

Metodologia per la caratterizzazione spettrale delle superfici saline e delle aree interessate da aspersioni sabbiose tramite proximal sensing e remote sensing in Tunisia

Gabriela-Mihaela Afrasinei (*, a), Maria Teresa Melis (*), Franco Frau (*), Valentino Demurtas (*), Cristina Buttau (*), Claudio Arras (**), Giorgio Ghiglieri (**)

(*) Lab. TeleGIS, Università di Cagliari, Via Trentino 51, 09027 Cagliari – tel. +39 070 6757788, telegis@unica.it

(**) Nucleo Ricerca Sulla Desertificazione – NRD, Università di Sassari

Viale Italia 39 - 07100 Sassari, Italy nrd@uniss.it

(a) gma343@uowmail.edu.au

Riassunto

Lo studio presenta i primi risultati di una ricerca svolta nell'area di Medenine, Tunisia meridionale, mirata alla caratterizzazione spettrale delle superfici saline e delle aree interessate da aspersioni sabbiose, di particolare interesse poichè limitano le attività agro-pastorali. Sono stati acquisiti i dati spettrali con uno spettrometro da campo e parallelamente sono stati prelevati campioni da sottoporre ad analisi diffrattometriche. I punti di campionamento sono stati scelti sulla base dell'analisi morfologica, dei dati spaziali ancillari e della mappatura di copertura/uso del suolo specificatamente realizzata per questo studio su immagini Landsat 8. Il settore analizzato (400 000 ettari) è stato validato con una campagna a terra di 400 punti di controllo. La campagna spettrale ha permesso l'acquisizione delle misure di riflettanza di 34 punti, di cui 14 punti per le superfici saline (con 9 campioni); 10 punti per le aree di aspersioni sabbiose (10 campioni); 3 punti per la vegetazione specifica (sia alofita, che psammofita) e 7 punti per superfici miste. Le firme spettrali acquisite sono state elaborate per essere importate nella piattaforma web SPECCHIO per il confronto con misure acquisite in ambienti simili. Le analisi diffrattometriche sono state concluse per i campioni salini e hanno permesso di definire la componente mineralogica specifica della risposta spettrale rilevata sul campo. Questo studio propone un modello di analisi spettrale basato sull'utilizzo integrato di dati acquisiti da *proximal* e *remote sensing* finalizzato al monitoraggio dei fenomeni di *land degradation*. Lo studio presentato fa parte delle attività del progetto WADIS-MAR, un progetto dimostrativo finanziato dalla Commissione Europea attraverso il *Sustainable Water Integrated Management (SWIM) Programme* (<http://www.wadis-mar.eu>).

Abstract

This paper presents the preliminary results of a research carried out in the Medenine area, Southern Tunisia, aimed at the spectral characterization of salt-affected and sand encroachment areas, as restrictive factors for agro-pastoral activities. Spectral data was acquired in situ using a handheld spectroradiometer and samples were taken for X-ray diffractometric analysis. The sampling sites were chosen on the basis of a morphological analysis, ancillary data and a land cover/land use map specifically generated for this study employing Landsat 8 imagery. The study area (400 000 hectares) has been validated with 400 ground truth points. The spectral campaign has enabled the acquisition of spectral reflectance measurements of 34 points, of which 14 points for saline surfaces (9 samples); 10 points for sand encroachment areas (10 samples); 3 points for typical vegetation (halophyte and psammophyte) and 7 points for mixed surfaces. The acquired

spectral signatures were processed to be integrated into the web platform SPECCHIO for comparison with measurements acquired in similar environments. Diffractometric analyses were completed for the saline samples and allowed the identification of the main mineralogical components. This study proposes a methodology based on the integrated spectral data acquired through proximal and remote sensing aimed at monitoring of land degradation phenomena. The study is part of the WADIS-MAR, a demonstration project funded by the European Commission through the Sustainable Water Integrated Management (SWIM) Programme (<http://www.wadismar.eu>).

