

## **La salinizzazione in Iraq: analisi del fenomeno tramite immagini satellitari**

Francesco Immordino (\*), Sofia Costanzini (\*\*),  
Francesca Despini (\*\*), Sergio Teggi (\*\*)

(\*) ENEA, Agenzia Nazionale Italiana per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile,  
Via Martiri di Monte Sole 4, Bologna, Tel. 051 6098089, francesco.immordino@enea.it

(\*\*) Università di Modena e Reggio Emilia, Dipartimento di Ingegneria Enzo Ferrari, Via Vignolese 905, Modena

### **Riassunto**

La salinità dei suoli è una delle emergenze ambientali di maggior rilievo in quanto è causa di degrado del suolo e desertificazione in molte regioni del mondo. In Iraq il degrado del suolo per salinità è dovuto alla concatenazione di diversi fattori: a processi naturali si sono sovrapposti fenomeni economici quali errati usi del suolo e pratiche agricole, assieme a motivi politici e sociali legati a guerre e devastazioni. Il telerilevamento da satellite è uno strumento utile per l'identificazione di suoli soggetti a salinizzazione.

Lo scopo del presente lavoro è determinare una metodologia per l'individuazione e la mappatura di aree salinizzate in territorio iracheno.

Il dataset utilizzato si compone di una serie di immagini satellitari SPOT 5 dell'area in esame. Il sensore presenta quattro bande multispettrali di cui due nel visibile, una nel vicino e una nel medio infrarosso, ad una risoluzione spaziale di 10 m. Le immagini SPOT 5 sono state innanzitutto corrette dagli effetti atmosferici. La prima elaborazione effettuata è stata la discriminazione della copertura vegetata: le diverse specie vegetali costituiscono spesso un indicatore del grado di salinità del suolo. Per distinguere spettralmente le diverse classi sono stati utilizzati alcuni classici indici di vegetazione e un'Analisi a Componenti Principali. Per la mappatura della salinità si è valutata la risposta dei suoli sia in termini di brillantezza, sia nel NIR e MIR, attraverso l'utilizzo di un Soil Index (SI3) e del Normalized Differential Salinity Index (NDSI). Mediante fotointerpretazione sono state individuate regioni di interesse ottimali sulle quali è stata condotta una nuova classificazione. Attraverso metodi statistici ed elaborazioni matematiche è stata ottenuta la mappatura della salinità del suolo. La metodologia è stata verificata mediante analisi per fotointerpretazione dimostrando la corretta identificazione degli affioramenti salini presenti nell'area.

### **Abstract**

Salinization is one of the most important environmental emergencies because it causes land degradation and desertification in many regions of the world. In Iraq soil salinity is due to several factors: natural processes overlapped economic phenomena such as incorrect land use and agricultural practices together with political and social issues related to wars and devastation. Remote sensing is a useful tool for environmental monitoring, and can be used for the identification of saline soils.

The main goal of this work is the identification of saline areas both on bare soils and on vegetated soil using satellite data.

For this purpose, we developed a methodology for mapping saline soils on bare soil, supported by a classification of vegetation. In fact, the presence of blooming vegetation is often indicator of low levels of salinity. The area of interest is a large portion of Iraqi territory where it is already active a project aimed to optimize resources for irrigation.

## 1 Introduzione

La salinità del suolo porta all'accumulo nel suolo di una grande quantità di sali. Questo fenomeno può seriamente compromettere lo stato di salute della vegetazione: infatti la concentrazione di sali nel suolo influenza la crescita delle piante perché limita il loro approvvigionamento idrico, causa squilibri nutrizionali e induce tossicità. La salinità costituisce pertanto un grave pericolo ambientale: è considerata uno dei sette fattori determinanti la desertificazione (Kassas et al., 1988), erosione e degradazione del suolo in molte regioni del mondo.

Molti suoli salini sono originati ogni anno a causa di processi naturali. L'uomo, interferendo con tali processi, ha decisamente contribuito all'espansione di questo fenomeno, soprattutto attraverso la cattiva gestione dell'irrigazione (Ramani and Kannan, 1986). Nonostante la generale consapevolezza del problema in molte aree irrigue i processi di degradazione ambientale causati dall'accumulo di sali nel suolo continuano ad aumentare ad una velocità allarmante. Ciò è dovuto soprattutto allo sfruttamento del suolo, e in particolare all'espansione agricola in aree aride e depresse.

