

Per cercare di limitare al massimo il tempo dedicato a tale operazione si è cercato di determinare una configurazione di GCPs ottimale (numero minimo e loro distribuzione spaziale).

A tale scopo si è pensato di suddividere la strisciata campione in fasce orizzontali di 500 pixel di altezza ed in 5 fasce verticali di 151 pixel di larghezza (denominate a, b, c, d, e), realizzando quindi una griglia con passo 151x500 pixel. Utilizzando tale griglia come riferimento sono stati acquisiti i GCPs in 10 diverse configurazioni (vedi Figura 3).

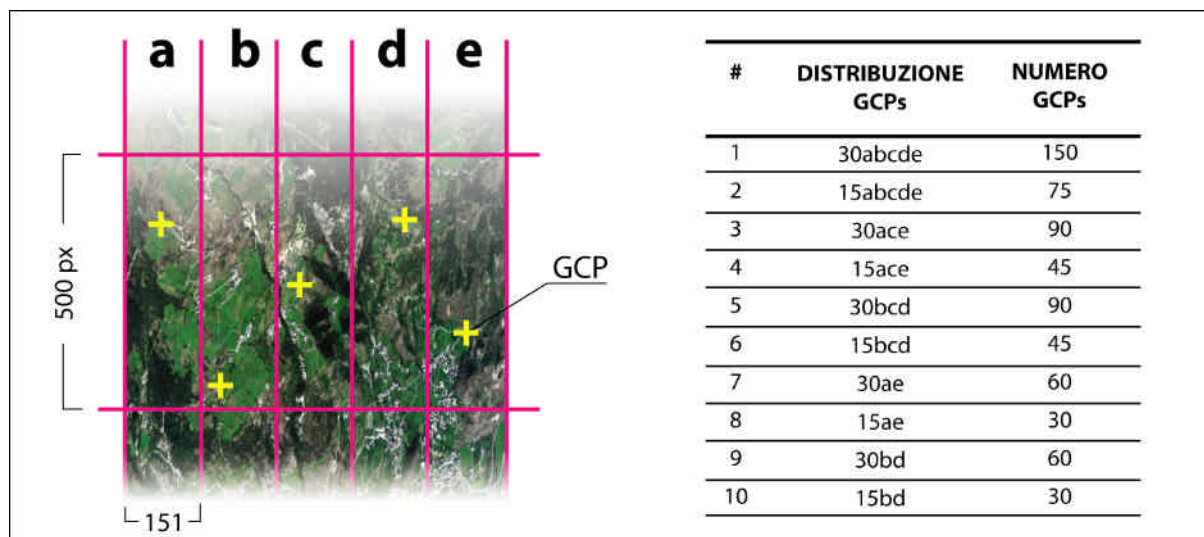


Figura 3 – A sinistra particolare dello schema della griglia utilizzata per l'acquisizione delle 10 diverse configurazioni di GCPs, il cui elenco è riportato nella tabella a destra (ad esempio nella configurazione #1 sono stati acquisiti 30 punti per ognuna delle 5 fasce verticali, per un totale quindi di 150 GCPs, nella configurazione #3 sono stati acquisiti 30 punti in sole tre fasce, per un totale quindi di 90 GCPs, e così via).

Ognuno dei tre metodi testati è stato quindi applicato alla strisciata campione con le 10 diverse configurazioni di GCPs.

Analisi dei risultati

La valutazione dei risultati ottenuti dalla correzione della strisciata campione mediante applicazione dei tre diversi metodi sopra elencati ed al variare delle configurazioni dei GCPs è stata effettuata mediante una analisi di tipo qualitativo (verifica della corrispondenza con la cartografia di riferimento alla scala 1:10000) e quantitativo (valutazione degli errori di posizionamento planimetrico sui GCPs e, ove possibile, su un set di Punti di Controllo (CPs – *Check Points*)).

I risultati ottenuti sono qui di seguito sinteticamente riportati:

- Metodo RFM: sebbene esso riesca a ricostruire la geometria globale della scena, sono presenti sull'immagine corretta delle anomalie (buchi, asintoti) dovute molto probabilmente a problemi di instabilità numerica; tali gravi anomalie fanno ritenere inutilizzabile il metodo RFM ed hanno reso superflue le previste analisi quantitative;
- Metodo Reti Neurali: esso non manifesta i problemi di instabilità riscontrati per il metodo RFM; le analisi quantitative e qualitative hanno evidenziato il diminuire dell'errore al crescere del numero di GCPs, ma una sua non omogenea distribuzione sull'intera scena;
- Metodo PARGE: l'analisi quantitativa (eseguita unicamente sui residui dei GCPs in quanto il software non consente la definizione dei CPs) e qualitativa evidenziano in questo caso il raggiungimento

