

DISCRIMINAZIONE LITOLOGICA E GEOLOGIA DELL'AREA DI DIRE DAWA (AFAR, ETIOPIA CENTRO-ORIENTALE) TRAMITE ELABORAZIONE E INTERPRETAZIONE STEREOSCOPICA DI IMMAGINI ASTER

Leonardo DISPERATI(*), Riccardo SALVINI(*), Mauro COLTORTI(**), Alberto PIZZI(***),
Bekele ABEBE(****), Laura PONTARELLI(***), Linda BARTOLOMEI(*),
Dario FIRUZABADI(**), Giorgio SACCHI(**)

(*) Università di Siena, Centro di Geotecnologie e Dipartimento di Scienze della Terra, via Vetri Vecchi, 34, 52027 San Giovanni Valdarno (AR), tel. 0559119442, fax 0559119437, e-mail disperati@unisi.it.

(**) Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra, via Laterina, 8, 53100 Siena

(***) Università di Chieti, Dipartimento di Scienze della Terra - Campus Universitario

(****) Department of Earth Sciences, Addis Ababa University, Ethiopia

Riassunto

Vengono presentati i risultati dell'attività di rilevamento di campagna e dell'elaborazione di immagini multispettrali Aster per la discriminazione litologica e lo studio dell'assetto geologico-strutturale di un transetto del margine orientale dell'East African Rift presso Dire Dawa (Afar meridionale, Etiopia). Dall'estrazione di componenti principali e algoritmi di *decorrelation stretch* sono state prodotte immagini che consentono di discriminare e mappare unità fotogeologiche riconducibili alla distribuzione delle formazioni geologiche note nell'area di studio. Tramite il supporto del modello stereoscopico basato sull'impiego dei canali 3N e 3B sono stati inoltre cartografati faglie e filoni. Gli output di questo lavoro costituiranno la base di riferimento per una missione di campagna geologica e di misura di spettri in sito che si svolgerà nell'ottobre 2007.

Abstract

We present the results of fieldwork activities and spectral enhancement processing of Aster imagery aimed to obtain a geological sketch of a transect of the eastern margin of the East African Rift close to Dire Dawa town (Southern Afar, Ethiopia). By means of visual interpretation of principal components and decorrelation stretch of Aster data, photogeologic mapping units, related to the outcropping geologic formations, were obtained. Moreover, stereoscopic model built from channels 3N and 3B allowed to map faults and dykes. The results of this work will be utilised and checked in October 2007 during a fieldwork mission aimed to collect both geological data and in-situ reflectance spectra to be used for sub-pixel classification of Aster imagery.

Introduzione

Nell'area di Dire Dawa (Afar meridionale, Etiopia – Figura 1) affiora una porzione significativa delle strutture deformative del margine orientale dell'East African Rift (EAR; Mohr, 1967), il rift continentale di maggiore interesse su tutto il globo terrestre. Si tratta di un sistema di faglie che determina l'affioramento di rocce appartenenti al basamento cristallino pre-rift, su cui poggia in discordanza una sequenza Meso-Cenozoica costituita da rocce sedimentarie calcaree e terrigene e da vulcaniti basiche-intermedie. I litotipi ben differenziati, gli effetti limitati dei fenomeni di alterazione e pedogenesi, la scarsa copertura della vegetazione e, non meno importante, l'inaccessibilità di alcuni luoghi per ragioni di sicurezza, morfologia o assenza di rete viaria, rendono l'area di Dire Dawa un luogo ideale per supportare studi di cartografia geologica attraverso l'impiego di immagini telerilevate multispettrali. In questo lavoro vengono descritti i primi risultati

