

# MESSA A PUNTO DI UNA METODOLOGIA PER L'ORTORETTIFICAZIONE DI DATI IPERSPETTRALI MIVIS

Catia Atturo\*\*, Valerio Baiocchi\*, Mattia Crespi\*, Lorenza Fiumi\*\*, Giuliano Fontinovo\*\*

\*DITS – Area di Geodesia e Geomatica – Università degli Studi “La Sapienza” Via Eudossiana, 18 - 00184 Roma Tel: 06/44585097, Fax: 06/44585515, e-mail: mattia.crespi@uniroma1.it; valerio.baiocchi@uniroma1.it

\*\*CNR Istituto sull’Inquinamento Atmosferico LARA Via Monte D’oro, 11 - 00040 Pomezia (RM)  
Tel: 06/9100312-3-4-5, Fax:06/91601614, e-mail: aree.urbane2@lara.rm.cnr.it; l.fiumi@lara.rm.cnr.it;  
giuliano.fontinovo@lara.rm.cnr.it

## Riassunto

Lo studio che viene di seguito presentato, è parte di un più vasto impegno di ricerca assunto dal gruppo di ricercatori operanti presso il LARA (Laboratorio Aereo Ricerche Ambientali) dell’Istituto sull’Inquinamento Atmosferico del CNR, è stato rivolto allo sviluppo di metodologie di ortorettificazione che consentano alle immagini iperspettrali MIVIS di essere corrette geometricamente.

A tal proposito, verranno affrontati i primi riferimenti metodologici di una procedura per l’ortorettificazione basata su funzioni polinomiali razionali (Rational Polynomial Function – RPF), scelta dettata dalla non disponibilità di un modello rigoroso del sensore MIVIS.

L’intento è quello di mettere a punto una procedura semi-automatica che riduce drasticamente l’intervento dell’operatore umano, ottimizzando in tal modo i tempi di realizzazione nelle fasi di restituzione e produzione del dato.

## Abstract

This study, being part of a larger research activity carried out by the research group of *L.A.R.A.* (Airborne Laboratory for Environmental Research) belonging to the Institute for Atmospheric Pollution of *CNR*, is aimed at developing the orthorectification-based methodologies allowing us to perform the geometrical corrections of the *MIVIS* hyperspectral images.

Pursuant to this purpose, the research study envisages the first methodological refers of an orthorectification procedure based on the Rational Polynomial Function (RPF) as a rigorous model of *MIVIS* sensor is made unavailable.

The aim is to develop a semi-automatic procedure which could reduce considerably the user manual entry and thus the implementation times both during data input and output.

## Introduzione

Le dinamiche territoriali interferenti con l’ambiente richiedono attenti studi mirati alla mitigazione dei rischi sia naturali che indotti dalla continua attività umana. Utilizzando le immagini telerilevate nei SIT (Sistemi Informativi Territoriali), si può descrivere la realtà che spesso si presenta molto eterogenea, consentire valutazioni complesse in tempi contenuti, in modo da poter dimensionare opportuni interventi che andranno a supporto alla decisione ed alla gestione del territorio.

Sebbene si siano aperte nuove frontiere con l’avvento delle immagini telerilevate ed il loro uso nei SIT, sono rimaste tuttora aperte alcune questioni da risolvere come ad esempio la sovrapposizione delle immagini, per una effettiva utilizzazione come base aggiornata per la conoscenza del territorio, in particolar modo nello studio delle aree antropizzate.