Introduzione

Una caratteristica importante degli ambienti della Tunisia meridionale (interessata da un clima desertico arido e semiarido), è la salinizzazione dei suoli e l'accumulo di sabbia dovuto alle asperioni sabbiose. Il monitoraggio di tali fenomeni e la corretta gestione del territorio richiedono la comprensione delle dinamiche e dei processi connessi. (Melis et al. , 2013). Il lavoro si inserisce nell'ambito del progetto Water harvesting and Agricultural techniques in Dry lands: an Integrated and Sustainable model in MAGhreb Regions (WADIS-MAR), (www.wadismar.eu), un progetto dimostrativo finanziato dalla Commissione Europea attraverso il Sustainable Water Integrated Management Programme (SWIM, www.swim-sm.eu), implementato in due aree localizzate in Algeria e Tunisia. Wadis-Mar prevede la realizzazione di un sistema integrato e sostenibile di conservazione e utilizzo della risorsa idrica attraverso la realizzazione di specifiche opere ed interventi relativi alla ricarica artificiale degli acquiferi (jessours, tabias e cisterns). Il presente lavoro riguarda l'area di studio del bacino idrogeologico esteso di Oum Zessar, nel Governatorato di Medenine, in Tunisia. Un metodo per monitorare l'evoluzione dei processi di salinizzazione e aspersioni sabbiose è il telerilevamento, che, integrato con osservazioni dirette, consente di avere informazioni utili alla mappatura delle superfici. A tale scopo è stata eseguita una prima cartografia di land cover, realizzata secondo la metodologia del progetto CORINE Land Cover e altri progetti simili applicati in aree a clima arido, seguita da una campagna di rilevamento sul campo per la validazione della mappatura della copertura e uso del suolo. In aggiunta sono state eseguite anche misure spettrali mediante spettrometro FieldSpecPro (350 to 2.500 nm e ampiezza di banda di 1 nm) con afferenti informazioni sulle caratteristiche fisico-geografiche osservabili nei punti di campionamento. In seguito, è stata effettuata una caratterizzazione mineralogica dei campioni di croste saline utilizzando il metodo della diffrattometria a raggi X, integrando tali dati con le misure spettrali di campo e i dati satellitari multispettrali a risoluzione media (Landsat 8). Lo scopo dello studio è quello di valutare una metodologia per l'identificazione di differenti tipi di superfici saline e aspersioni sabbiose, integrando l'analisi mineralogica con quella spettrale. Nel presente lavoro vengono riportati i primi risultati relativi ai campioni di croste saline, mentre per quanto riguarda le aree interessate da aspersioni sabbiose, si presentano le prime osservazioni sull'analisi spettrale da satellite. L'obiettivo è quello di ottenere caratteristiche spettrali distinte sia per le superfici saline con mineralogia differente che per le aree interessate da aspersioni sabbiose di genesi differente. L'ottenimento di tale correlazione è uno strumento fondamentale per poter eseguire una mappatura di tali superfici e per il monitoraggio della loro evoluzione spazio-temporale.

Area di studio

L'area di studio è situata nella Tunisia sud-orientale all'interno del Governatorato di Medenine e si estende per circa 400 000 ettari, sviluppandosi dalla parte terminale del Grand Erg Orientale sino alla costa orientale tunisina, comprendendo il plateau del Dahar e la pianura di Jeffara (figura 1). L'area in esame si inserisce nella fascia climatica di transizione tra il sistema desertico, arido e semi-arido con influenze mediterranee nella parte costiera, con massime annuali medie che si attestano al di sopra dei 36°C. Il cumulo precipitativo annuo è generalmente al di sotto dei 200 mm. La geologia dell'area è caratterizzata dalla presenza di sequenze sedimentarie evolutesi dal

Paleozoico sino all'attuale, delle quali rivestono particolare importanza i depositi cretaci carbonatici e gessosi del dominio del Dahar.

