

METODOLOGIE DI ANALISI DEI DATI MODIS PER LA REDAZIONE DI CARTOGRAFIE TEMATICHE GEOMORFOLOGICHE

Alberto MARINI, Maria Teresa MELIS, Luca NAITZA

Laboratorio TeleGIS, Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Cagliari
Via Trentino, 51 09127 Cagliari tel 0706767701 fax 070282236, telegis@unica.it

Riassunto

In questo lavoro viene studiato l'utilizzo di immagini MODIS nella creazione di cartografie tematiche in ambito geomorfologico per la mappatura a media scala delle dinamiche naturali del sistema arido del Sahara occidentale. Precedenti osservazioni svolte dagli autori hanno dimostrato come l'elaborazione dei dati telerilevati in ambiente arido possa costituire una importante base di conoscenze in ambito geomorfologico per ricostruzioni paleogeografiche e per la comprensione delle fluttuazioni climatiche nel Quaternario. Viene studiata l'integrazione in ambito GIS dei dati spettrali del MODIS con i DEM SRTM per definire le unità morfologiche dal punto di vista spettrale e spaziale.

L'analisi dei dati si è svolta in due fasi: una prima fase ha comportato l'analisi spaziale dei dati spettrali anche attraverso la fotointerpretazione di modelli tridimensionali; una seconda fase ha previsto l'applicazione dei sistemi di classificazione spettrale. Sono stati utilizzati inoltre anche i dati relativi ai passaggi notturni, che hanno permesso di differenziare su base termica le coperture eoliche. Questo modello ha costituito la base per la ricostruzione dei pattern di drenaggio, delle piane intradunali, delle sebka e delle morfologie eoliche. Il prodotto dell'elaborazione, integrato alla fotointerpretazione è la mappatura delle unità geomorfologiche: in particolare si propone una classificazione dei pattern di drenaggio finalizzata al riconoscimento di paleo-sistemi idrografici. Il Sahara occidentale è interessato da un importante sistema di *oued* che scorrono da nord-est verso sud-ovest e che attualmente risultano interrotti da ampi campi dunari. La fascia di passaggio verso i campi di dune mobili rappresenta un'importante area di studio per le ricostruzioni paleogeografiche.

Abstract

The aim of this study is to test the MODIS data to mapping geomorphological units in the arid system of Western Sahara. Previous observations of the authors demonstrated how remote sensing data help in the reconstruction of palaeo-geography and climatic fluctuation during the Quaternary. In this study we propose the integration of multispectral, multisensor bands and DEM data for the interpretation and mapping of the phenomena. The analysis was done in two steps: spatial analysis by photointerpretation of MODIS and Landsat images modeled on tridimensional views; application of spectral classification of MODIS emissivity band acquired in nighttime. The spectral angle mapping classification was performed on the dataset to map the limit of cemented sand dunes. The classified areas represent the most important units affected by climate changes. The Western Sahara is interested by a large *oued* system actually cutted by the erg; these areas may be an interesting sites to collect samples for dating and to reconstruct the Holocene climate fluctuation.

Introduzione

La terminologia geologica che viene utilizzata per esprimere anche le forme morfologiche viene necessariamente mantenuta anche per esprimere le forme dei rilievi e delle depressioni leggibili nelle immagini telerilevate. Le forme geomorfologiche del primo ordine vengono ora espresse da immagini reali e per leggere i rapporti morfotettonici tra le placche non è più necessario limitarsi alle delimitazioni cartografiche. La comprensione della geometria e della cinematica delle deformazioni richiede il supporto dei dati stratigrafici e geofisici ma la possibilità di utilizzare alternativamente visioni del "visibile" da confrontare con letture nell'infrarosso e nel termico permette l'esaltazione delle differenze litologiche e una lettura dei rapporti che facilita il riconoscimento e l'origine delle forme.