Infatti, negli ambienti antropizzati maggiore è la complessità delle relazioni tra gli elementi fisico-morfologici, quali l’orografia, i corpi idrici, le strutture viarie ecc., con altri elementi non meno

importanti quali aspetti amministrativi, fiscali, pertanto più che mai è necessaria l'integrazione e sovrapposizione di differenti livelli informativi. I dati provenienti dal sensore MIVIS permettono delle analisi nella discriminazione della superficie terrestre ad un livello mai attuato. Infatti, le caratteristiche del sensore MIVIS, 102 bande, l'elevata risoluzione spaziale a terra con un pixel fino a 3 metri, nonché l'elevatissima risoluzione spettrale da 0,43 a 12,70 micron ne fanno uno strumento unico. Con il crescente numero di utenti del dato MIVIS si è sempre più resa necessaria una corretta collocazione da un punto di vista geografico ed in particolare delle informazioni territoriali ad esso associate. L'ortorettificazione di dati iperspettrali MIVIS e la successiva integrazione all'interno di sistemi informativi è sempre stata contrassegnata da notevoli difficoltà dovute principalmente alla particolare natura del dato. Una delle difficoltà maggiori è data dalla presenza di una notevole distorsione geometrica, imputabile sia alla particolare modalità di ripresa che alla naturale presenza di dislivelli tra le superfici indagate.

Attualmente, non sono disponibili modelli rigorosi di ortorettificazione che permettono di integrare le mappe prodotte dal dato elaborato MIVIS con altri dati (IKONOS, QUICK BIRD, ecc.).

A tal proposito, in questo lavoro, verranno affrontati i primi riferimenti metodologici di una procedura per l'ortorettificazione basata su funzioni polinomiali razionali (Rational Polynomial Function – RPF).

L'intento è quello di mettere a punto una procedura semi-automatica che riduce drasticamente l'intervento dell'operatore umano, ottimizzando in tal modo i tempi di realizzazione nelle fasi di restituzione e produzione del dato.

### **Area di studio**

L'area di studio è situata ad est della città di Roma, si estende dalla città di Tivoli fino a Villa Adriana per un'estensione di circa 9 Km<sup>2</sup>. E' un territorio collinare attraversato dal fiume Aniene. Il sorvolo MIVIS è stato realizzato il 19 giugno 2004, ad una altezza di volo di 1300 m, con una risoluzione a terra di 3m. La superficie acquisita, è caratterizzata da due nuclei industriali Bagni di Tivoli e Ponte Lucano sviluppati spontaneamente negli anni '60 lungo la via Tiburtina e da una porzione dell'abitato storico della città di Tivoli, il cui impianto urbanistico ha origini romane.

Nel tratto industriale è presente una situazione di disordine ambientale, dove convivono abitazioni residenziali capannoni industriali, impianti sportivi, depositi a cielo aperto, frutto delle speculazioni edilizie.

### **Procedura di ortorettificazione**

Per la realizzazione di una ortorettificazione è necessario disporre di:

- Un modello di ortorettificazione
- Un set di GCP (Ground Control Point) e CP (Check Point).
- Un DEM (Modello di Elevazione Digitale)

In considerazione che il MIVIS è un sensore aviotrasportato e come già detto non è disponibile un modello rigoroso, l'unico metodo possibile per ortorettificare le immagini, è quello di utilizzare un modello polinomiale razionale. Infatti, questo metodo non tiene conto del processo fisico-geometrico di generazione dell'immagine, pertanto può essere riferito ad un sensore generico. Il modello oggetto dello studio è la versione più generale del modello polinomiale. Nelle espressioni polinomiali razionali le coordinate immagine dei punti (i, j) vengono espresse come rapporti tra polinomi contenenti le coordinate a terra (X, Y, Z):

$$i = \frac{P_1(X, Y, Z)}{P_2(X, Y, Z)} \quad j = \frac{P_3(X, Y, Z)}{P_4(X, Y, Z)} \quad [1]$$