Nella parte mediana della pianura di Jeffara sono presenti superfici interessate da croste gessose, mentre la fascia costiera è caratterizzata dalla presenza di *sabkha*. In questi ambienti il fattore eolico ha un contributo importante sia nel trasporto delle componenti gessose che sabbiose.



Figura 1. Area di studio. In arancione sono evidenziati i partner WADIS-MAR.

Studio della copertura del suolo

Lo studio dei territori aridi e semi-aridi, permette l'applicazione di metodologie standard di classificazione delle coperture vegetali e delle superfici artificiali mediante dati telerilevati (Jaffrain and EEA 2011; Melis and Pilloni 2011). L'immagine a mosaico utilizzata per l'interpretazione del land cover è composta da due scene Landsat 8 acquisite il 17 e il 24 Maggio del 2011. Nella figura 2 viene riportata l'interpretazione dell'area di studio; la legenda fa riferimento a uno studio precedentemente svolto in Algeria (Melis et al. 2013), con la modifica di alcune classi che sono specifiche del contesto locale della Tunisia. Di seguito viene riportata la nomenclatura delle classi rappresentate con codici nella legenda della mappa della copertura e uso del suolo:

- 1.1.1.1. Continuous urban fabric
- 1.1.2.1. Discontinuous built-up areas with bare land
- 1.1.2.2. Discontinuous built-up areas with arable irrigated perimeters
- 1.2.4.1. Airports with grass surfaces of runways
- 1.3.1.1. Quarries and open-cast mines
- 2.1.2.1. Small-farming irrigated perimeters
- 2.2.3.1. Olive groves
- 2.3.1.1. Open grassland (pastures and meadows) prevailingly without trees and shrubs
- 2.3.1.2. Closed grassland with shrubs
- 2.3.1.3. Mountain rangeland
- 2.3.1.4. Shrubland
- 2.3.1.5. Oued vegetation
- 2.4.1.1. Annual crops associated with Olive groves
- 2.4.1.2. Tabias plantations
- 2.4.1.3. Jessour plantations
- 2.4.2.1. Complex cultivation patterns
- 2.4.3.1. Agricultural areas with significant share of natural vegetation, with Tabias cultivations.
- 2.4.3.2. Agricultural areas with significant share of natural vegetation, with Jessour cultivations
- 2.4.3.3. Agricultural areas with visible cultivation pattern, with significant share of natural vegetation
- 2.4.3.4. Agricultural areas with significant share of annual and permanent crops, and with presence of scattered vegetation
- 2.4.4.1. Agro-forestry areas
- 3.2.1.3. Riparian vegetation
- 3.2.3.2. Halophyte vegetation
- 3.2.3.3. Psamophyte vegetation
- 3.2.3.4. Steppes of *Rhanterium suaveolens* and *Artemisia campestris*, *Retama raetam*