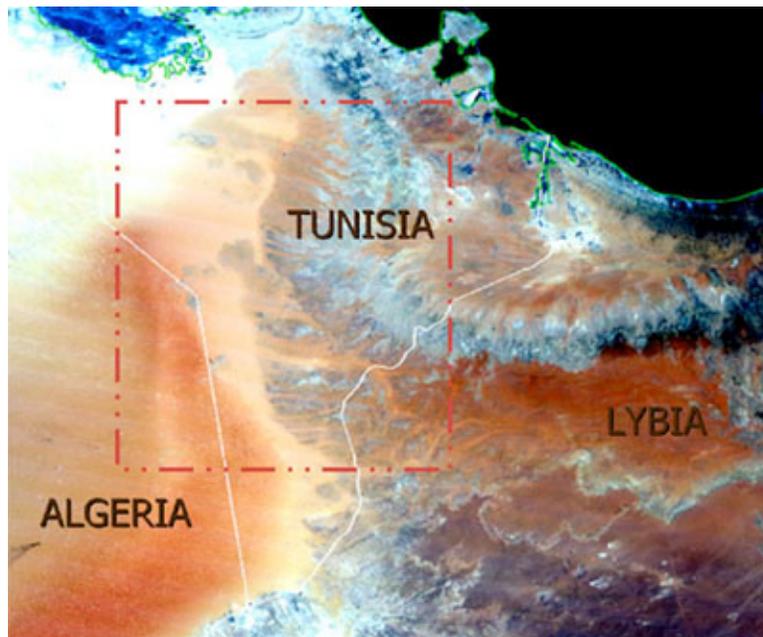


Figura 1 – Immagine MODIS dell'area in studio

Area di studio

Lo studio ha interessato i sistemi pre-desertici e desertici che coprono parte della Tunisia meridionale sino ai confini con la Libia e l'Algeria (Fig. 1). L'analisi su questa vasta area estende le ricerche più di dettaglio svolte dagli autori in lavori precedenti con lo scopo di delineare e offrire ulteriori strumenti di analisi dei sistemi morfologici desertici (Marini A. et alii. 2004).

Dal punto di vista morfologico-strutturale l'area si trova nella stabile Piattaforma sahariana, che comprende il plateau di Dahar e la Piana di Jeffara. Si tratta di una struttura monoclinale, debolmente inclinata (2° - 5°) verso sud-ovest, limitata a nord dalla piana costiera subsidente di Jeffara. I versanti in arretramento che separano il Plateau di Dahar dalla Piana di Jeffara tagliano la sequenza completa tardo permiana - mesozoica (circa 3000 m di potenza) permettendo un'eccellente esposizione.

I dataset ed il pre-processamento

Il presente lavoro ha richiesto lo studio e l'utilizzo di dati satellitari MODIS, la cui acquisizione per mezzo dei satelliti Terra ed Aqua garantisce la ripresa consecutiva diurna e notturna nell'arco di 24 ore dello stesso territorio, disponendo, tra le altre, di 16 bande calibrate su lunghezze d'onda emissive nell'infrarosso termico (Tab. 1). I dati MODIS presi in esame provengono dalla stazione di ricezione satellitare TeleGIS (<http://telegis.unica.it/progetto/antenna>), attiva dal Luglio 2004 presso il

Dipartimento di Fisica dell'Università di Cagliari, che raccoglie i dati satellitari Terra e Aqua relativi all'intero bacino del Mediterraneo.

