Elaborazione di dati ASTER per la discriminazione litologica

Bertoldi Luca (*), Massironi Matteo (*), Naletto Giampiero (**), Visonà Dario (*)

(*) Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova, Via Giotto 1, cap.35137 Padova, Italy.
luca.bertoldi@unipd.it
(**)Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova, Via Gradenigo 6/b, cap.35131 Padova, Italy.

Riassunto
Nonostante la continua crescita del mercato delle immagini satellitari, l'utilizzo di immagini multispettrali per la discriminazione litologica è per buona parte riservato al mondo universitario e alle compagnie minerarie. L'assenza di una procedura univica e semplice per ottenere informazioni adatte alla distinzione di diverse litologie partendo dal dato satellitare grezzo è un ostacolo che frena l'uso di questi prodotti da parte delle piccole compagnie e privati.
Trai tutti i sensori satellitari che registrano immagini nelle lunghezze d'onda che vanno dal visibile al vicino infrarosso, ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) presenta numerosi vantaggi dovuti al fatto che le immagini sono poco costose e coprono gran parte della superficie terrestre.
Questo studio vuole suggerire una semplice e chiara procedura per l'analisi di immagini ASTER, utilizzando dati SRTM (*Shuttle Radar Topographic Map*) e i software Envi® e ArcGis® ai fini della distinzione di diversi materiali geologici.
Le procedure di correzione del dato (*preprocessing*) e di elaborazione vengono qui presentate utilizzando un'immagine della regione del Dolpo (Himalaya-Nepal occidentale). Lo studio di quest'area ha permesso il riconoscimento di un inedito plutone granitico e delle rocce metamorfiche e sedimentarie incassanti.

Abstract
Despite the consistent development of satellite data, the use of medium-resolution multispectral image products for lithologic discrimination has been restricted to the academic research activity and mineral company, while it is not so diffused among smaller companies and private geologists. This might be caused by the absence of an univocal and user-friendly procedure to transform the satellite raw data in a useful information for lithological discrimination.
The ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer) data are among all the satellite optical products the far most useful for private user since they are cheap and with a good world coverage. However the accuracy of these products is limited mainly by the moderate spectral resolution of its bands.
The aim of this study is to suggest a simple, accurate and clear procedures set that would help ASTER and SRTM (Shuttle Radar Topographic Map) data analysis. In particular we have integrated Envi® and ArcGis® platforms in order to easily derive lithological informations from ASTER L1A and L1B products in the study area of Dolpo region (Himalaya, Western Nepal-FIG.8). These techniques allowed the detection of a previously unknown granitoid pluton together with its intrusive contacts with sedimentary and metamorphic host-rocks.

Dati e software

ASTER è un sensore *push-broom* composto da tre radiometri (v. figura 1). Il primo ha tre bande nel visibile-vicino infrarosso (VNIR-*VisibleNearInfraRed*) e risoluzione spaziale di 15m/pixel, il secondo ha 6 bande nell'infrarosso (SWIR-*Short Wave InfraRed*) e risoluzione spaziale di 30m/pixel mentre il terzo ha 5 bande nell'infrarosso termico (TIR-*Thermal InfraRed*) e risoluzione spaziale di 90m/pixel. ASTER è inoltre dotato di un canale *backward-looking*, che registra immagini nella banda 3 del VNIR. Ogni scena ripresa ha quindi una stereocopia che permette la creazione di DEM (*Digital Elevation Model*) potenzialmente con una griglia di 15m/pixel. Le dimensioni della scena sono di 60x60Km, un'area di 3600Km^2. (Abrams et al., 2002)

Radiometer	Spatial resolution	Aster Band	Wavelenght (nm)	Wavelenght (1/cm)	Bandwidth (nm)	S/N - Signal to Noise
VNIR	15m	1	556	17986	90	≥140%
		2	661	15129	60	≥ 140%
		3	807	12392	100	≥ 140%
SWIR	30m	4	1656	6039	92	≥ 140%
		5	2167	4615	35	≥ 54%
		6	2208	4529	40	≥ 54%
		7	2266	4413	47	≥ 54%
		8	2336	4281	70	≥ 70%
		9	2400	4167	68	≥ 54%
TIR	90m	10	8291	1206	344	≤ 0,3 K
		11	8634	1158	347	≤ 0,3 K
		12	9075	1102	361	≤ 0,3 K
		13	10657	938	667	≤ 0,3 K
		14	11303	885	593	≤ 0,3 K