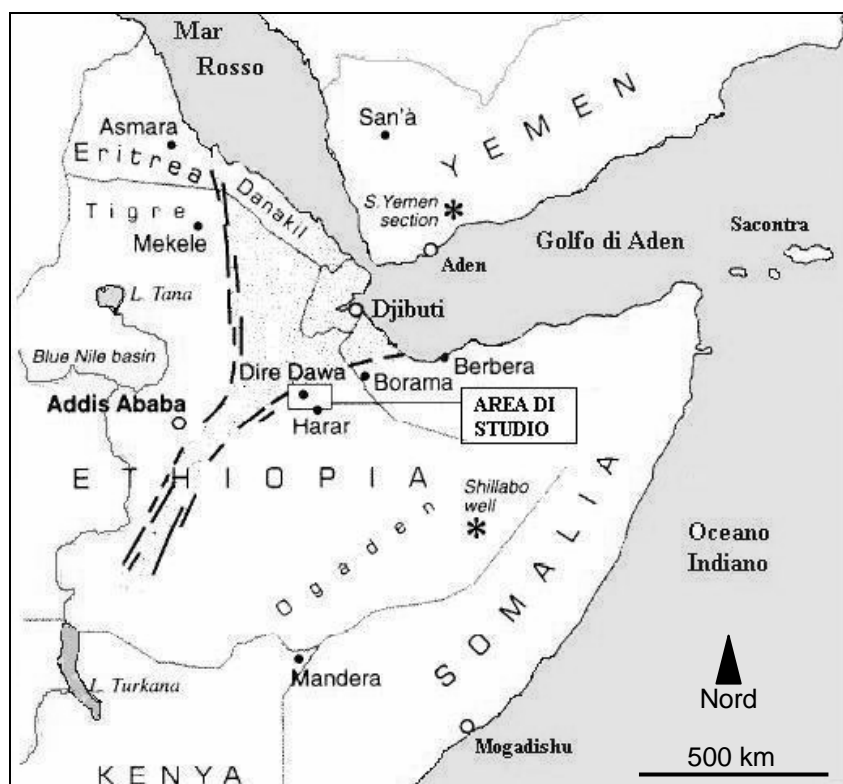


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio.

di uno studio, tuttora in corso, di immagini Aster, finalizzato alla realizzazione di una carta geologica dell'area di Dire Dawa. Tali output vengono integrati con dati di campagna e provenienti dall'interpretazione di fotografie aeree tradizionali.

Dati

Cartografia topografica

Sono state acquisite per l'area di studio, le carte topografiche ufficiali dell'Etiopia alla scala 1:50.000, pubblicate dall'*Ethiopian Mapping Authority*.

Immagini Aster

Sono state acquisite 2 scene Aster, livello di processamento L1B, relative all'anno 2005 (*granule* AST_L1B_00312122005075027_20061003102251_32519 del 12-12-2005 e *granule* AST_L1B_00312282005075013_20061003102431_589 del 28-12-2005).

Aster è un sensore multispettrale, costituito da 3 sottosistemi che operano tra 0,52 μm e 0,86 μm (canali 1-3, GIFOV 15 m), 1,60 μm e 2,43 μm (canali 4-9, GIFOV 30 m), e 8,125 μm e 11,65 μm (canali 10-14, GIFOV 90 m). In particolare, è noto dalla letteratura (Schowengerdt, 1997) che l'intervallo tra 0,4 μm e 2,5 μm ha interessanti potenzialità diagnostiche per lo studio e la discriminazione delle rocce, basato sulla diversa composizione mineralogica di queste ultime. Perciò i canali 1-9 di Aster risultano i più adeguati per questi scopi.

Inoltre il sensore consente la costruzione di modelli stereoscopici tramite l'acquisizione di un'immagine *backward* (canale 3B) che osserva la scena di ripresa sotto un angolo di vista diverso da quello nadirale. Nelle applicazioni della geologia, la visione stereoscopica rappresenta un potente strumento per l'interpretazione visuale delle immagini e l'estrazione di informazioni su tessitura e rilievo.

Immagini Landsat

Dal sito ESDI (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) sono state ottenute le scene Landsat ETM+, *path-row* 166-053 del 12-02-2004 e *path-row* 166-054 del 23-12-2000, ortoproiettate sul sistema UTM WGS84, zona 37. Pur avendo una minore risoluzione spaziale e spettrale rispetto ad Aster, il sensore ETM+ dispone di una banda pancromatica e costituisce un'utile fonte di informazioni liberamente disponibile dal web.