Banda	Lunghezze d'onda (nm)	Campo Spettrale	Risoluzione spaziale	Banda	Lunghezze d'onda (nm)	Campo Spettrale	Risoluzione spaziale
1	620 - 670	visibile	250 m	19	915 - 965	IR vicino	1000 m
2	841 - 876	IR vicino	250 m	20	3.660 - 3.840	IR termico	1000 m
3	459 - 479	visibile	500 m	21	3.929 - 3.989	IR termico	1000 m
4	545 - 565	visibile	500 m	22	3.929 - 3.989	IR termico	1000 m
5	1230 - 1250	IR vicino	500 m	23	4.020 - 4.080	IR termico	1000 m
6	1628 - 1652	IR vicino	500 m	24	4.433 - 4.498	IR termico	1000 m
7	2105 - 2155	IR vicino	500 m	25	4.482 - 4.549	IR termico	1000 m
8	405 - 420	visibile	1000 m	26	1.360 - 1.390	IR vicino	1000 m
9	438 - 448	visibile	1000 m	27	6.535 - 6.895	IR termico	1000 m
10	483 - 493	visibile	1000 m	28	7.175 - 7.475	IR termico	1000 m
11	526 - 536	visibile	1000 m	29	8.400 - 8.700	IR termico	1000 m
12	546 - 556	visibile	1000 m	30	9.580 - 9.880	IR termico	1000 m
13	662 - 672	visibile	1000 m	31	10.780 - 11.280	IR termico	1000 m
14	673 - 683	visibile	1000 m	32	11.770 - 12.270	IR termico	1000 m
15	743 - 753	visibile	1000 m	33	13.185 - 13.485	IR termico	1000 m
16	862 - 877	IR vicino	1000 m	34	13.485 - 13.785	IR termico	1000 m
17	890 - 920	IR vicino	1000 m	35	13.785 - 14.085	IR termico	1000 m
18	931 - 941	IR vicino	1000 m	36	14.085 - 14.385	IR termico	1000 m

Tabella 1: bande spettrali e risoluzione geometrica del sensore MODIS

I dati satellitari vengono quotidianamente ricevuti dalla stazione ricevente TeleGIS in formato “Level 0” e trasformati (Level 1) dal sistema stesso applicando correzioni di calibrazione radiometrica e di geo-localizzazione in relazione alle specifiche d’acquisizione della strumentazione di bordo. Le immagini MODIS Level 1 presentano sistematiche distorsioni geometriche (ad esempio l’effetto “bowtie”), facilmente correggibili (Level 1B) mediante appropriati algoritmi, che influenzano progressivamente le zone marginali delle scene all’allontanarsi dal nadir della ripresa. Al fine di limitare l’eventuale influenza di tali algoritmi di correzione sui valori numerici delle matrici, nel presente lavoro la scelta dei dataset è avvenuta tra le riprese in cui l’area di studio risulta lungo il nadir del satellite. In considerazione, inoltre, dell’eventuale presenza di copertura nuvolosa che può mascherare od influenzare i valori emissivi degli elementi a terra, la scelta delle immagini è ricaduta sul dataset notturno Aqua MYD021KM.2005157.0105 del 06 Giugno 2005, ore 01.05 GTM, e sul dataset diurno Terra MOD021KM.2005179.0956 del 28 Giugno 2005, ore 09.56 GTM.

Entrambi i dataset sono stati sottoposti a georeferenziazione secondo il sistema di proiezione UTM (zona 32) con Datum WGS84, per consentire la confrontabilità reciproca delle risposte spettrali e la mappatura dei risultati dell’analisi. La georeferenziazione è avvenuta utilizzando i valori latitudine/longitudine di geo-localizzazione calcolati dal sistema sulla base dei dati dell’orbita satellitare trasmessi dagli strumenti di bordo. La distribuzione spaziale dei punti di geo-localizzazione corrisponde ad una griglia di 1000mx1000m per maglia con valori centrati sui pixel della matrice del dataset.

Metodologia

Il lavoro ha voluto sperimentare l’utilizzo delle bande emmissive del MODIS per il riconoscimento e la mappatura di unità litologiche che si sono rivelate come strutture dunari cementate ed erose in forma di

yardang, riconducibili a fluttuazioni climatiche recenti. Studi precedenti hanno dimostrato come l'applicazione di tecniche di elaborazione spettrale possano evidenziare nel medio infrarosso valori di radianza correlabili a forme di paleo-drenaggio. E' evidente come quindi le elaborazioni su dati multispettrali offrano la possibilità di studiare e di mappare unità che rappresentano areali di interazione tra le dinamiche fluviali ed eoliche riferibili a momenti diversi nella storia climatica sahariana (Fig. 2). Analizzando i dati MODIS e quindi aumentando l'area di osservazione si è visto che sono riconoscibili nel settore peri-desertico distribuzioni tonali di emissività interpretabili come forme di paleo-drenaggio.