Figura 1 – Informazioni su risoluzione spaziale, spettrale e qualità del sensore ASTER

I dati SRTM provengono da una missione dello *Space Shuttle Endeavour* del 2000, che utilizzando due antenne RADAR nelle bande C (4-8 GHz) e X (8-12 GHZ) con la tecnica INSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) hanno permesso la produzione di DEM molto precisi che coprono gran parte della superficie terrestre con una risoluzione di circa 30m, vengono però distribuiti gratuitamente ad una risoluzione di 90m. (Rosen et al., 2001)

Lo spettrofotometro CARY5000® della VARIAN è stato utilizzato per raccogliere le firme spettrali ad alta risoluzione dei campioni raccolti in campagna, tra le lunghezze d'onda di 350nm e 2500nm con un passo di campionamento di 1nm.

I *software* utilizzati per l'elaborazione dei dati sono Envi® della ITT-VIS, utile nell'analisi di immagini geospaziali con utili applicazioni dedicate a singoli sensori e ArcGis® della ESRI, una raccolta di *software* per creare carte tematiche, visualizzare ed elaborare dati geospaziali.

Analisi dati

Prima di poter elaborare il dato ASTERL1a o L1b, bisogna effettuare il *preprocessing*, cioè una serie di processi per ottenere un'immagine corretta dal punto di vista radiometrico e spaziale.

Nel caso in cui si parta da immagini di livello 1a, per ottenere una immagine di livello 1b bisogna effettuare la calibrazione radiometrica, cioè trasformare i DN (*Digital Number*) in valori di radianza al sensore (W/m^2/sr/µm) ed effettuare la co-registrazione geometrica.

Dalla versione 4.4 di ENVI®, questo processo è stato automatizzato; in ogni modo la trasformazione è semplice, basta applicare la seguente formula utilizzando i parametri contenuti nel file *header*:

$$L_{VNIR}, L_{SWIR} = A \cdot DN/G + D$$
$$L_{TIR} = A \cdot V + 2 \cdot C \cdot DN + D$$

Dove:

L=Radianza al sensore(in W/m2/sr/μm)	A=Coefficente lineare
DN =Segnale in numero digitale	G=*Gain*
D=*Offset*	C=Coefficente non lineare

Una volta ottenuta l'immagine di L1b, si procede eseguendo le seguenti pre-elaborazioni:
1)correzione del *crosstalk* nelle bande dello SWIR, utilizzando il software scaricabile gratuitamente dal sito http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/cross/CRSTK30.lzh;
2)estrazione del DEM utilizzando le stereo copie 3N e 3B;
3)ricampionamento a 15m delle bande SWIR e TIR;
4)se presente, correzione dello spostamento delle bande SWIR rispetto a quelle VNIR-TIR;
5)ortoretifica dell'immagine;
6)correzione atmosferica dell'immagine. Nelle bande del VNIR-SWIR utilizzando l'algoritmo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) implementato in ENVI®, che trasforma i valori di radianza al sensore in valori di riflettanza al terreno. Nelle bande del TIR la correzione atmosferica consente invece di avere immagini di emittanze e temperatura a terra.
7)eventuale correzione topografica preferendo i DEM da SRTM (Figura 2), convenientemente ricampionati ed interpolati, utilizzando metodi non Lambertiani come il metodo proposto da Minnaert o metodi più complessi con approcci empirico-statistici come ad esempio il metodo di Teillet o il C-correction. *(*Nikolakopoulos et al., 2006; Riano et al., 2003*)*