La salinizzazione dei terreni comporta un forte impatto economico, oltre che ambientale, in quanto provoca una diminuzione della produttività dei campi. In paesi come Egitto, Iran, Pakistan, Siria e Iraq dove settore trainante dell'economia è quell'agricolo la salinizzazione costituisce una vera e propria minaccia per l'economia nazionale. Occorre pertanto cercare di arginare l'avanzata di questo fenomeno anche attraverso attività di controllo e monitoraggio al fine di intraprendere un recupero ambientale delle zone degradate. A tal fine, svolge un ruolo significativo la tempestiva individuazione e la diagnosi dei processi stessi (Pásztor and Csillag, 1995), possibile attraverso l'applicazione delle tecniche di telerilevamento. A questo scopo, la metodologia ideata è in grado di individuare aree salinizzate sia su suoli nudi che vegetati.

La metodologia è concepita per essere applicata ad un'ampia porzione di territorio iracheno nel quale è già attivo un progetto di irrigazione ed ha permesso di ottenere una mappatura delle aree soggette a maggior degrado del suolo per salinità.

## 2 Contesto geografico

L'area di interesse è una porzione di territorio iracheno compresa entro i confini della regione storica Mesopotamia. Il progetto si propone come scopo l'ottimizzazione delle risorse naturali destinate all'irrigazione del suolo agricolo allo scopo di attuare uno sviluppo economico sostenibile. In Iraq il degrado del suolo per salinità è dovuto alla concatenazione di diversi fattori: a processi naturali si sono sovrapposti fenomeni socio-economici quali errati usi del suolo e pratiche agricole, assieme a motivi politici legati guerre e devastazioni.

L'Iraq è caratterizzato da condizioni continentali, con clima caldo e asciutto presente per la maggior parte dell'anno e caratterizzato dalla presenza di marcate escursioni termiche soprattutto nel periodo estivo. Durante l'estate in alcune zone si verificano alcune tra le temperature più elevate registrate al mondo. In questo scenario, la scarsità di precipitazioni unita all'elevato tasso di evotraspirazione contribuisce alla formazione di efflorescenze e croste saline sulla superficie del suolo. Inoltre, la posizione geografica dell'Iraq situato in prossimità delle aree costiere che si affacciano sul mar Mediterraneo, mar Rosso, mar Caspio e Golfo Persico, favorisce di fatto i fenomeni di salinizzazione legati all'intrusione di acque saline nel sottosuolo.

Assieme al contesto naturale occorre considerare anche la difficile situazione socio-economica in cui versa il Paese, responsabile di alcuni dei fenomeni di salinizzazione antropica.

Data la vastità dell'area oggetto di studio (7000 km<sup>2</sup>), per ridurre la variabilità dei fattori in gioco, inizialmente l'analisi è stata condotta su un area test di dimensioni più contenute. L'area pilota, posta a 30 km a sud di Bagdad, in prossimità della città di Al-Wahda, si trova nella bassa pianura mesopotamica, sulla sponda sinistra del fiume Tigri. L'area, avente un'estensione di circa 34000 ettari, è ricoperta da sedimenti alluvionali portati dalle inondazioni del fiume stesso. L'uso del suolo attuale è pressoché agricolo, caratterizzato da risaie e a nord dalla presenza di colture erbacee e da sporadici filari di palme. Da sottolineare che negli ultimi anni si è riscontrato un progressivo

abbandono delle colture probabilmente per via dell'innalzarsi del grado di salinità del terreno e per l'affioramento della tavola d'acqua salina.

### 3 Dataset

Il dataset utilizzato per la mappatura delle aree salinizzate si compone di due di immagini SPOT 5 che inquadrano l'area pilota di Al-Whada e i suoi dintorni (Tabella 1). Le caratteristiche peculiari del sensore in oggetto sono riportate in Tabella 2.

