

Applicazioni di immagini MODIS per il monitoraggio delle Marshland Irachene

*Francesca Despini, *Sergio Teggi, **Lorenza Bovio, **Francesco Immordino

* Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile, Università di Modena e Reggio Emilia

**Med Ingegneria – ARS Applied Remote Sensing, Padova

Riassunto

Le Marshland Irachene costituivano il più grande ecosistema palustre del Medio Oriente. A partire dagli anni 70 sono state danneggiate significativamente a causa della costruzione di opere di deviazione e drenaggio da parte del governo. Dopo oltre un decennio di declino, in meno di un anno (marzo 2003-marzo 2004) più del 20% dell'area originale è stato ripristinato.

Lo scopo principale di questo lavoro è il monitoraggio del processo di recupero delle Marshland tramite l'utilizzo di dati satellitari multispettrali e multitemporali: l'obiettivo è quello di osservare l'evoluzione della copertura palustre in termini di estensione e di valutare il successo del ripristino della zona. Il monitoraggio si avvale di immagini MODIS acquisite ogni mese dal dicembre 2007 all'ottobre 2008 a due risoluzioni spaziali: 250m e 500m.

Le immagini sono state corrette dagli effetti atmosferici utilizzando una procedura IDL (Interactive Data Language) basata sui codici di trasferimento radiativo MODTRAN e 6S. Questi richiedono, come input, i profili verticali atmosferici di pressione, temperatura e umidità relativa -ottenuti dalla stazione meteorologica più vicina o da data set climatologici- e il contenuto di vapore acqueo e lo spessore ottico del aerosol sospeso -estratti dai prodotti atmosferici del sensore MODIS, o dalla rete AERONET (AERosol RObotic NETwork). Successivamente due diverse metodologie di classificazione, pixel e object-oriented, sono state testate, confrontate e discusse al fine di identificare il miglior approccio applicabile a studi multitemporali su scala regionale. Per quanto riguarda il metodo pixel-oriented è stata utilizzata una classificazione gerarchica con il software ENVI 4.4 mentre per l'object-oriented è stato utilizzato Definiens Developer 7.0.

Sono stati riscontrati diversi problemi dovuti alla bassa risoluzione spaziale delle immagini e alla forte compresenza tra vegetazione palustre e corpi idrici. È stata comunque possibile una visione globale della zona d'interesse e una valutazione sull'estensione delle varie tipologie di copertura. L'area di Marshlands ripristinata nel ottobre 2008 risulta essere circa il 30% dell'area originaria del 1973.

Abstract

Since the 1970s, the Iraq Marshlands have been damaged significantly, but recently (May 2003-March 2004), more than 20% of the original marshland area has been re-flooded.

The goal of the work is to observe the evolution of the marshes in terms of extension and to evaluate the success of wetland restoration on the base of multispectral and multitemporal MODIS images collected in 2007-2008.

The images have been corrected for atmospheric effects using an IDL procedure based on MODTRAN and 6S. Different classifications (Pixel- and Object-Oriented) have been tested, compared and discussed to evaluate the best approach to apply on regional-scale time-series studies.

1 Introduzione

Le Marshland irachene si trovano nel cuore delle vaste paludi delle pianure alluvionali create dai due fiumi Tigri ed Eufrate nella parte più bassa del bacino della Mesopotamia. Storicamente erano il più vasto sistema paludoso dell'ovest dell'Eurasia, rappresentando un raro ecosistema acquatico nel deserto, habitat di molte importanti specie di flora e fauna. L'estensione dell'area di Marshlands in origine, 1973-76, era di circa 8,926 km² (UNEP, 2006).

L'alterazione e distruzione del territorio delle Marshlands cominciò a partire dagli anni 80 quando il governo fece un progetto di deviazione e drenaggio di alcuni corpi idrici per creare una barriera d'acqua contro l'avanzata delle forze militari iraniane (Ahmed, 2003).

Nel 1991 con la Guerra del Golfo, un alto numero di cittadini del Sud si rifugiarono nel territorio delle Marsh per sfuggire alla brutalità e alla crudeltà del regime e organizzare ribellioni e sommosse popolari (Ahmed, 2003). Come punizione, il governo attuò un piano di drenaggio delle Marshland che prevedeva la costruzione di una serie di dighe e la deviazione del corso dei fiumi Tigri ed Eufrate. Questo piano trasformò la pianura alluvionale in un deserto, forzando i residenti a lasciare il proprio territorio (Human Rights Watch, 2003).