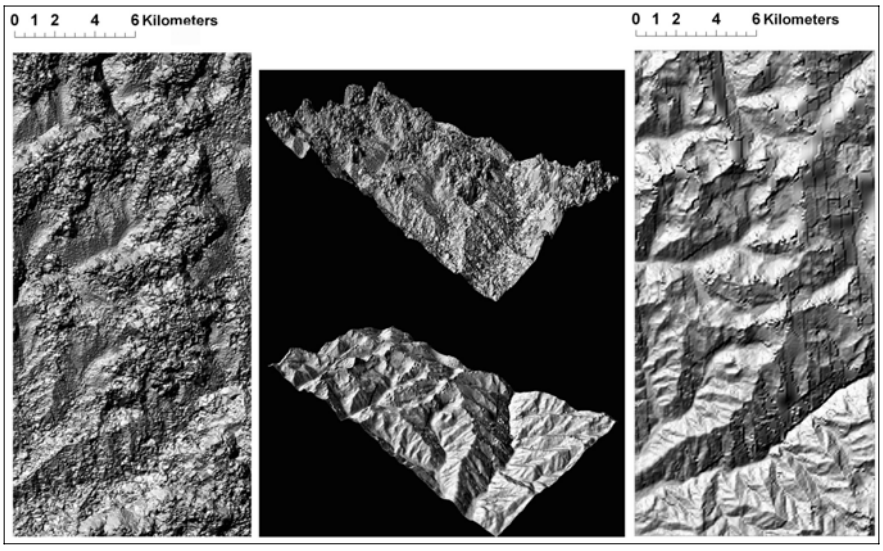

Figura 2 – Modello ombreggiato diDEM da ASTER (sinistra e sopra) e modello ombreggiato da dati SRTM (destra e sotto). Anche se i DEM da SRTM hanno una risoluzione di 90m/pixel mentre quelli da ASTER di 15m, i primi in terreni con un alto rilievo sono più precisi. I DEM ASTER infatti contenendo artefatti dovuti all'interpolazione e alla presenza di nuvole, sono molto rumorosi.

Una volta ottenuta l'immagine corretta, è necessario mascherare i *pixel* non rocciosi di modo che le statistiche e le elaborazioni seguenti siano dedicate esclusivamente all'argomento geologico.
Per far questo è necessario costruire dei filtri con delle soglie che possono variare da scena a scena.

L'immagine del Dolpo, oltre alle rocce presenta *pixel* che appartengono alle classi neve, nubi, acqua e vegetazione, è stato così implementato un algoritmo utilizzando il Model Builder® di ArcGis®. (Figura 3)

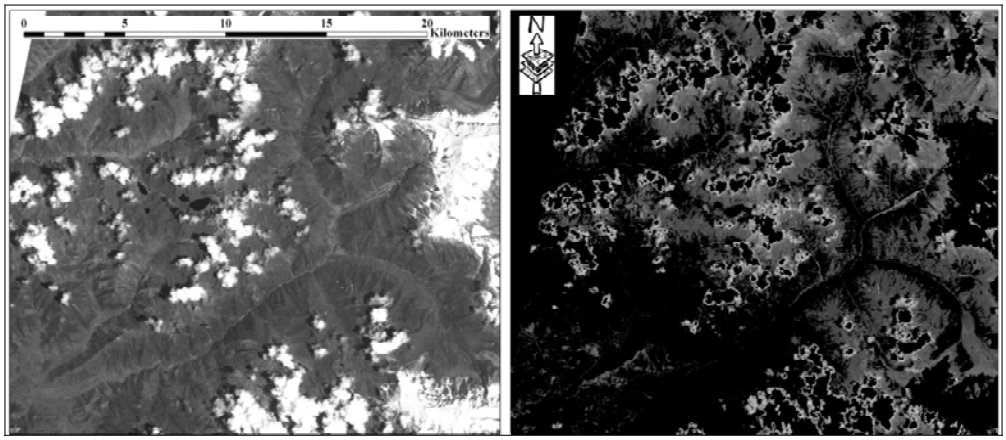

Figura 3 – Immagine ASTER della zona del Dolpo, prima dell'applicazione della maschera (sinistra) e dopo (destra), in nero i pixel non rocciosi.

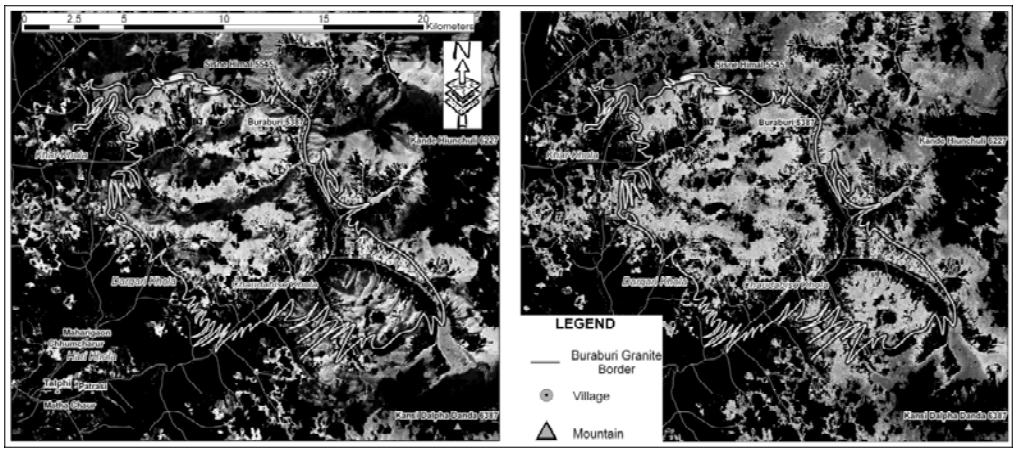

Figura 4 –A sinistra un rapporto tra le bande 5 e 4, che mettono in risalto i Fe-silicati, gli idrossidi di Ferro e la Biotite, a destra il rapporto tra le bande 5 e 6 che mettono in risalto la presenza di idrossidi di Al e in particolare la Muscovite, minerale molto abbondante nella roccia granitica.