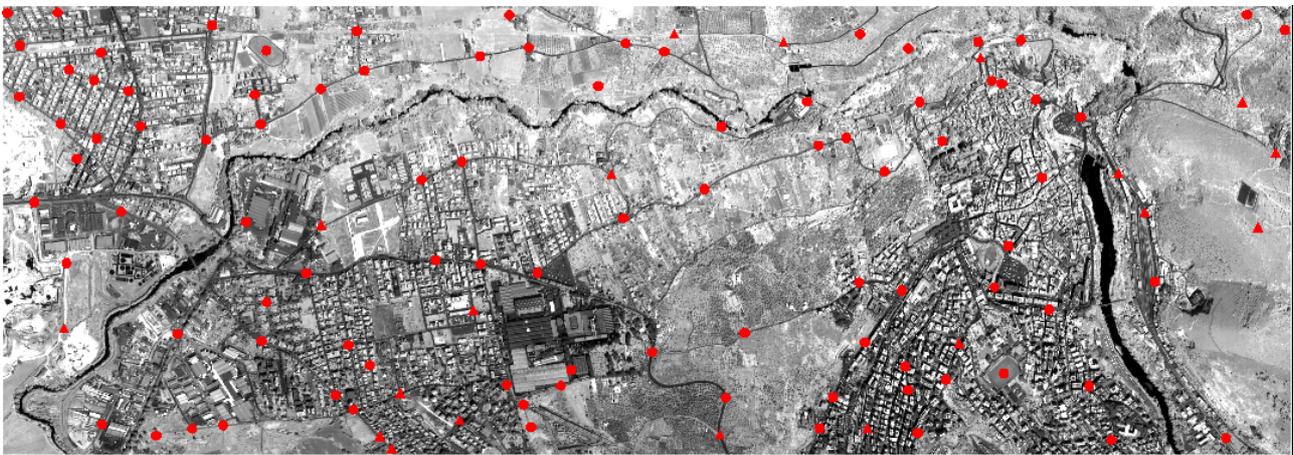
L'ordine delle funzioni polinomiali è inferiore a 3, in questo modo si modella la geometria della presa, si tiene conto della curvatura terrestre della rifrazione atmosferica, delle distorsioni delle lenti

e bias non modellizzati. Dal punto di vista analitico la forma dei polinomi di terzo grado è espressa da una relazione del tipo:

$$P = \sum_{l=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k = a_0 + a_1 Z + a_2 Y + a_3 X + a_4 ZY + a_5 ZX + a_6 YX + a_7 Z^2 + a_8 Y^2 + a_9 X^2 + a_{10} ZYX + a_{11} Z^2 Y + a_{12} Z^2 X + a_{13} Y^2 Z + a_{14} Y^2 X + a_{15} ZX^2 + a_{16} YX^2 + a_{17} Z^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} X^3 \quad [2]$$

dove  $a_{ijk}$  rappresentano i 20 coefficienti RPC (Rational Polynomial Coefficients) della funzione polinomiale e  $(X, Y, Z)$  rappresentano le coordinate a terra dei GCP. Tali coefficienti possono essere stimati ai minimi quadrati tramite l'utilizzo di almeno 39 GCP.

Nel caso dell'immagine MIVIS di Tivoli sono stati inseriti 113 punti: 92 GCP e 21 CP. Si è cercato il più possibile di rendere omogenea la collocazione dei punti di controllo sull'intera area di Tivoli, come riportato nella figura 1.



*Figura 1 – Tivoli, Collocazione dei punti di controllo GCP e CP nella scena MIVIS*

I modelli basati sui polinomi razionali sono meno precisi dei modelli rigorosi, quest'ultimi richiedono un maggior numero di punti di controllo. Nel modello utilizzato, uno dei problemi che si può verificare è che lontano dai punti GCP si riscontrano distorsioni elevate soprattutto lavorando con polinomi di ordine elevato come nel caso in questione. Nell'immagine oggetto dello studio la risoluzione geometrica di 3 m ha consentito di poter correttamente utilizzare GCP e CP estratti da cartografia a grande scala, cosa invece impossibile per altri tipi di immagine ad alta risoluzione per le quali, pur essendo necessari un minor numero di punti essi vanno comunque rilevati con un'onerosa campagna di rilievo GPS a terra.