Metodologia

Nel gennaio 2006 è stata svolta una missione di campagna per la raccolta di verità a terra sulle caratteristiche litologiche e sulla geometria delle rocce affioranti. Nell'area di studio, la successione pre-rift è costituita dai seguenti litotipi, a partire dalle unità più antiche (Bosellini et al., 2001): - plutoniti acide e migmatiti (basamento cristallino); - Adigrat *sandstone formation* (?Lias-?Bajociano): conglomerati e quarziti fluviali stratificati, discordanti sul basamento cristallino, spessore ca. 5-20 m; - Antalo *limestone formation* (Batoniano-Titoniano): calcari e calcari marnosi stratificati di ambiente marino, spessore maggiore di 150 m, recentemente suddivisa in 4 formazioni distinte (Bosellini et al., 2001); - Amba Aradam *formation* (?Barremiano-Aptiano): arenarie quarzose grossolane e conglomerati con stratificazione piano-parallela e incrociata, spessore oltre ca. 150 m, a cui si intercalano sill doleritici con spessori di ca. 50-100m. La successione sin-rift è costituita da espandimenti e dicchi basaltici Oligocenici e da vulcaniti basiche-intermedie Plio-Quaternarie. L'area è caratterizzata da sistemi di faglie normali est-ovest legate allo sviluppo dell'EAR, che strutturano la sequenza pre-rift in blocchi di dimensioni chilometriche.

Si è quindi deciso di utilizzare la multispettralità e la capacità stereoscopica di Aster per cartografare i litotipi pre-rift ed i lineamenti riconducibili a faglie e filoni.

I canali 1-3 (*vnir*), 4-9 (*swir*) e lo *stack* dei canali 1-9 delle scene Aster, espressi in termini di radianza al sensore, sono stati sottoposti a elaborazioni di miglioramento spettrale: estrazione delle componenti principali (CP) e *decorrelation stretch* (DS). Il processamento delle diverse composizioni di canali consente di sfruttare i contributi indipendenti della risoluzione spaziale (massima nei canali 1-3) e spettrale.

Successivamente le immagini sono state registrate ai dati Landsat disponibili attraverso rettifica basata su polinomio di 2° ordine.

L'efficacia dei risultati delle diverse elaborazioni è stata verificata tenendo conto delle verità a terra raccolte nella campagna del gennaio 2006. La CP 1 raccoglie le informazioni di luminosità delle scene, per cui nelle CP 2-9 dell'immagine *stack* risultano minimizzati gli effetti limitanti legati all'esposizione dei versanti. Questa condizione è molto utile nell'area di studio, caratterizzata da forte energia del rilievo e da versanti molto estesi esposti verso nord e sud, quindi con livelli di illuminazione significativamente differenti. Sono stati quindi plottati i valori $\#_{CP} - DN_{CP}$ per punti di verità a terra caratterizzati da diversa litologia d'affioramento per definire la capacità discriminante delle diverse CP (Figura 2). Le CP 2,3,4 ottenute dai canali *swir* forniscono i migliori risultati e sono poco affette da rumore. Interessanti sono risultati anche i canali DS 3,4,5 ottenuti dal sensore *swir*.

I canali 3N e 3B (*vnir*) sono stati utilizzati per costruire in ambiente LeicaTM LPS il modello stereoscopico dell'area di studio.

Dall'interpretazione visuale di composizioni di falsi colori delle elaborazioni spettrali e tramite visualizzazione stereoscopica, sono state mappate unità fotogeologiche, sistemi di faglie, filoni magmatici e dicchi e giaciture di stratificazione.