3.3.1.3. River banks/beds – sandy, paleo valleys of Oueds

3.3.2.1. Reg

3.3.2.2. Bare rock/soil

3.3.3.2. Sparse vegetation on rocks/reg

3.3.3.3. Sparse vegetation on saline/alkali soils

3.3.3.4. Sparse psamophile vegetation

3.3.3.5. Sparse Oued vegetation

3.3.3.6. Other sparse vegetation areas

4.1.1.3. Saline (alkali) inland marshes without reed beds (<20%) and with other water plants

4.2.1.1. Sebkhha

4.2.1.3. Temporary humid areas – floodable areas with no or little vegetation

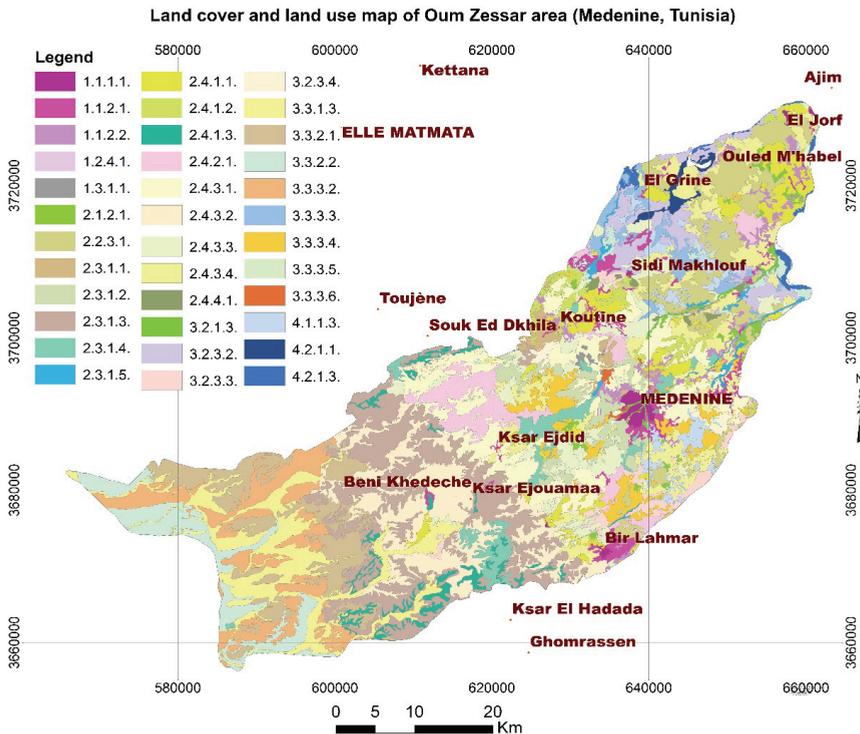


Figura 2. Mappa della copertura e uso del suolo dell'area di studio del Oum Zessar, Tunisia.

Campagna di rilevamento

La campagna di rilevamento (land cover e misure spettrali) è stata effettuata tra il 5 Aprile e il 19 Giugno 2014. I punti di osservazione sono stati scelti in base alla mappatura e uso del suolo precedentemente svolta, a uno studio geomorfologico (Marini et al. 2008) e all'analisi spettrale delle immagini Landsat. Il settore analizzato copre una superficie di 400 000 ettari, validata con una campagna a terra di 400 punti di controllo per la validazione della mappatura della copertura e uso del suolo. La campagna spettrale ha permesso l'acquisizione delle misure di riflettanza di 34 punti, di cui 14 punti per le superfici saline (con 9 campioni); 10 punti per le aree di aspersioni sabbiose (10 campioni); 3 punti per la vegetazione specifica (alofita e psammofita) e 7 punti per superfici miste. I campioni di sali sono stati conservati in olio di paraffina per evitare fenomeni di disidratazione e/o dissoluzione.

Analisi XRD

Per poter conoscere la mineralogia delle croste saline si è provveduto ad analizzare, con il metodo della diffrazione a raggi X, i 9 campioni di sali prelevati della zona costiera della piana di Jeffara. I minerali principali dei campioni sono il gesso e l'halite, in accordo con i processi pedogenetici, geochimici e sedimentologici che dominano i contesti geomorfologici da cui sono stati prelevati. In totale sono state identificate nove fasi mineralogiche differenti. I minerali principali sono risultati essere il gesso, l'halite, la calcite e il quarzo; di questi è stato anche possibile stimarne la percentuale in peso. Il diagramma a barre (Fig. 3) mostra la distribuzione delle fasi minerali principali nei campioni. I campioni T1, T3, T9, T10b, T11 sono caratterizzati da un'alta quantità di gesso. I campioni T6, T7, T8 presentano un'alta percentuale di halite, mentre il campione T10 è costituito essenzialmente da quarzo.