A seguito dell'invasione dell'Iraq da parte degli Stati Uniti del 2003, le comunità locali cominciarono ad aprire brecce nelle dighe ed ebbe inizio il ripristino dell'area. Questo processo venne monitorato fino al 2005 dall'UNEP (United Nations Environment Programme) in concertazione con il Ministero iracheno delle Risorse Idriche e dell'Ambiente, tramite il progetto IMOS, Iraqi Marshlands Observation System. Il monitoraggio delle Marshland continuò poi anche negli anni successivi nell'ambito di un progetto congiunto tra lo studio ingegneristico Medingegneria, il Ministero dell'Ambiente italiano e iracheno e in associazione con strutture non governative. È proprio all'interno di questo contesto che si inserisce lo studio qui presentato.

2 Metodologia

In questo lavoro immagini multispettrali e multitemporali MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) sono state utilizzate per uno studio sull'estensione delle classi di copertura del terreno, con particolare attenzione alla vegetazione palustre e ai corpi idrici, al fine di comprendere meglio il carattere e la direzione della ripresa e supportarla con adeguati piani d'azione.

2.1 Data set

Il periodo monitorato va dal settembre 2007 all'ottobre 2008, ogni mese è stata acquisita un'immagine a due diverse risoluzioni spaziali : 250 e 500 m. I dati MODIS sono stati scaricati gratuitamente dal sito della NASA <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>. Le immagini sono state georeferenziate in proiezione cartografica UTM, datum WGS84, zona 38, e ritagliate in modo di inquadrare l'area di interesse. Successivamente questi dati sono stati utilizzati come input per le procedure di correzione atmosferica.

2.2 Correzioni radiometriche

Al fine di utilizzare le immagini telerilevate per lo studio delle proprietà della superficie sono stati rimossi sia gli effetti atmosferici che quelli topografici. Il metodo utilizzato per ottenere la riflettanza della superficie dalla radianza misurata al sensore si basa sulle seguenti assunzioni: cielo senza nuvole, atmosfera stratificata a piani paralleli e superficie lambertiana (Bogliolo *et al.*, 2004). Data la bassa risoluzione spaziale del sensore MODIS e la topografia quasi piatta dell'area presa in esame, è stato possibile formulare le seguenti ipotesi:

- terreno completamente pianeggiante;
- tutti i termini vengono valutati all'altezza media costante dell'area $z = 2.5$ m;
- contributo ambientale trascurabile.

Sotto queste ipotesi la riflettanza reale del pixel nell'*i*-esimo canale del sensore è legata alla riflettanza misurata dal sensore dall'equazione:

$$\rho_i = \frac{1}{[(\rho_i^* - t_{d,i})t_i]} \left\{ \frac{\rho_i^*}{Tg_i} - \rho_{a,i} \right\} \quad [1]$$

I simboli utilizzati sono riportati e definiti in Tabella 1.

Simbolo	Definizione	Unità di misura
i	Canale del sensore	
ρ_i^*	Riflettanza apparente (riflettanza al sensore)	
ρ_i	Riflettanza reale del pixel	
θ_s	Angolo solare zenitale	rad
θ_v	Angolo di vista zenitale	rad
Φ_{sv}	Angolo di azimuth relativo tra il sole e la direzione di vista	rad
$\rho_{a,i}$	Riflettanza atmosferica intrinseca	
Tg_i	Trasmittanza totale dei gas nel percorso sole-pixel-sensore	
t_i	Trasmittanza diretta dovuta allo scattering	
$t_{d,i}$	Trasmittanza diffusa dovuta allo scattering	
θ_n	Angolo zenitale (pendenza) del pixel	rad
Φ_n	Angolo azimutale (orientazione) del target	rad

Tabella 1 - Definizione delle grandezze utilizzate

β è un fattore geometrico che esprime la variazione di radiazione incidente su un piano inclinato rispetto ad un piano orizzontale, ed è fornito da (Bogliolo *et al.*, 2004):

$$\beta = \cos(\theta_n) \tan(\theta_s) \sin(\theta_v) \cos(\Phi_{sv}) \quad [2]$$

Le correzioni atmosferiche sono state eseguite tramite una procedura IDL (Interactive Data Language), basata su due modelli di trasferimento radiativo: 6S (Tanrè *et al.*, 1990, Vermote *et al.*, 1997) e MODTRAN4 (Berk *et al.*, 1989). Tutti i termini di correzione legati allo scattering atmosferico (trasmittanza diffusa e diretta, e riflettanza intrinseca) sono stati calcolati con 6S. La trasmittanza atmosferica dovuta all'assorbimento dei gas (Tg) è stata invece valutata tramite il MODTRAN che fornisce valori più accurati (Bogliolo *et al.*, 2004).

