

I DATI ASTER: INDAGINI DI CARATTERE AMBIENTALE NELL'AREA EMILIANO - ROMAGNOLA

Maurizio BARBARELLA(*), Michaela DE GIGLIO(*), Francesco MANCINI(**)

(*), DISTART, Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna
(maurizio.barbarella, michaela.degiglio@mail.ing.unibo.it

(**) Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, Politecnico di Bari, Via Orabona, 4 – 70125 Bari
fmancini@racine.ra.it

Riassunto

L'utilizzo dei dati multispettrali forniti dal sensore satellitare ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) ha consentito un ulteriore sviluppo negli studi di carattere ambientale finalizzati al monitoraggio del territorio. La sperimentazione effettuata, relativa all'area costiera emiliano-romagnola, ha avuto come obiettivi principali il riconoscimento dell'uso del suolo, delle coperture vegetali e la caratterizzazione delle acque interne e costiere, tramite i principali algoritmi di classificazione. La preventiva conoscenza delle reali destinazioni d'uso è stata attuata mediante la consultazione di una serie di fonti rese disponibili dagli Enti pubblici e privati contattati. Sulla base di tali dati è stata anche verificata l'attendibilità del processo di analisi.

Abstract

The use of satellite data for environmental monitoring can be much better undertaken after the launch of the TERRA-ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) platform, a mid-resolution multispectral sensor operating in the VIS, NIR and Thermal frequencies. The paper focuses on the coverage and land use recognition topic, such vegetation, cultivations, urban areas and typical natural elements (lagoon, swamps, brackish valleys, etc.) over an area including the coastal zone of Emilia-Romagna and its inland. In order to do that, a wide series of classifiers based upon the spectral signatures clustering have been tested and results discussed in connection with available land use information provided by the several local agency and private companies involved in this subject.

Introduzione

Nell'analisi di immagini multispettrali a media risoluzione spaziale, nuove opportunità sono state create dai dati ASTER, acquistabili a costi contenuti. Le 14 bande disponibili ampliano le potenzialità di altri sensori (LandsatTM e SPOT), soprattutto per la maggiore risoluzione geometrica ottenuta con il sottosistema VNIR (Visibile ed Infrarosso Vicino) e per la capacità di operare in modalità stereo *alongtrack* nella banda 3. Nonostante la bibliografia esistente individui già diversi ambiti di applicazione di carattere geologico-ambientale, (uso del suolo, stato della vegetazione, indagini su acque costiere e delle calotte polari), non esiste ancora una standardizzazione nelle metodologie impiegate: pertanto il lavoro presentato si colloca in una filosofia di approfondimento delle potenzialità e di valutazione delle nuove prospettive offerte.

I dati ASTER 1B utilizzati coprono una superficie caratterizzata dalla contemporanea presenza di aree antropizzate, in parte soggette ad intenso sfruttamento agricolo, e di zone di particolare interesse ecologico ed ambientale. Ai fini dell'identificazione delle numerose realtà che costituiscono il paesaggio sono stati applicati diversi metodi di classificazione, riconducibili ai due

filoni principali della classificazione *hard* (rigide) e di quella *soft* (non rigide), basati su tecniche e teorie statistiche differenti. Di ogni procedura si è cercato di comprenderne la logica di base e di studiarne le applicazioni, scontrandosi con eventuali limiti o evidenziando particolari capacità.

Area di studio

Estesa dal Delta del Po al confine meridionale della provincia di Ravenna, l'area costiera osservata (Fig. 1) propone una notevole complessità eco-sistemica per la presenza di elementi naturali altamente sensibili, inseriti in un contesto antropico con il quale interagiscono. Nelle aree a maggiore sfruttamento agricolo il territorio si presenta suddiviso, a volte per mezzo di canali, in un numero elevato di appezzamenti, di dimensioni variabili e destinati a colture differenti, sia arboree che erbacee. La presenza di aree umide rende diversi luoghi di notevole attrazione per l'avifauna locale e per questo sono sottoposti ai vincoli del Parco Regionale del Delta del Po. Quest'ultimo è costituito da corpi idrici costieri (lagune, saline, ecc.) in cui si mescolano le acque dolci continentali con quelle salate marine e, in funzione delle maree e delle portate dei fiumi, la salinità dell'acqua assume valori diversi. Tali ambienti consentono la sopravvivenza di sole piante capaci di tollerare alte concentrazioni di cloruro sodico (es. salicornie), mentre i canneti popolano gli specchi d'acqua dolce. Attorno agli stagni, nei quali vegetano le ninfee, si sviluppa un rigoglioso bosco di pioppi, salici, frassini ed altre specie arboree tipiche dei siti umidi ripariali. Le pinete, costituite in prevalenza da pino domestico e da pino marittimo, caratterizzano invece buona parte del paesaggio del litorale a ridosso delle dune e delle spiagge, dove le condizioni di vita sono imposte da vento, aridità e salsedine. All'interno di questo delicato equilibrio si inserisce l'industria, prevalentemente petrolchimica, concentrata a nord-est di Ravenna.