Id.	Sensore	Data e ora di acquisizione	Coordinate di centro immagine (E, N)		Sistema di riferimento
137/282	SPOT 5	15/05/11 - 07:58:52	484201.085	3752167.999	UTM WGS84 Zone 38 N
137/283	SPOT 5	15/05/11 - 07:59:01	469662.718	3697620.163	UTM WGS84 Zone 38 N

Tabella 1. Caratteristiche immagini SPOT 5.

Bande	Lunghezze d'onda ( $\mu\text{m}$ )	Risoluzione spaziale (m)
Pancromatico	0.51-0.73	5
Banda 1	0.50-0.59	10
Banda 2	0.61-0.68	10
Banda 3	0.79-0.89	10
Banda 4	1.58-1.75	10

Tabella 2. Caratteristiche del satellite SPOT 5.

### 4 Metodologia

Le immagini di partenza, già georiferite, sono state innanzitutto corrette dagli effetti atmosferici e convertite in riflettanza. Per le correzioni atmosferiche sono stati utilizzati come parametri in input i prodotti atmosferici acquisiti dal sensore MODIS negli stessi giorni e sulla stessa area delle immagini di riferimento.

La metodologia sviluppata permette di individuare terreni salini sia su suoli nudi che vegetati. Su suoli nudi l'analisi del comportamento spettrale del terreno permette generalmente l'identificazione di aree soggette a salinità. Invece, nel caso di terreni densamente vegetati la mancanza di visione del suolo spesso non consente di rilevare direttamente le efflorescenze saline, tuttavia l'identificazione di determinate specie fornisce informazioni direttamente correlate alla salinità di quel suolo. Per questi motivi, la metodologia per la discriminazione dei suoli salinizzati è stato integrata con i risultati ottenuti dalla classificazione della vegetazione.

#### 4.1 Identificazione di aree salinizzate su suoli nudi

Per la classificazione delle aree salinizzate su suoli nudi si è innanzitutto valutata la risposta dei suoli in termini di brillantezza, utilizzando le due bande nel visibile del sensore SPOT 5, e un Soil Index, SI3, ritenuto il più attendibile tra altri indici spettrali in campo di studi di questo tipo (Douaoui et al., 2006). Inoltre, si è valutata la risposta del suolo nel NIR e MIR attraverso l'applicazione del Normalized Differential Salinity Index (NDSI).

Mediante fotointerpretazione sono state scelte alcune regioni di interesse caratterizzate da evidenti affioramenti salini. A partire dalle suddette è stata effettuata prima una classificazione grezza di tipo Maximum Likelihood.

Attraverso elaborazioni matematiche ed analisi statistiche sulle regole che governano la probabilità di appartenenza dei pixel alla generica classe "sale" è stata prodotta una nuova classificazione in grado di mettere in evidenza le zone a diverso grado di salinità (figura 1).

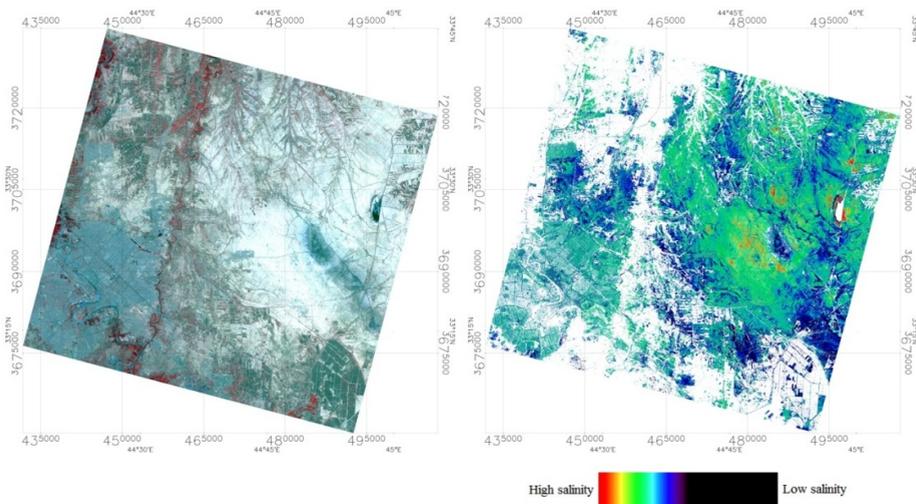


Figura 1. Immagine SPOT 5 con identificativo 137/283 dell'area pilota in falsi colori (sx), classificazione delle aree salinizzate (dx).