Questi due codici di trasferimento radiativo richiedono in input i profili verticali atmosferici di pressione, temperatura e umidità relativa, il contenuto di vapore acqueo e lo spessore ottico del aerosol sospeso. I profili verticali sono stati ottenuti dalla stazione meteorologica più vicina o da serie di dati climatologici. Gli altri due parametri sono stati ricavati dai prodotti atmosferici MODIS o dalla rete AERONET (AERosol RObotic NETwork).

2.3 Classificazione

Classificazioni differenti, pixel e object-oriented, sono state testate e confrontate per valutare il migliore approccio da applicare a questo tipo di studio.

2.3.1 Classificazione pixel-oriented

Nell'approccio pixel-oriented ogni pixel è assegnato ad una classe di copertura sulla base delle informazioni spettrali fornite dall'immagine. Per questo tipo di classificazione è stato utilizzato lo strumento "Decision Tree" del software ENVI (<http://www.itvvis.com/ProductServices/ENVI.aspx>) che permette di ottenere una classificazione gerarchica supervisionata costituita da una serie di decisioni binarie per determinare la corretta categoria per ogni pixel.

Gli indici scelti per la classificazione sono stati quelli già utilizzati dall'UNEP per monitorare l'area dal 2003 al 2005 e riportati in Figura 1 accanto ad un esempio di immagine classificata.

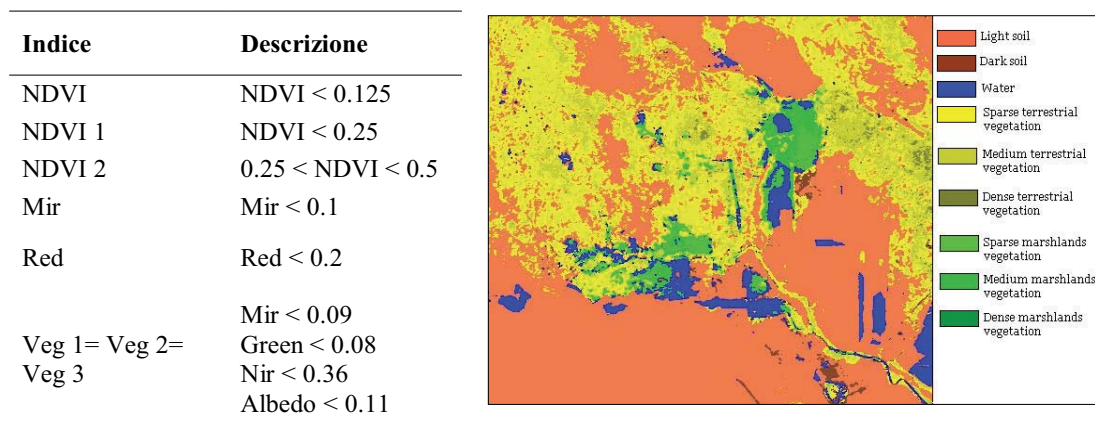


Figura 1 - Indici utilizzati per la classificazione e immagine classificata (Febbraio 2008)

2.3.2 Classificazione object-oriented

Il software utilizzato per questo tipo di classificazione è Definiens Developer (<http://www.definiens.com/>). L'approccio object-oriented è basato sul concetto che le informazioni necessarie per interpretare un'immagine non sono contenute nel singolo pixel ma in oggetti significativi dell'immagine e nelle loro reciproche relazioni (Benz, 2001). Quindi, basilare per questa procedura è la segmentazione multirisoluzione, una tecnica per l'estrazione e l'individuazione di oggetti nelle immagini. Diversi parametri sono stati testati per trovare la migliore segmentazione possibile ma purtroppo la bassa risoluzione spaziale delle immagini MODIS non permette di ottenere una buona suddivisione in oggetti dell'immagine. Quindi utilizzando una segmentazione a livello del pixel, l'immagine è stata classificata con un algoritmo Nearest Neighbour (Figura 2).