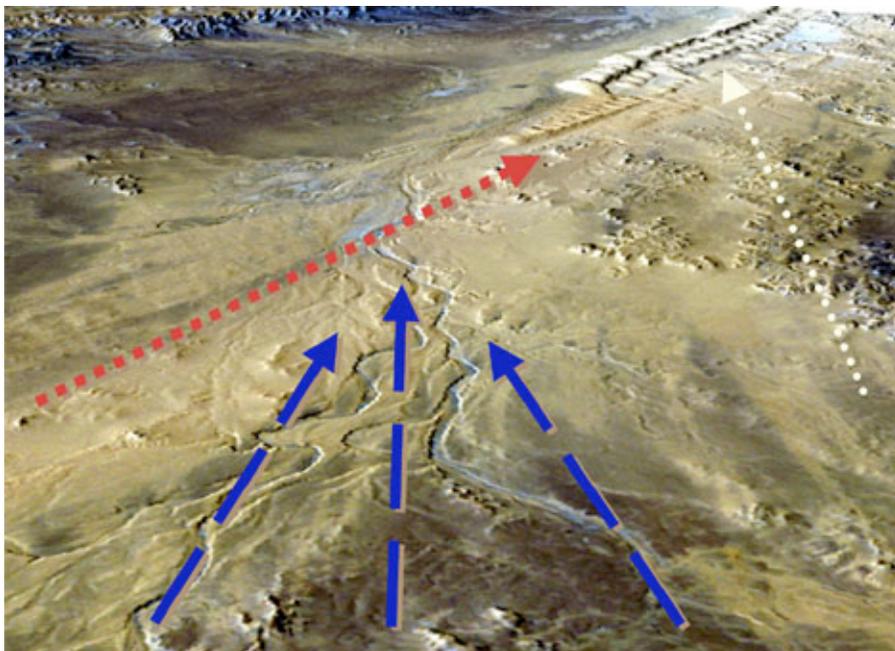


Figura 2 – Dati Landsat integrati nel SRTM DEM: la freccia chiara indica i campi dunari cementati ed erosi, impostati lungo una paleovalle indicata dalla freccia grigia; le frecce scure indicano le nuove direzioni di scorrimento meandriforme.

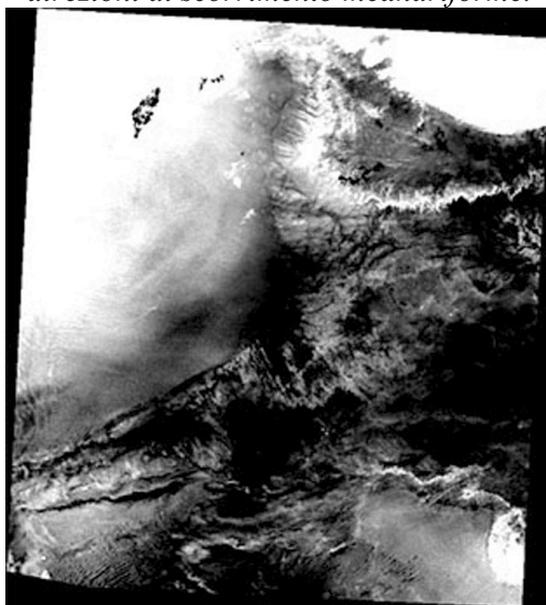


Figura 3 – Rapporto tra le bande 32 MODIS notturne e diurne.

L'emissività, definita come la quantità di radiazione emessa da una superficie relativamente a quella di un corpo nero alla medesima temperatura, è funzione di diversi fattori quali il colore, la rugosità della superficie, il contenuto di umidità, la densità e la lunghezza d'onda. Se si collegano questi fattori alle proprietà termiche del terreno vediamo come diventa possibile la discriminazione delle unità litologiche che caratterizzano i processi geomorfologici in studio.