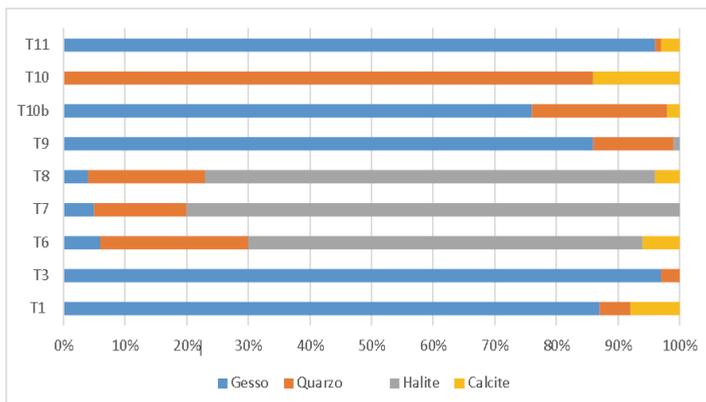


Figura 3. Rappresentazione grafica del contenuto delle fasi mineralogiche maggiori espresso in percentuale.

Analisi spettrale

L'analisi spettrale è stata svolta impiegando sia i dati satellitari (remote sensing) che i dati acquisiti tramite misure spettrali dirette a terra (proximal sensing). Le tecniche di telerilevamento impiegate per l'analisi spettrale dall'immagine Landsat sono state quelle di miglioramento spettrale e indici specifici (Immordino and Melis 2008; Melis et al. 2013; Elnaggar and Noller 2010), i scatter plot 2D, analisi dei profili orizzontali e verticali per poter osservare le risposte spettrali dei punti di campionamento in confronto alle quelle delle altre superfici che potrebbero presentare problemi di confusione spettrale con le superfici saline: le superfici carbonatiche, di suolo nudo o urbane. La stessa analisi è stata applicata anche per le aree interessate da aspersioni sabbiose. In particolare, sono stati analizzati dei profili orizzontali che attraversano tutti i punti di campionamento di sali. Tali profili hanno rilevato una buona differenziazione sia tra i due tipi di sali (halite e gesso) presenti nell'area di studio, che tra tali punti e le altre superfici circostanti. Utilizzando l'immagine satellitare a mosaico delle 2 scene Landsat 8 acquisite il 12 e il 21 Giugno 2014, sono state confrontate le risposte spettrali in ciascuno di questi punti trovando una risposta uguale in ogni punto dominato dal gesso, e un'altra risposta in quelli dominati da halite (figura 4). In seguito sono state trovate delle corrispondenze con la mineralogia dei nove punti di campionamento caratterizzata tramite XRD. La firma spettrale tra questi due tipi di superfici è molto differente, ma le aree con halite sono risultate discriminabili più difficilmente perché le aree su cui si deposita risultano spesso umide, e il tenore di umidità influenza la risposta spettrale. Un aspetto che deve essere menzionato riguarda l'influenza della presenza della vegetazione sulla riflettanza dell'infrarosso vicino che potrebbe mascherare la risposta delle superfici saline ad halite.

Il confronto tra le firme spettrali acquisite in campo sono state processate con l'impiego di SAMS (Spectral analysis and management system, University of California, Davis) e recampionate con

ENVI 5.2 (Exelis) per il confronto con le librerie spettrali minerali USGS. I risultati hanno mostrato tre tipologie principali di firme associate al gesso, halite e una mista, probabilmente influenzata dalla componente quarzosa.



Figura 4. Profilo orizzontale spettrale dell'immagine Landsat 8 relativo al punto del campione T8. In giallo è evidenziata la risposta spettrale del halite, mentre in blu quella del gesso.

Per quanto riguarda l'analisi spettrale delle aree interessate da aspersioni sabbiose, è stato applicata una classificazione di tipo *decision tree*, composta da vari indici e *band ratios* ottenuti in seguito all'analisi sudetta. I risultati mostrano una netta distinzione tra le aree a ovest del dominio del Dahar e quelle dell' interno della pianura di Jeffara, indicando una differente composizione mineralogica, come mostrato nella figura 4. Le firme spettrali acquisite sono state elaborate per essere integrate nella piattaforma web SPECCHIO, un database spettrale progettato per contenere spettri di riferimento e dati della campagna spettrali ottenuti da spettrometri. In tale modo le firme saranno messe a confronto con misure acquisite in ambienti simili e incluse in un ricco set di metadati nel modello di dati SPECCHIO che garantisce la longevità dei dati spettrali e ne permette la condivisione tra gruppi di ricerca.