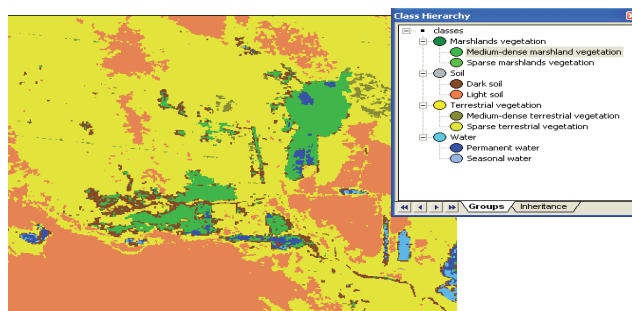


Figura 2 - Classificazione object-oriented dell'immagine del Febbraio 2008

2.3.3 Considerazioni

Il sensore MODIS offre le possibilità di avere una visione globale dell'area monitorata ma la classificazione di questo tipo di immagini presenta alcuni problemi.

Il primo è quello del cosiddetto "pixel misto". In uno stesso pixel possono, infatti, essere presenti diverse classi di copertura (acqua, vegetazione e suolo) così gli andamenti spettrali della riflettanza misurati dal sensore non risultano quelli tipici specifici per un tipo di copertura ma saranno una media tra gli andamenti delle riflettanze delle superfici presenti (Blaschke, Strobl, 2001).

Un altro problema è connesso alla vegetazione palustre. Questo tipo di vegetazione, caratterizzante l'area delle Marshlands, cresce, infatti, in mezzo all'acqua o in prossimità dei corpi idrici, per cui a seconda del periodo dell'anno e delle precipitazioni, può risultare visibile oppure sommersa. La vegetazione sommersa non risulta più visibile dal satellite ma sarebbe rilevabile solo con misure sul campo (Hurd *et al.*, 2006). Questo problema è solo parzialmente collegato alla dimensione del pixel e dipende dal tipo di territorio e di copertura.

3 Risultati e considerazioni

L'approccio object-oriented offre diversi vantaggi nella classificazione delle immagini ad alta risoluzione spaziale, ma applicando questa metodologia alle immagini MODIS questi vantaggi si perdono poiché la miglior segmentazione possibile risulta essere quella al livello del pixel. Il software Definiens può comunque essere utilizzato per una classificazione Nearest Neighbour o per la ricerca di parametri di soglia per la definizione delle classi.

Per estrarre statistiche sulle estensioni (km²) delle diverse classi di copertura sono state utilizzate le immagini classificate con approccio pixel-oriented. Gli indici per la classificazione sono stati quelli forniti dall'UNEP in modo da avere uno studio continuo nel tempo e definire una procedura di classificazione oggettiva e ripetibile.

L'evoluzione delle estensioni delle classi di copertura del terreno (Figura 3) è fortemente influenzata dal clima e dai problemi, già discussi precedentemente, del pixel misto e della forte compresenza acqua-vegetazione. Quindi l'andamento non è lineare, ma ondulato, con picchi di vegetazione palustre in inverno e primavera e un brusco calo nei secchi mesi estivi.

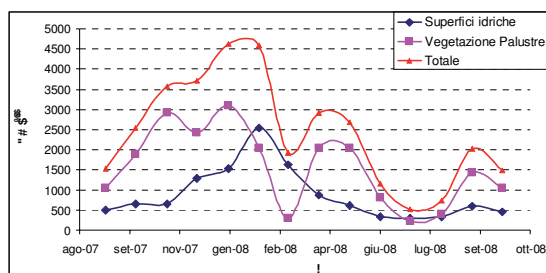


Figura 3 - Andamento della vegetazione palustre e delle superfici idriche

Provando a ricollegare i dati ottenuti con quelli del progetto IMOS dell'UNEP (monitoraggio dell'area dal 2003 al 2005), la percentuale di area ripristinata in confronto all'estensione originale del 1973 (8,926 km²) è mostrata in Tabella 2.