Il passo successivo consiste nell'elaborazione vera e propria dell'immagine, osservando i valori di riflettanza in un visualizzatore multidimensionale abbiamo cercato diversi *endmembers* poi utilizzati in classificazioni di tipo s*upervised* quali SAM (Spectral Angle Mapper) e MLL (Maximum LikeLihood). In seguito abbiamo cercato di individuare le differenze nello spettro degli *endmembers*, assorbimenti e cambi di pendenza, per poi scegliere delle operazioni tra bande conveniente a mettere in risalto le diverse litologie. Utilizzando il Model Builder® di ArcGis® abbiamo così elaborato un semplice algoritmo che calcola diverse combinazioni di operazioni tra bande (Figura 4) che definiscono particolari indici mineralogici. (Yamaguchi et al., 2003; Ninomiya et al., 2005; Rowan et al., 2005; Massironi et al., 2008.)

Infine scegliendo le immagini provenienti dalle classificazioni SAM e MLL e da indici di particolari minerali-rocce quali la caolinite, la calcite e il quarzo, si è mappato il plutone granitico (*Buraburi granite*)e le rocce sedimentarie (carbonati e quarziti) e metamorfiche (filladi e gneiss) incassanti. Durante l'autunno del 2008 abbiamo inoltre condotto una missione a terra, con il fine di confermare i risultati ottenuti dall'elaborazione delle immagini ASTER. Abbiamo così campionato le superfici del granito e delle rocce incassanti, in seguito analizzate con lo spettrofotometro da laboratorio CARY5000.(Figura 5)

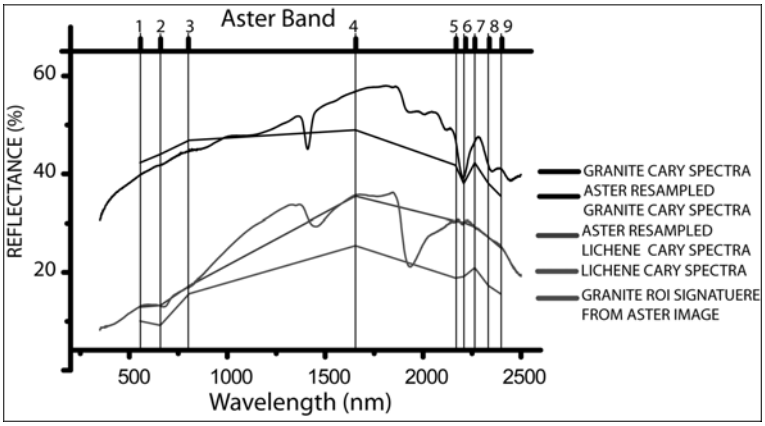

Figura 5 – Confronti di firme spettrali in riflettanza dei campioni analizzati in laboratorio (Cary spectra), ricampionati utilizzando le bande ASTER (resempled), e provenienti dall'immagine ASTER precedentemente corretta.

Conclusioni

Le elaborazioni dell'immagine ASTER, utilizzando un metodo empirico "a priori", hanno dato ottimi risultati, soprattutto se si tiene in considerazione dell'elevata rugosità topografica e dell'abbondante copertura di pixel non rocciosi nella scena ripresa.

Il confronto tra le firme spettrali del granito proveniente dall'immagine ASTER e quelle campionate in laboratorio mostrano come la copertura lichenica influenza lo spettro ricavato da satellite. Il fenomeno di *mixing* tra lichene e granito, ben documentato in campagna, mostra come le bande del VNIR siano influenzate maggiormente dalla presenza dei licheni (*red edge*) rispetto alle bande nello SWIR che mostrano invece un tipico assorbimento dei fillosilicati (Muscovite) dovuti ai fenomeni vibrazionali-rotazionali delle molecole AlOH. La Muscovite è un minerale molto abbondante nei graniti peraluminosi Himalyani e in particolar modo nel *Buraburi granite*, dove raggiunge dimensioni nell'ordine di alcuni centimetri e contribuisce all'alta concentrazione di Al_2O_3 della roccia totale, importante parametro classificativo e con implicazioni genetiche.