La creazione dei punti di controllo è stata ricavata dalla CTR a scala 1:10000, con un errore di graficismo dichiarato di 2 m, quindi al di sotto della minima risoluzione geometrica ottenibile con il MIVIS. Come già ricordato è necessario precisare che poter realizzare una set di GCP da una cartografia, comporta un notevole risparmio di tempo rispetto all'acquisizione a terra.

La creazione del DEM è stata anch'essa ricavata dal CTR, scala 1:10000, estrapolando le curve di livello ed i punti quotati, e la sua elaborazione è stata fatta con il software *Geomatica 9.1 – Orthoengine*.

I punti di controllo ottenuti sono 113, di questi 21 sono CP (presi come punti quotati sulla cartografia di riferimento), mentre 92 punti sono GCP. Per quest'ultimi la scelta è stata fatta in modo tale da coprire tutta l'area oggetto di studio, ricavandone l'altezza ortometrica del DEM.

### **Risultati e verifica**

La procedura di ortorettificazione è stata realizzata, nel sistema di riferimento ROMA 40 Gauss Boaga fuso Est (sistema di riferimento della CTR), con il software *Geomatica Orthoengine 9.1*

usando l'algoritmo Rational Functions. Dopo l'inserimento dei 92 GCP e dei 21 CP, si è passati ad aumentare progressivamente il numero di coefficienti, fino ad arrivare a 20. I risultati in termini di errore sono i seguenti:

GCP	X RMS	Y RMS	CP	X RMS	Y RMS
PIXEL	1.78	1.85	PIXEL	2.74	3.03
GROUND	4.08	4.67	GROUND	6.08	7.51

*Tabella 2 – Tabella degli errori dei GCP e CP*

Gli errori più rilevanti si sono ottenuti in quelle zone dove è stato difficile il posizionamento del punto di controllo, ad esempio nelle aree boschive e in tutte quelle zone dove la copertura vegetale non ha consentito un facile riconoscimento dei punti sull'immagine. In queste zone si hanno infatti le distorsioni maggiori. In tutte le zone antropizzate invece la sovrapposizione fra la scena MIVIS e la cartografia CTR può ritenersi più che soddisfacente (figura 3).



*Figura 3 - Sovrapposizione fra la scena MIVIS e la cartografia CTR*

Completata la procedura di ortorettificazione della scena MIVIS, e controllati risultati ed errori geometrici, si è proceduto ad una verifica spettrale dell'immagine prodotta.

La verifica spettrale ha lo scopo di verificare se l'immagine mantiene inalterate le caratteristiche spettrali dopo una procedura di ortorettificazione. A tal proposito, è stata eseguita una classificazione usando l'algoritmo SAM (Spectral Angle Mapper) tramite una ROI (Region Of Interest). L'elaborazione ha permesso di identificare l'edificato in un'area campione di 1,6 Km<sup>2</sup> nella scena MIVIS comprendente una porzione dell'abitato di Tivoli.

La classificazione è stata fatta sia sull'immagine originale MIVIS, sia su quella ortorettificata. La classificazione dell'immagine originale è stata poi ortorettificata usando gli stessi parametri dell'altra.

Le due classificazioni ottenute, in formato TIFF, sono state trasformate in uno Shapefile ed inserite in un GIS, in particolare in ArcMap di ArcGis 8.3.

In ArcMap le due coperture risultavano avere una superficie di:

- 0.461 Km<sup>2</sup> Edificato (immagine originale)
- 0.463 Km<sup>2</sup> Edificato (immagine ortorettificata)

La sovrapposizione delle due superfici sopra estrapolate è stata effettuata tramite i comandi Intersect ed Union all'interno di ArcMap. La superficie edificata dell'area campione risulta di:

- 0.479 Km<sup>2</sup> con Union
- 0.445 Km<sup>2</sup> con Intersect

Questi risultati (figura 4) dimostrano che la variazione di superficie è un parametro poco significativo quasi trascurabile, ed è apprezzabile anche la sovrapposizione che è stata stimata con un valore di 93% circa.