GCPs		GCPs RMS (pixels)		
Distribuzione	N. Tot	X	Y	TOT
30abcde	150	4.50	2.09	4.96
15abcde	75	2.38	1.14	2.64
30ace	90	3.96	1.25	4.15
15ace	45	1.79	1.39	2.27
30bcd	90	2.58	2.14	3.35
15bcd	45	2.48	1.68	3.00
30ae	60	2.74	0.88	2.88
15ae	30	1.61	0.44	1.67
30bd	60	2.61	2.03	3.31
15bd	30	2.61	2.03	3.31

di buoni ed omogenei livelli di accuratezza; in riferimento alle prove eseguite al variare della numero e della distribuzione dei GCPs i risultati migliori si otterrebbero anche con un numero molto limitato di punti distribuiti in posizione *off-nadir* (vedi Tabella 4), ma l'analisi qualitativa

Tabella 4 – Scarto quadratico medio (RMS – Root Mean Square) sui GCPs ottenuto applicando il metodo PARGE all'immagine MIVIS campione, per le 10 diverse configurazioni di punti utilizzate. A bassi valori di RMS non sempre corrisponde una omogenea distribuzione dell'errore sull'intera scena.

dell'errore (effettuata confrontando la cartografia di base) ha dimostrato che per ottenere anche una omogenea distribuzione dell'errore stesso è necessario ricorrere ad una configurazione con un numero elevato di GCPs e con una loro omogenea distribuzione sull'intera scena. La configurazione con 150 punti è risultata quindi essere quella ottimale.

Conclusioni e sviluppi applicativi futuri

Le prove di ortoproiezione eseguite consentono di concludere che il metodo in grado di garantire i migliori risultati è quello parametrico PARGE con una distribuzione dei GCPs omogenea sull'intera immagine ed un numero di punti, in riferimento all'immagine campione considerata, pari a 150 (cioè equivale ad acquisire circa 1 GCPs ogni 100 linee costituenti l'immagine). I valori di errore di posizionamento planimetrico ottenuti portano a ritenere il dato MIVIS corretto idoneo ad una scala cartografica comunque non superiore a 1:25000.

Allo stato attuale l'operazione di correzione geometrica dell'intero set di immagini MIVIS è giunta a circa il 50% del territorio della regione Valle d'Aosta. La copertura rimanente sarà terminata nei prossimi mesi, insieme alla predisposizione di una campagna GPS per l'acquisizione di punti da utilizzarsi per una stima quantitativa più corretta della accuratezza dell'ortofoto ottenuta.



Figura 5 – Immagini MIVIS della zona del ghiacciaio del Miage (Courmayeur): (a) immagine grazza (sintesi a colori reali); (b) ortoproiezione mediante metodo parametrico PARGE (sintesi nell'infrarosso termico). A partire dall'ortofoto ottenuta è stato possibile, per esempio, analizzare radiometricamente l'immagine, sfruttando le ottime caratteristiche dello spettrometro del termico; ne è risultata una buona caratterizzazione geomorfologica dell'ambiente glaciale del Miage, contraddistinto dalla presenza di una lingua glaciale interamente coperta da detriti (glacier noir) ricollegabili a diversi eventi gravitativi.

L'ortofoto finale è stata utilizzata in via preliminare per analisi ed elaborazioni di tipo tematico (fotointerpretazione e classificazione di elementi spettrali e geometrici) in ambito geologico e geomorfologico. La possibilità di comporre immagini in diverse sintesi additive nell'infrarosso vicino, medio e termico è risultata, ad esempio, molto utile per evidenziare caratteristiche superficiali del territorio connesse a fenomeni di instabilità naturale e di dinamica glaciale (Fig. 5).

Bibliografia

- Baiocchi V., Crespi M., De Lorenzo C., Fiumi L., Scifoni S. (2004), "Ortorettificazione di immagini iperspettrali MIVIS: problematiche ed analisi di un caso reale (Lago di Vico)", *Atti 8ª Conferenza Nazionale ASITA*, 217-222
- Boccardo P., Borgogno Mondino E., Giulio Tonolo F. (2003), "High resolution satellite images position accuracy tests", *IGARSS 2003*, Toulouse.
- Borgogno Mondino E., Giardino M., Perotti L. (2004), "Neural Network: a method for the application of hyperspectral images analysis to the Cassas landslide hazard assessments (Susa Valley, NW-Italy)", *1° EGU*, Nice.
- Breuer M., Albertz J. (2000), "Geometric Correction of airborne whiskbroom scanner imagery using hybrid auxiliary data", *IAPRS - International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII.
- Giardino M., Gomasasca M.A., Boccardo P., Borgogno Mondino E., Perotti L. (2004), "Airborne Sensor Mivis Images For Landslide Phenomena Analysis In Mountain Areas", *5th ISEMG*, Thessaloniki, Greece.
- Perotti L., Borgogno Mondino E., Giardino M., Russo S. (2006), "Orthorectification of MIVIS airborne hyperspectral images: methodology and applications in Aosta Valley (Italy)", *5th ECONGEO*, CDROM.
- Simoniello T., Pignatti S., Lanfredi M., Macchiato M., (2003), "Comparison of MIVIS and IKONOS data for high resolution land cover classification in a rural/mountainous area", *SPIE*.