Risultati e discussione

Rispetto al quadro delle formazioni geologiche note nell'area di studio, l'elaborazione e l'analisi delle immagini Aster e dei dati disponibili ha consentito di discriminare e mappare 4 unità fotogeologiche (UF)(Figura 3):

- UF1 - rocce acide del basamento cristallino;

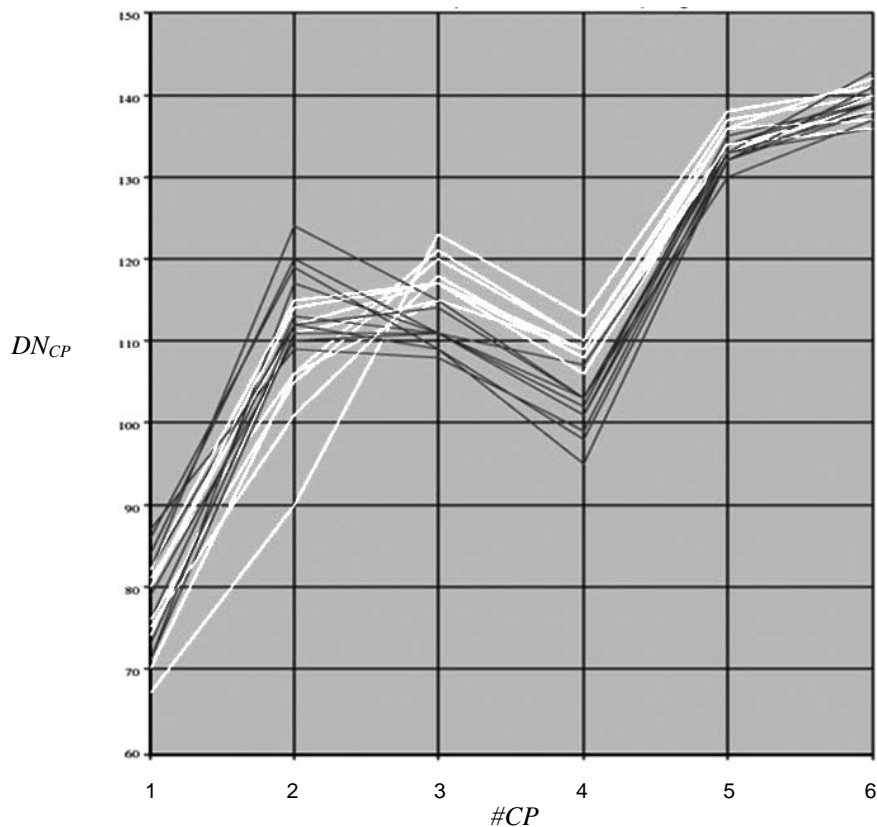


Figura 2 – Valore (DN_{CP}) delle CP ottenute dall'immagine Aster del 12-12-2005, canali 4-9, per punti di verità a terra caratterizzati dall'affioramento di Antalo limestone formation (grigio) e Amba Aradam formation (bianco).

- UF2 - corrispondente all'insieme di Adigrat sandstone e Antalo limestone; queste due formazioni, seppure diverse dal punto di vista litologico, non sono risultate discriminabili, principalmente per il limitato spessore della Adigrat sandstone, dello stesso ordine di grandezza della risoluzione spaziale delle immagini Aster *swir*; anche la variabilità litologica di Antalo limestone (principalmente tra calcare e marna) non sembra avere effetti significativi o spazialmente riconoscibili sulle caratteristiche spettrali della formazione;
- UF3 - Amba Aradam formation; questa unità fotogeologica è costituita da pixel con caratteristiche eterogenee che consentono di distinguere la facies arenacea dai livelli costituiti da vulcaniti basiche in giacitura di sill;
- UF4 - depositi e formazioni superficiali legati alle dinamiche di erosione/deposizione recenti e attuali; questa unità è talora difficilmente discriminabile rispetto alle precedenti, poiché spesso costituita da elementi provenienti dal basamento cristallino o dalla Amba Aradam formation.