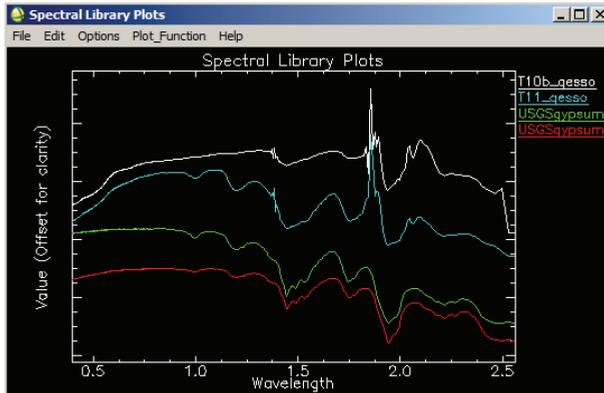


Figura 5. Confronto tra le firme spettrali T10b e T11 e la libreria USGS del gesso.

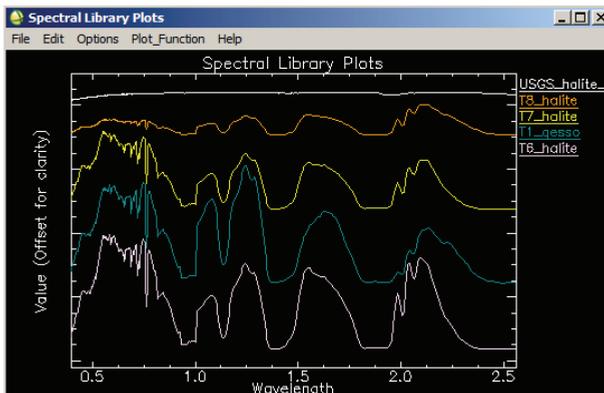


Figura 6. Confronto tra le firme spettrali T1, T6, T7 e T8 e la libreria USGS dell'halite.

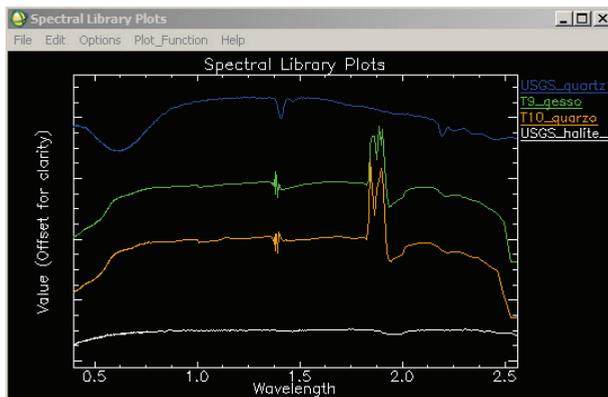


Figura 7. Confronto tra le firme spettrali T9 e T10 e la libreria USGS del halite e quarzo.