*Figura 4 – Shapefile dell'edificato su immagine MIVIS ortorettificata*

E' opportuno precisare che la sovrapposizione non può essere totale, in quanto c'è sicuramente la possibilità di errore da parte dell'operatore causato dal non poter realizzare una stessa identica ROI per le due immagini. Al fine di ovviare a questo problema, è stata sperimentata una procedura del tutto automatica.

In un'area campione ad ovest di Tivoli di 1.8 Km<sup>2</sup>, sono state visualizzate le temperature al suolo attraverso una Density Slice ottenuta dal canale 93 corrispondente a 8.21-8.56 micron dell'infrarosso termico, in un range compreso tra 35°C e 40°C. La procedura usata per la verifica delle temperature è la stessa di quella per la classificazione, ottenendo i seguenti risultati.

Gli shapefile delle temperature ottenuti dalla density slice sono di:

- 0.352 Km<sup>2</sup> Temperature (immagine originale)
- 0.354 Km<sup>2</sup> Temperature (immagine ortorettificata)

Dalla sovrapposizione la superficie risulta essere di

- 0.357 Km<sup>2</sup> con Union
- 0.351 Km<sup>2</sup> con Intersec

Si può subito constatare che le due superfici coincidono e che la loro sovrapposizione è pressoché totale, circa il 99%.

## **Conclusioni**

I risultati ottenuti al termini di questa sperimentazione sono apprezzabili, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo sia metrico che spettrale. In particolare, le verifiche eseguite relativamente alla precisione conseguita nelle operazioni di correzione geometrica hanno dimostrato che gli errori sono compatibili con la cartografia presa in esame.

I risultati raggiunti da questo studio, incoraggiano il gruppo di lavoro a proseguire la ricerca, la sperimentazione e la verifica di altri software (Erdas, Ecognition), implementati per l'ortorettificazione di dati MIVIS

Le già citate caratteristiche di questo sensore, le 102 bande dal visibile all'infrarosso termico, ne fanno uno strumento capace di trovare applicazioni in moltissimi campi. L'ortorettificazione

aggiunge quello che mancava a questo strumento, ovvero la possibilità di poter sovrapporre le tante mappe tematiche che si possono creare dall'elaborazione di queste immagini, con le cartografie esistenti, nonché ortofoto ed immagini satellitari (figura 5).



*Figura 5 – Tivoli, 3D scena MIVIS ortorettificata*

### **Bibliografia**

- R. Amato, G. Dardanelli, D. Emmolo, V. Franco, M. Lo Brutto, P. Midulla, P. Orlando, B. Villa. (2004). Digital Orthophotos at a scale of 1:5000 from high resolution satellite images. XX Congresso Internazionale ISPRS. Istanbul 12-23 Luglio 2004, vol. XXXV - Part B
- Ammoscato, G. Dardanelli, D. Emmolo, V. Franco, M. Lo Brutto, P. Orlando, B. Villa (2004). Verifiche metriche e qualitative di immagini IKONOS. Volume monografico dal titolo "COFIN 2001 - L'uso delle immagini satellitari ad alta risoluzione per le analisi territoriali". Torino, Dicembre 2004
- V. Baiocchi, M. Crespi, C. De Lorenzo, L. Fiumi, S. Scifoni, (2004), "Ortorettificazione di immagini iperspettrali MIVIS: problematiche ed analisi di un caso reale (Lago di Vico)", 8<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Geomatica standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie, 14-17 dicembre 2004, Roma, pag. 217-222
- Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Lorenzon F. (2003) - "Ortorettificazione di immagini EROS A1 mediante funzioni polinomiali razionali (RPF): problemi e risultati", 7<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA 2003, 28-31 ottobre 2003 Verona, pp. 145-150
- OrthoEngine Airphoto Projects (2001) - "User's Guide", Version 8.2, October 2001