#### 4.2 Classificazione della copertura vegetata

In generale, il territorio iracheno è affetto da elevati livelli di salinità. Pertanto, si può ipotizzare che la presenza di vegetazione rigogliosa, quali orticolture, graminacee e palmeti, sia correlata a bassi livelli di salinità. Dalla letteratura sono stati scelti e calcolati alcuni indici di vegetazione, al fine di discriminare spettralmente diverse classi: NDVI (Douaoui et al, 2006), PVI (Richardson e Wiegand, 1977), SAVI (Huete, 1988) e TSAVI (Baret e Guyot, 1991). Inoltre, al fine di ottenere maggiori informazioni dall'immagine di partenza è stata eseguita un'Analisi a Componenti Principali sulle quattro bande multi spettrali dell'immagine SPOT 5. Utilizzando tutte queste informazioni è stata effettuata una classificazione supervisionata di tipo Maximum Likelihood, il cui risultato è mostrato in figura 2.

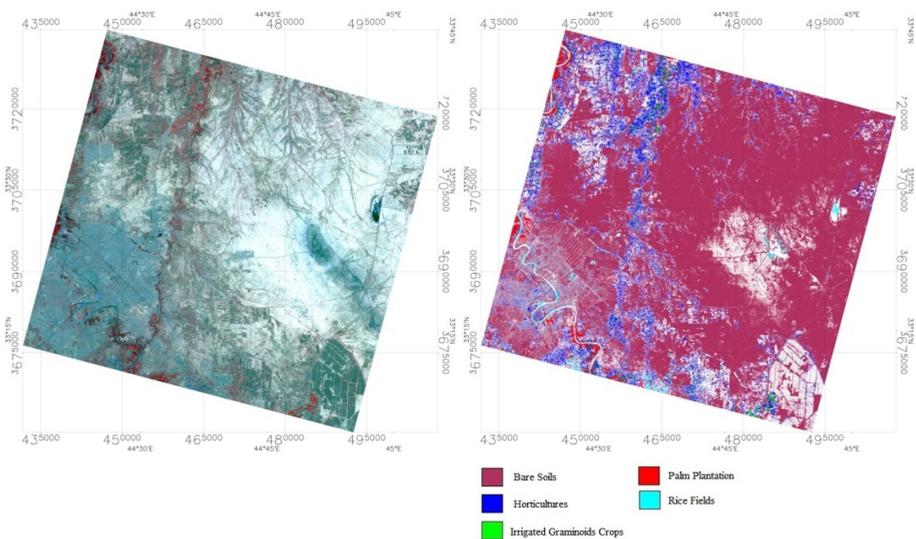


Figura 2. Immagine dell'area pilota in falsi colori (sx), classificazione della vegetazione (dx).

### 4.3 Identificazione di aree salinizzate su suoli nudi e vegetati

Unendo la mappatura dei suoli salini, con l'informazione ottenuta dalla classificazione della vegetazione e assumendo in caso di vegetazione rigogliosa (come orticole, graminacee, e palmeti), di poter attribuire bassi livelli di salinità, è stata ottenuta la mappatura finale (Figura 3):