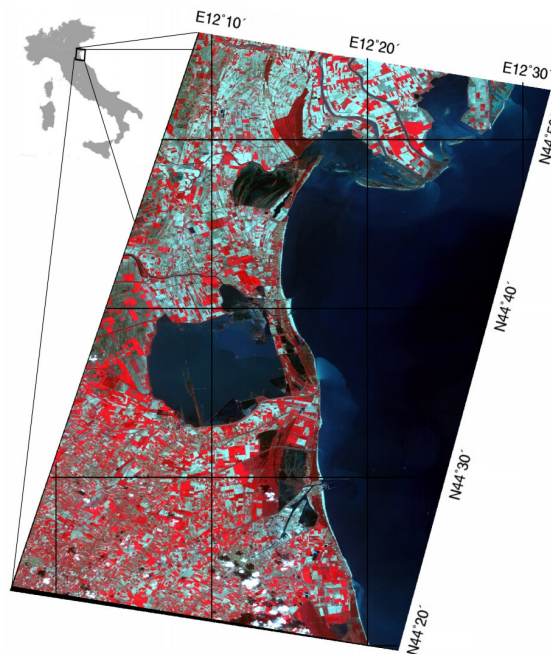


Figura 1 – L'area di studio, osservata dal sensore ASTER con soluzione a falsi colori.

Dati disponibili

ASTER, uno dei cinque sensori presenti sul satellite TERRA, è costituito da tre sottosistemi, VNIR, SWIR e TIR, che operano rispettivamente nel campo visibile (escluso il blu), nell'infrarosso vicino-medio e nel termico, fornendo dati in quattordici differenti bande dello spettro elettromagnetico. Le relative risoluzioni geometriche di 15, 30 e 90 metri collocano tali dati nella media risoluzione spaziale. Con *ASTER Level-1B (LIB)* si individua il livello di dati ottenuto dalla calibrazione radiometrica e dalla co-registrazione geometrica nelle diverse bande di quelli *Level-1A*, considerati grezzi. L'immagine utilizzata in questa sperimentazione (mostrata in figura 1 come falsi colori) è stata acquisita il 23/04/2002: informazione significativa, in riferimento ai cicli di maturazione delle coltivazioni, per la valutazione dell'influenza esercitata, al momento della ripresa, dallo stato della pianta sulla firma spettrale.

Per la definizione delle aree di addestramento da inserire come campioni negli algoritmi di classificazione, sono state consultate alcune fonti fornite da Enti locali, pubblici e privati. Sono la Carta della Vegetazione (Provincia di Ravenna); la Carta dell'Uso del Suolo (SIT, Comune di Ravenna); le dichiarazioni dei produttori per la richiesta degli aiuti economici previsti dalla PAC, Politica Agricola Comune, (Associazione Agricoltori della Provincia di Ravenna); i Fogli Catastali

e il Quadro d'Unione alla scala 1:40000 (Agenzia del Territorio, Ufficio Provinciale di Ravenna, Direzione e Servizi catastali); le Ortofoto alla scala nominale 1:10000 (www.atlanteitaliano.it).

Software e procedure di classificazione

“Classificare” significa associare ogni pixel che costituisce l'immagine ad una classe o categoria presenti nel dato. A differenza della classificazione "non supervisionata", ottenibile senza la preliminare opera di "addestramento", la "classificazione supervisionata" utilizza famiglie di pixel, rappresentative di ciascuna classe, alle quali saranno associati i pixel rimanenti che mostrano qualità radiometriche simili. Nel lavoro svolto è stato affrontato solo il secondo tipo di classificazione, diversificando però i classificatori *hard*, che definiscono in modo rigido la classe di appartenenza del pixel ignorando la sua natura ambigua, dai classificatori *soft* che, viceversa, prevedono tale possibilità associando al pixel diverse componenti presenti in proporzioni variabili. Nel primo gruppo rientrano i seguenti metodi utilizzati:

- **MINIMA DISTANZA DALLA MEDIA:** attribuisce, nello spazio multispettrale, il pixel sconosciuto alla classe la cui posizione del valore medio di riflettanza in ciascuna banda risulta più vicina. La distanza usata può essere euclidea, standardizzata o quella di Mahalanobis;
- **PARALLELEPIPEDO:** associa il pixel incognito ad una classe quando rientra nel range di quest'ultima, definito tra il minimo e il massimo valore trovati nelle aree di istruzione delle singole classi, o, solitamente, con l'insieme standardizzato delle deviazioni dalla media;
- **MASSIMA VEROSIMIGLIANZA:** nell'ipotesi che la distribuzione dei pixel di ciascuna classe segua una distribuzione multivariata normale (Gaussiana), assegna il pixel alla categoria cui corrisponde la probabilità maggiore.