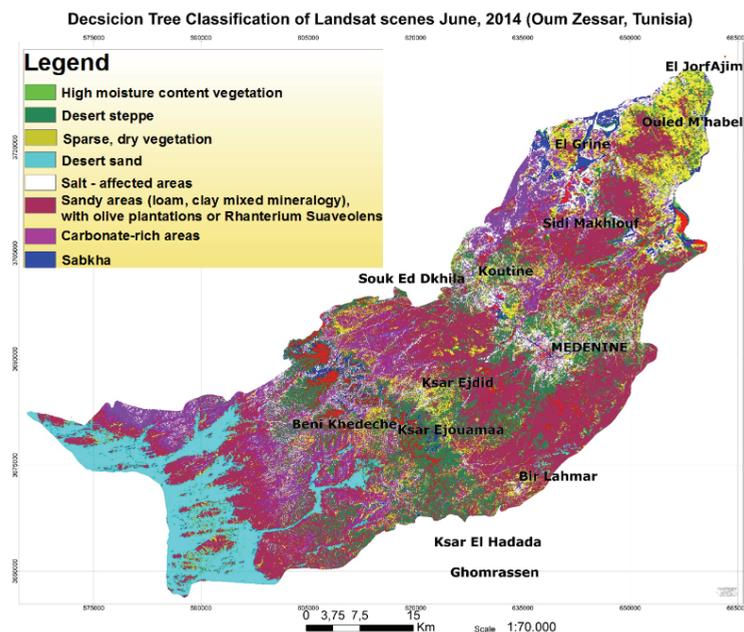


Figura 8. Decision tree applicato all'immagine Landsat 8 (Giugno 2014). Differenziazione spettrale tra le aree interessate da aspersioni sabbiose localizzate a W (desert sand) e quelle della pianura (sandy areas).

Conclusioni

Grazie alla metodologia utilizzata e all'impiego dei dati Landsat 8 è possibile affermare che esiste una correlazione tra la mineralogia delle superfici e le relative firme spettrali estratte da dati sia telerilevati, sia da proximal sensing; i campioni aventi la stessa composizione mineralogica sono caratterizzati da una risposta spettrale simile; le superfici dominate dall'halite mostrano una risposta spettrale differente rispetto a quelle con gesso. Riassumendo, si può dire che tramite le tecniche di Telerilevamento, integrato con informazioni di verità a terra e la diffrattometria a raggi X, si possono discriminare le superfici saline dagli altri tipi di coperture e distinguere le superfici gessose da quelle contenenti halite. I primi risultati presentati in questo lavoro confermano la validità e la necessità di utilizzare i dati multispettrali per la costruzione di un quadro conoscitivo del territorio.

Il fenomeno della salinizzazione del suolo presenta caratteri spettrali tali da poter essere monitorato con una metodologia estremamente controllabile come quella proposta.

Ringraziamenti

Lo studio è stato svolto nell'ambito del Progetto dimostrativo finanziato dall'Unione Europea (2011-2014) tramite il programma di assistenza tecnica regionale SWIM (Sustainable Water Integrated Management) rivolto ai paesi ENPI del Mediterraneo (www.swim-sm.eu), Water harvesting and Agricultural techniques in Dry lands: an Integrated and Sustainable model in Maghreb Regions - Wadis-Mar (www.wadismar.eu). Si ringrazia Institut des Regions Arides per la collaborazione e il supporto durante la campagna di rilevamento.

Riferimenti bibliografici

- Elnagar AA, Noller JS (2010) Application of Remote-sensing Data and Decision-Tree Analysis to Mapping Salt-Affected Soils over Large Areas. *Remote Sensing* 2 (1):151-165.
doi:10.3390/rs2010151
- Immordino F, Melis MT (2008) Applicazione di indici spettrali a dati Spot per lo studio delle marshland dell'Iraq meridionale. *Rendiconti online Soc Geol It* 2
- Jaffrain G, EEA (2011) CORINE land cover outside of Europe. Nomenclature adaptation to other bio-geographical regions. Universidad de Malaga, ETCSIA, Spain
- Marini A, Melis MT, Pitzalis A, Talbi M, Gasmì N (2008) La carta della unità geomorfologiche della regione di Medenine (Tunisia meridionale). *Mem Descr Carta Geol d'It LXXVIII* pp. 153-168
- Melis MT, Afrasinei G, Belkheir O, Carletti A, Iocola I, Pittalis D, Viridis S, Ghiglieri G (2013) Caratterizzazione spettrale delle aree interessate da salinizzazione nel bacino del Oued Biskra in Algeria a supporto delle politiche di gestione dell'acqua nell'ambito del progetto WADIS-MAR. Paper presented at the Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA, 5 – 7 novembre 2013, Riva del Garda, Riva del Garda,
- Melis MT, Pilloni M (2011) Analisi e validazione di una metodologia per la valutazione del land cover da dati MODIS nell'area mediterranea. *European Journal of Remote Sensing*, (Italian Journal of Remote Sensing) 43 (1):19-13