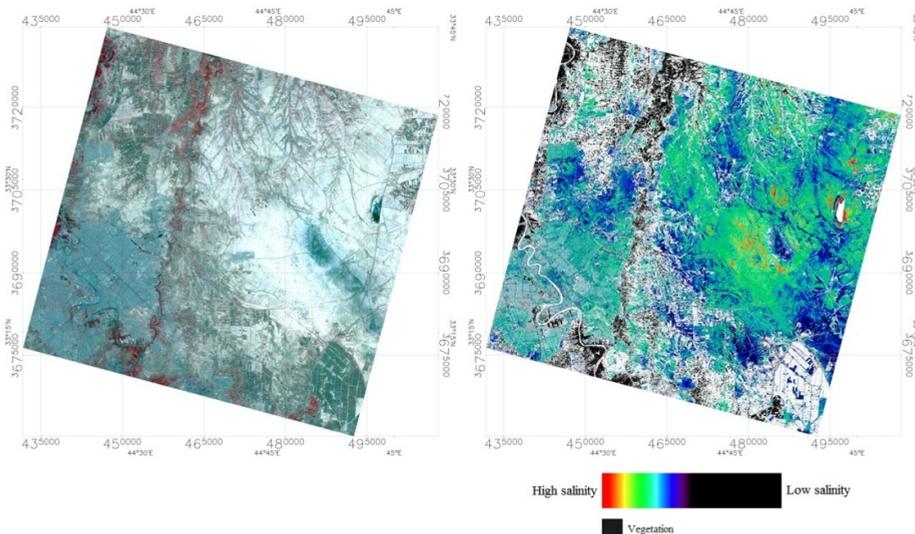


Figura 3. Immagine dell'area pilota in falsi colori (sx), classificazione delle aree salinizzate su suoli nudi e vegetati (dx).

### 5 Risultati e considerazioni

A causa della generale inaccessibilità del territorio iracheno non si dispone di punti di verità a terra. Pertanto, per la validazione della metodologia è stata condotta un'analisi per fotointerpretazione delle aree ad elevata salinità riscontrate nella mappatura. L'analisi per fotointerpretazione delle stesse aree su Google Earth ha sancito che la metodologia identifica correttamente gli affioramenti salini presenti nella zona (Figura 4).

La metodologia implementata individua comportamenti spettrali che non dipendono unicamente dalla brillantezza del suolo: questo appare evidente dal confronto tra la mappatura ottenuta per l'immagine SPOT 5 con identificativo 137/282, che inquadra i dintorni dell'area pilota di Al-Whada, e l'immagine originale in falsi colori (Figura 5). L'informazione ottenuta dal confronto tra la mappatura dei suoli salini e la classificazione della vegetazione ha inoltre consentito di osservare che suoli coltivati, caratterizzati da un elevato degrado del suolo, spesso presentano elevati livelli di salinità (figura 6).

L'informazione ottenuta dalla metodologia sarà prossimamente verificata disponendo di punti di verità a terra. Quindi sarà possibile l'applicazione della metodologia alle restanti porzioni di territorio facenti parte del progetto.

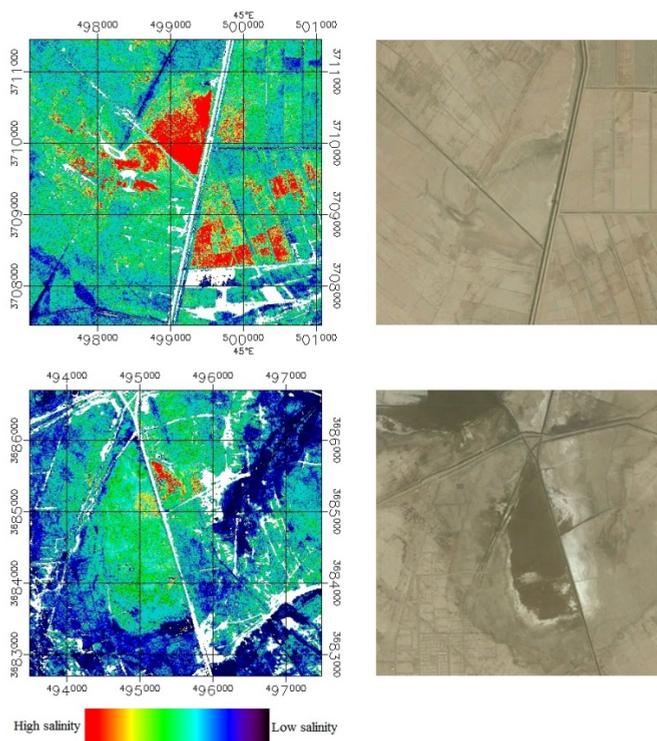


Figura 4. Confronto tra evidenti affioramenti salini (dx) e aree ad elevate salinità riscontrate nella mappatura (sx).