Anno	Acqua (km ²)	Vegetazione palustre (km ²)	Totale (km ²)	Percentuale rispetto all'area originaria
Elaborazioni UNEP				
2003	611.6518	1054.844	1666.495	18%
2004	1492.284	1803.257	3295.541	36%
2005	1237.592	2550.213	3787.804	42%
Elaborazioni di questo lavoro				
2008	946.7292	1632.854	2579.583	30%

Tabella 2 - Dati estratti dal rapporto IMOS (UNEP, 2006) e dall'analisi multitemporale

I disaccordi con il progetto UNEP sono imputabili ad una diversa metodologia di processamento delle immagini, all'uso, in alcuni casi, di parametri soggettivi, alla mancanza di dati di verità a terra

e di un gestione regolarizzata della canalizzazione. Il progetto di monitoraggio delle Marshlands Irachene non è da ritenersi concluso ma continuerà nel tempo. Verranno elaborati i dati mancanti degli anni 2006 e 2007 in modi da avere una serie di dati continua e verrà terminata la definizione di un metodo ripetibile e oggettivo per la valutazione dello stato di avanzamento del processo di recupero dei territori delle Marshlands.

Il governo locale potrà in questo modo elaborare i piani di recupero e ripristino sulla base di informazioni scientifiche.

4 Collaborazioni

Questo lavoro è stato condotto in collaborazione con l'Università di Modena e Reggio Emilia, lo studio ingegneristico Medingegneria di Padova e ENEA di Bologna.

5 Bibliografia

- Ahmed, H. K., 2003, "The Marshes of Southern Iraq and the Marsh Arabs: Ecocide and Genocide", CIGA Seminar Report, Washington University, Washington, D.C., Nov 2003.
- Benz, U., 2001, "Definiens Imaging GmbH: object oriented classification and feature detection", IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter, vol. 120, pp. 16-20.
- Berk, A. and L. S. Bernstein, D. C. Robertson, 1989, "MODTRAN: a moderate resolution model for Lowtran 7", GL-TR-89-0122, AFG Lab., Hanscom Air Force Base, MA 01731-5000, USA.
- Bogliolo, M. P. And S. Teggi, M. F. Buongiorno, S. Pugnaghi, S. Corradini, 2004, "Inspecting MIVIS capability to retrieve chemical-mineralogical information: evaluation and analysis of VNIR-SWIR data acquired on a volcanic area", Int. J. Remote Sensing, vol. 25, no.18.
- Harken, J. and R. Sugumaran, 2005, "Classification of Iowa wetlands using an airborne hyperspectral image: a comparison of the spectral angle mapper classifier and an object-oriented approach", Can. J. Remote Sensing, vol. 31, no. 2, pp. 167-174.
- Harvey, K. R. and G. J. E. Hill, 2001, "Vegetation mapping of a tropical freshwater swamp in the Northern Territory, Australia: a comparison of aerial photography, Landsat TM and SPOT satellite imagery", Int. J. Remote Sensing, vol. 22, no. 15, pp. 2911-2925.
- Human Rights Watch, 2003, "The Iraqi Government Assault on the Marsh Arabs", briefing paper, Washington, D.C., Jan 2003.
- Hurd J. D., D. L. Civco, M. S. Gilmore, S. Prisloe, E. H. Wilson, 2006, "Tidal wetland classification from landsat imagery using an integrated pixel-based and object-based classification approach", ASPRS 2006 Annual Conference Reno, Nevada, May 1-5, 2006.
- Knight W., 2005, "Iraq's marshlands show renewed signs of life", New Scientist Environment, 21 February 2005, Washinton DC.
- Munro, D.C. and H. Tournon, 1997, "The estimation of marshland degradation in southern Iraq using multitemporal Landsat TM images", Int. J. Remote Sensing, vol. 18, no. 7, pp. 1597-1606.
- Tanré, D. and C. Deroo, P. Duhaut, M. Herman, J. J. Morcrette, J. Perbos, P. Y. Deschamps, 1990, "Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code". Int. J. Remote Sensing, vol. 11, pp. 659-668.
- Tuxen, K. A. and L. M. Shile, M. Kelly, S. W. Siegel, 2008, "Vegetation Colonization in a Restoring Tidal Marsh: A Remote Sensing Approach", Restoration Ecology, vol. 16, no. 2, pp. 313-323.
- UNEP, United Nations Environment Programme, 2006, "Iraqi Marshlands Observation System, Technical Report", Nairobi, Kenya, 2006.
- Vermote, E. and D. Tanré, J. L. Deuze, M. Herman, J. J. Morcrette, 1997, "Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S), 6S User Guide Version 2" URL: <ftp://kratos.gsfc.nasa.gov/pub/6S>.
- Xiong, X. and W. Barnes, 2006, "An Overview of MODIS Radiometric Calibration and Characterization", Advances in Atmospheric Sciences, vol. 23, no. 1, pp. 69-79.