Questi aspetti diventano di estremo interesse utilizzando i dati MODIS nei quali sono disponibili 16 bande nell'infrarosso termico; tra queste, per studiare i dati sull'emissività a terra, devono essere selezionate quelle che rappresentano finestre atmosferiche e in questo modo si ha la disponibilità di 6 bande termiche sulle quali iniziare le elaborazioni. Si rileva inoltre l'importanza nell'utilizzo dei dati notturni per ottenere un maggiore grado di discriminazione delle diverse unità spettrali che, non risentendo della diffusione della luce solare, permettono al sensore di rilevare un dato più definito. Questa caratteristica è ben evidenziata nel rapporto tra le bande MODIS 32 notturna e diurna (Fig. 3).

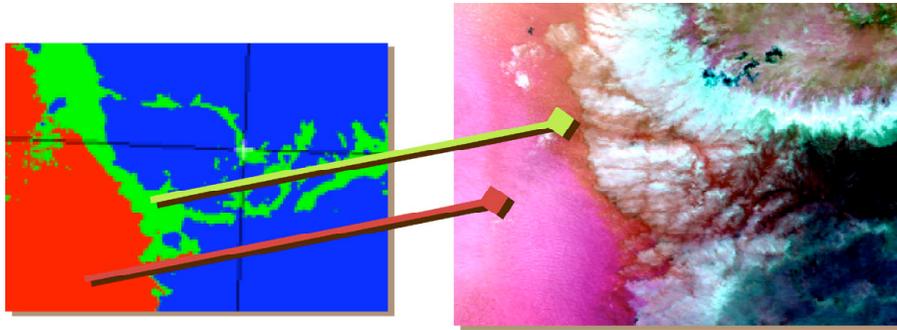


Figura 4 – Classificazione SAM e confronto con i dati originali .

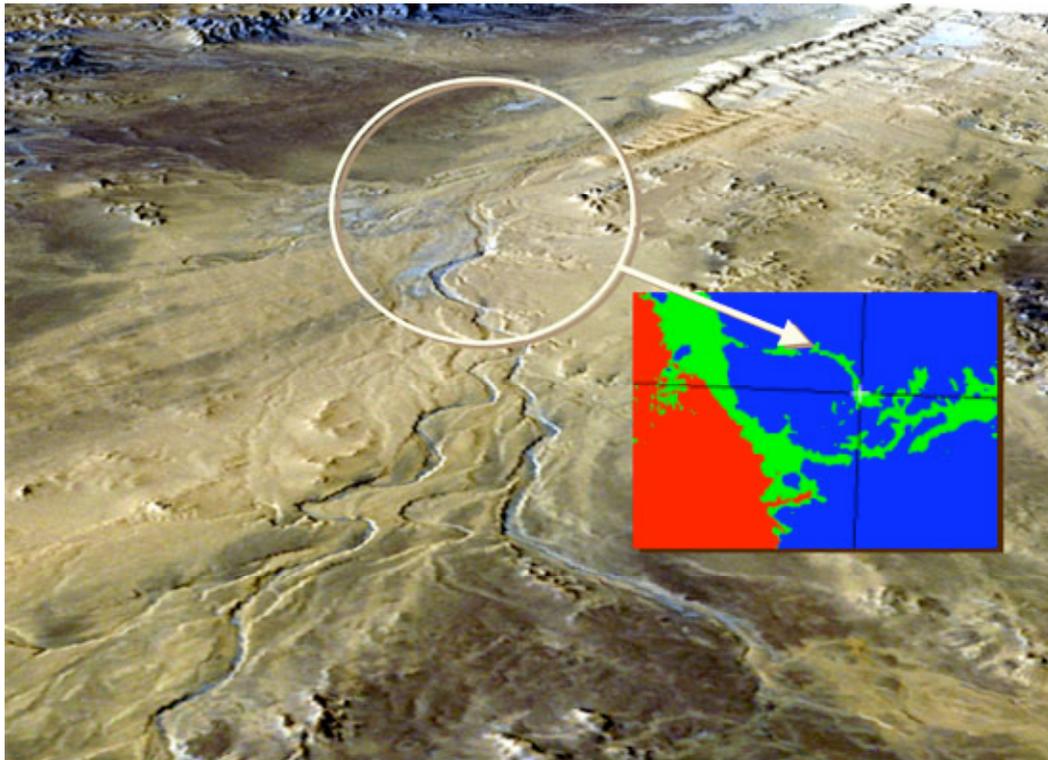


Figura 5 – Possibile punto di campionamento per datazioni e stratigrafie.