La carta fotogeologica costituisce un utile strumento per l'esecuzione di sezioni geologiche e per l'individuazione di aree caratterizzate da particolari problematiche stratigrafico-strutturali non risolvibili in modo univoco dalla sola interpretazione di dati telerilevati. Le attività sono tuttora in corso e consentiranno di definire un programma dettagliato di verifiche a terra durante la missione di campagna programmata per ottobre 2007. In questa occasione è inoltre prevista la raccolta di spettri di campagna sulle rocce affioranti attraverso lo spettrometro *FieldSpec® 3 Full Range*, che lavora nel range spettrale 0,35-2,5 μm con una risoluzione spettrale di 3÷10 nm. La disponibilità di spettri specifici dei materiali affioranti renderà possibile eseguire il calcolo di riflettanza delle immagini Aster basato sull'applicazione del modello di trasmittività atmosferica MODTRAN4 (Berk et al., 1998). Infine le immagini di riflettanza potranno essere classificate

tramite un algoritmo di *spectral unmixing* (Manolakis et al., 2001) dove gli *endmember* saranno costituiti dagli stessi spettri acquisiti in campagna.

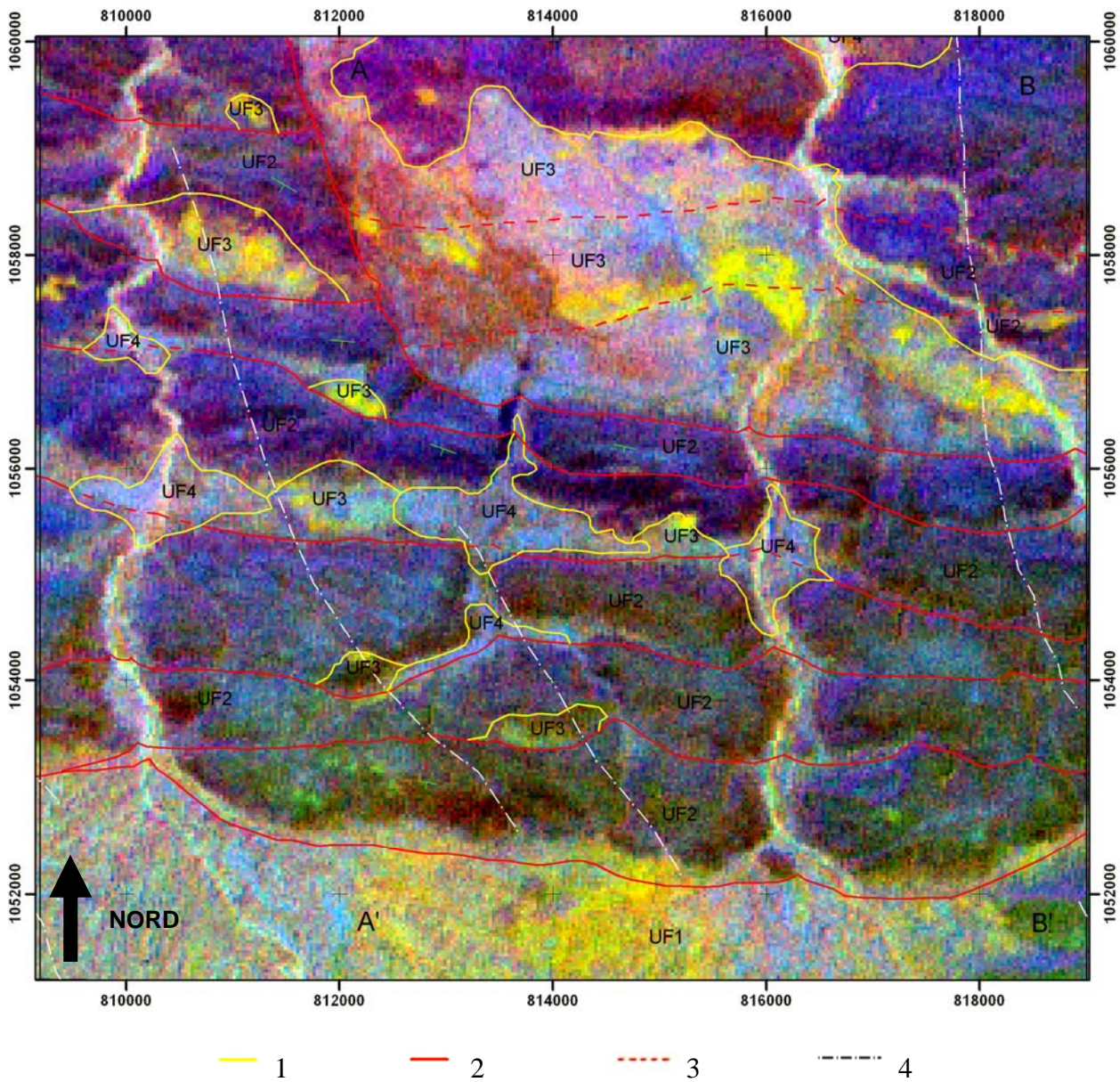


Figura 3 – Carta fotogeologica del transetto dell’EAR a sud di Dire Dawa ottenuta dall’elaborazione e interpretazione visuale delle immagini Aster. Legenda: 1) contatto stratigrafico; 2) faglia; 3) faglia incerta; 4) filone. Per la descrizione ed il significato delle unità fotogeologiche UF1 – UF4 vedere il testo. Sistema di coordinate UTM, zona 37N.

Conclusioni

L’applicazione delle CP e del DS a scene Aster *vnir* e *swir* espresse in termini di radianza al sensore, ha consentito di ottenere immagini derivate di particolare interesse per la discriminazione litologica delle formazioni geologiche affioranti lungo un transetto del margine orientale dell’East African Rift.

Le unità cristalline acide, calcareo-marnose, quarzoso-arenacee e vulcaniche/filoniane basiche sono in genere ben risolvibili, soprattutto attraverso l’impiego di immagini in falsi colori delle CP delle scene *swir*. Le CP consentono inoltre di mitigare gli effetti negativi delle diverse condizioni di illuminazione dei versanti, particolarmente importanti nell’area di studio. La risoluzione spaziale