Gli assorbimenti caratteristici dei licheni visti con lo spettrofotometro di laboratorio (circa 1490nm-1900nm), dovuti alla presenza di H_2O, sono in corrispondenza di due assorbimenti atmosferici ad opera della stessa H_2O e CO_2. Questo impedisce una chiara differenziazione di licheni e graniti in immagini satellitari che raccolgono informazioni in questa regione dello spettro elettromagnetico.

La carta geologica prodotta, integrando le analisi del dato ASTER, ha supportato numerose implicazioni geologico-strutturali trattate in maniera approfondita da Carosi et al., 2009. (Figura 6).

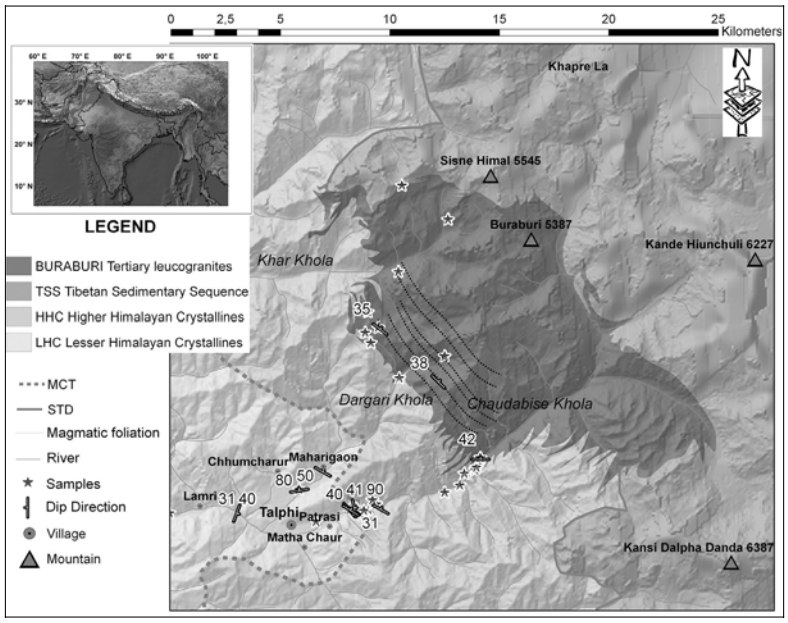

Figura 6 – Carta geologica della zona indagata dopo i controlli a terra.

Bibliografia

Abrams M., Hook S., Ramachandran B., (2002), *ASTER User Handbook, v2: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Relection Radiometer*, Jet Propulsion Laboratory: 135

Carosi R., Montomoli C., Rubatto D., Bertoldi L., Frassi C., Visonà D., Pertusati P.C., (2009), "Along strike Variation of Exhumation Mechanism of the Higher Himalayan Crystallines: Insoght from Western Nepal", *5th International Symposium on the Tibetan Plateau & 24th HKT Workshop*, Beijing, China: 22-23

Massironi M., Bertoldi L., Calafa P., Visona D., Bistacchi A., Giardino C., Schiavo A., (2008). "Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern Anti-Atlas, Morocco)", *Geosphere*, 4: 736-759

Nikolakopoulos K.G., Kamaratakis E.K., Chrysoulakis N., (2006), "SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions inCrete, Greece", *International Journal of Remote Sensing*, 27(21): 4819-4838.

Ninomiya Y., Fu B., Cudahy T.J., (2005), "Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared 'radiance-at-sensor' data", *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2), :127-139

Riano D., Chuvieco E., Salas J., Aguado I., (2003), "Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types", *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 41(1): 1056-1061

Rosen P., Eineder M., Rabus B., Gurrola E., Hensley S., Knopfle W., Breit H., Roth A. and Werner M., (2001), *SRTM Mission—Cross Comparison of X and C Band Data Properties*. Proceedings of IGARSS, Sydney, Australia, unpaginated CD-ROM

Rowan L.C., Mars J.C., Simpson C.J., (2005), "Lithologic mapping of the Mordor, NT, Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)", *Remote Sensing of Environment*, 99(1-2): 105-126

Yamaguchi Y. and Naito C., (2003), "Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands." *International Journal of Remote Sensing*, 24(22): 4311-4323