Le unità interpretate nei dati MODIS come network di drenaggio sono state verificate nell'immagine Landsat montata sul modello di elevazione SRTM, e questo dato è stato utilizzato per interpretare le forme (Fig. 2). Sulla base di questa interpretazione si è voluta testare la possibilità di mappare il limite tra i campi dunari cementati e il grande campo di dune mobili. E' stata applicata una classificazione di tipo SAM ed i risultati sono molto incoraggianti (Fig. 4). La distinzione tra le dune fisse, antiche cementate ed erose ed i campi di dune mobili è ben delineato.

Nell'area in studio questo limite racchiude un'unità molto interessante dal punto di vista geomorfologico e paleogeografico, poiché rappresenta il settore maggiormente soggetto alle fluttuazioni climatiche quaternarie e nel quale sono maggiormente visibili le interazioni tra le dinamiche fluviali ed eoliche.

Conclusioni

L'analisi delle 36 bande disponibili dal sensore MODIS esalta chiaramente le variazioni di composizione delle coltri sedimentarie delle grandi piane. I deserti assumono una nuova dimensione leggibile ed analizzabile in un unico contesto e risultano chiaramente composti da unità litologiche composte da differenti famiglie di coperture. Assumono un aspetto preciso anche le grandi conoidi coalescenti non altrimenti distinguibili e separabili senza una analisi nell'infrarosso, evitando così le difficoltà del rilevamento diretto e una indistinta classificazione omogenea. Anche le coperture di sedimenti fini risaltano dal substrato ed indicano con variazioni di colore le direzioni dei venti dominanti ed i percorsi nelle selle ed attorno ai picchi isolati, segnati dalle variazioni tonali evidenziate dalle variazioni di risposta. L'integrazione in ambito GIS permette di delineare queste unità che si appoggiano alle tradizionali unità morfologiche. La lettura soggettiva, magari aiutata dall'applicazione di algoritmi per la zonazione, porta ad una classificazione del territorio secondo unità di resistenza e di esposizione all'erosione altrimenti non cartografabile.

Le grandi unità territoriali vengono chiaramente riconosciute ed assumono una delimitazione più precisa. Anche questa analisi dipende chiaramente dalla scala e dalla risoluzione geometrica delle immagini telerilevate, permettendo nel caso delle immagini MODIS di delimitare con precisione anche le componenti delle grandi strutture non visibili come interi nelle immagini degli altri satelliti, come il Landsat. In questi casi le legende devono quindi esulare dalla trasposizione ad altra scala delle classiche legende della Geomorfologia e le diverse unità ambientali si raggruppano per "rugosità", seguendo se mai le regole e le descrizioni proprie della Geomorfologia quantitativa.

Bibliografia

- Kar A., Felix C., Rajaguru S. N. & Singhvi A.K. (1998) - *Late Holocene growth and mobility of a transverse dune in the Thar Desert*. Journal of Arid Environments(1998)38: 175–185
- Marini A., Talbi M., Melis M.T., Pitzalis A, (1999) - *Comparison and management of the desertification phenomenon on Tunisia and Sardinia*. Proceedings of the International Workshop "Water Management in Arid Zones, Medenine – Tunisia 18-22 ottobre 1999. Ed. United Nation University, pp. 164-172. Tokyo.
- Marini A., Melis M.T., Pitzalis A., Gasmi N., Talbi M., (in stampa) - *The geomorphological Units Map of Medenine Region _ Southern Tunisia*. Presentata al 32nd IGC - Florence, 2004.
- Schmugge T., Frencha A., Ritchie J. C, Rangoa A., Pelgrumb H., (2002) - *Temperature and emissivity separation from multispectral thermal infrared observations*. Remote Sensing of Environment 79 (2002) 189– 198
- Zargouni F. (1985) – *Tectonique del l'Atlas méridional de Tunisie. Evolution géométrique et cinématique des structures en zone de cisaillement*. Thèse des Sciences, Strasburg, 292 pp.