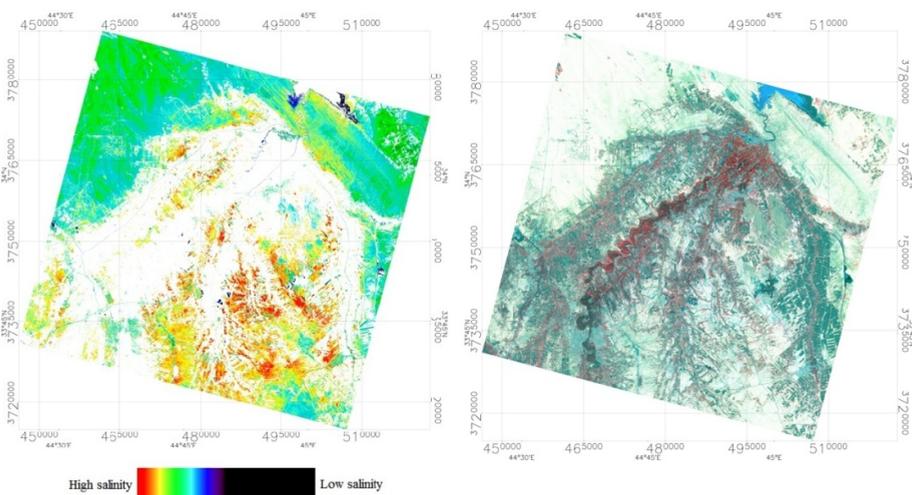


Figura 5. Confronto tra la mappatura delle aree saline per l'immagine SPOT 5 con identificativo 137/282 (sx) e la stessa immagine in falsi colori (dx).

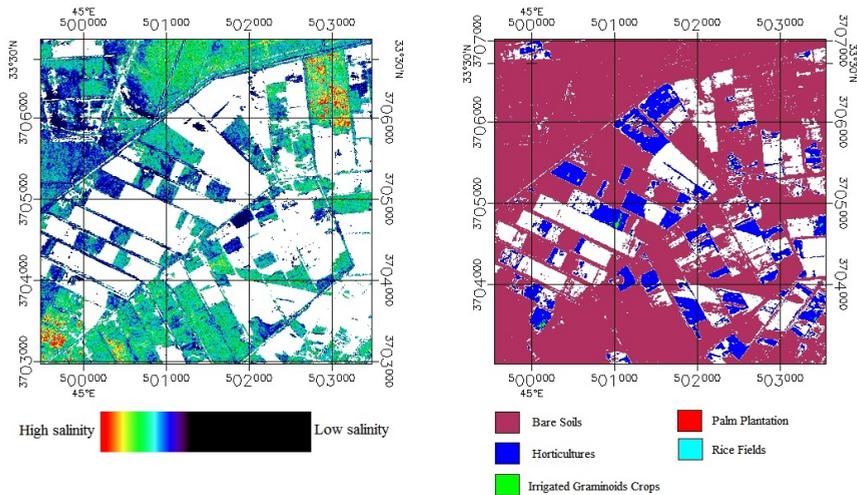


Figura 6. Dettaglio della mappatura di suoli salini (sx) e corrispondente classificazione della copertura vegetata (dx).

## 6 Bibliografia

- Baret F., Guyot G. (1991), "Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment", *Remote Sensing of Environment*, Volume 35, Issues 2–3, p. 161-173.
- Douaoui A.E.K., Nicolas H., Walter C.(2006), "Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data", *Geoderma*, Volume 134, Issues 1–2, p. 217-230.
- Huete, A. (1988), "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)", *Remote Sensing of Environment*, Volume 25, Issue 3, p. 295–309.
- Kassas M., Ahmed Y.J., Rozanov B. (1988), "Desertification and drought: an ecological and economic analysis", *Desertification Control Bulletin*, 20, pp. 19–29.
- Pásztor L., Csillag F. (1995), "Reduction of high resolution spectra: application to characterization of salinity status of soils", *Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing, Proc. of the 14th EARSeL Symposium*, Balkema, Rotterdam,393-397.
- Ramani S., Kannan S. (1986), "Absorption and transport of Na and Cl in rice cultivars differing in their tolerance to salinity: An examination of the effects of ammonium and potassium salts.", *Journal of plant nutrition*, Volume 9, Issue 12, p. 1553-1564.
- Richardson A.J., Wiegand C. L. (1977), "Distinguishing vegetation from soil background information", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 43, Issue 12, p. 1541-1552.