dei dati Aster costituisce probabilmente un ostacolo per la mappatura delle formazioni geologiche più sottili, come la Adigrat *sandstone*, che in genere non supera i 20 m di spessore.

Il modello stereoscopico, basato sui canali *vnir* 3N e 3B, consente di mappare in modo accurato anche in zone altrimenti poco accessibili, entità fondamentali per l'interpretazione geologica dell'area di studio come faglie e filoni, questi ultimi ben individuabili anche grazie alle loro proprietà spettrali.

La carta fotogeologica ottenuta nell'ambito di questo lavoro costituirà la fondamentale base di lavoro durante la missione di campagna programmata per ottobre 2007. In questa campagna sarà verificata l'accuratezza della carta e verranno effettuate misure di spettri delle rocce affioranti. Questi spettri costituiranno gli *endmember* nell'ambito di una procedura di classificazione delle scene Aster basata su *spectral unmixing*, ancora finalizzata al miglioramento della conoscenza della geologia della porzione dell'EAR oggetto di studio.

Bibliografia

- Berk A., Bernstein L.S., Anderson G.P., Acharya P.K., Robertson D.C., Chetwynd J.H. and Adler-Golden S.M. (1998), "MODTRAN Cloud and Multiple Scattering Upgrades with Application to AVIRIS" *Remote Sensing Environment* 65: 367.
- Bosellini A., Russo A., Assefa G., (2001), "The Mesozoic succession of Dire Dawa, Harar Province, Ethiopia", *Journal of African Earth Sciences*, 32(3): 403-417.
- Manolakis D., Siracusa C., Shaw G. (2001), "Hyperspectral Subpixel Target Detection Using the Linear Mixing Model", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 39: 1392-1409.
- Mohr P.A. (1967), "The Ethiopian Rift System", *Bullettin of Geophysical Observatory*, Addis Ababa, 11: 1-65.
- Schowengerdt R.A. (1997), "Remote Sensing - Models and Methods for Image Processing", Second Edition, Academic Press, San Diego, CA, USA, 522 pp.