Gli algoritmi del secondo gruppo, appartenenti alla teoria *Fuzzy Measures* (Dubois e Prade, 1982), sono riportati con i nomi previsti dal software usato nella sperimentazione per l'elaborazione dell'immagini, IDRISI 32 (Clark University, Worcester, Massachusetts, USA):

- **BAYCLASS:** estensione del classificatore di massima verosimiglianza, produce immagini separate delle probabilità posteriori di appartenenza ad ogni classe, calcolate secondo la teoria bayesiana. Presuppone che non esistano altre categoria oltre a quelle previste;
- **BELCLASS:** si basa sulla teoria di Dempster-Shafer, una variante della probabilità bayesiana, che prevede l'esistenza di altre classi al di fuori di quelle indicate dall'utente;
- **FUZCLASS:** utilizza i *Fuzzy Sets*, cioè insiemi non delimitati da confini netti al cui interno è graduale la transizione dalla condizione di appartenenza a quella di non appartenenza al set. L'algoritmo di estrazione delle firme dai campioni, non necessariamente puri, prevede la *Fuzzy Partition Matrix*, matrice nella quale sono registrati i livelli di appartenenza dei singoli campioni in ciascuna classe nota (Wang, 1990).

Si ricorda che la classificazione finale della generica procedura soft si ottiene elaborando i relativi risultati con uno degli algoritmi hard (*Hardeners*).

Definizione delle aeree d'istruzione

La determinazione delle 27 aree d'istruzione considerate ha comportato una serie di problemi legati alla difficile reperibilità dei dati a terra. In particolare, si è rivelata complicata la ricerca di informazioni aggiornate relative alle coltivazioni presenti nei singoli appezzamenti, per l'assenza di una loro registrazione obbligatoria con riferimenti georeferenziati. Le modalità seguite per il tracciamento di tali insiemi di pixel sono dipese dal tipo di fonte consultata. Attraverso le dichiarazioni degli agricoltori sono stati individuati i campioni delle colture erbacee, riportati con le particelle e i fogli catastali di riferimento. Senza ricorrere alla conversione delle coordinate, dal sistema Cassini-Soldner alla rappresentazione Gauss-Boaga, la collocazione geografica del documento catastale è avvenuta sulla base del *Quadro d'unione*. Dopo aver riconosciuto l'area

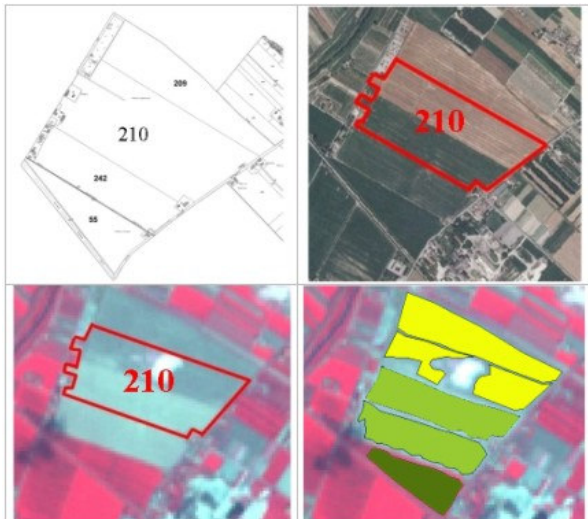


Figura 2 – Esempio di tracciamento delle aree di istruzione sulla base di fogli catastali, di ortofoto a colori e del color composite del dato ASTER.

interessata sul supporto delle ortofoto a colori, prendendo come punti di appoggio elementi facilmente visibili (fiumi, nuclei abitativi, ecc.) e ammettendo eventuali incongruenze temporali, si è proceduto con la sua identificazione nel *color composite*. Il processo è riassunto nella figura 2.

Un analogo confronto, basato però sulla Carta dell'Uso del Suolo, ha permesso la determinazione delle classi di colture arboree: l'estensione mediamente grande e la varietà limitata (vigneti e frutteti) di questi tipi di coltivazioni, hanno facilitato la loro individuazione sul dato ASTER. Infine, l'analisi della Carta della Vegetazione, integrata con un sopralluogo, ha consentito l'introduzione delle rimanenti coperture naturali e artificiali, quali spiagge, boschi, vegetazione palustre, bacini d'acqua salata, paludi salmastre, fiumi, zona urbana e zona industriale.

Risultati e verifiche

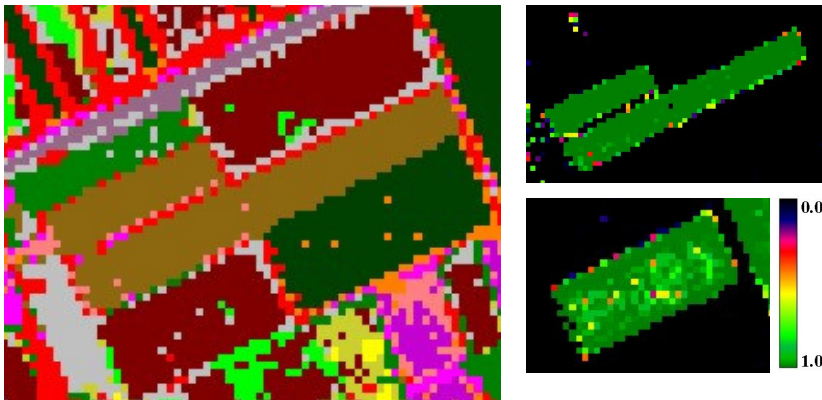
Per ogni classificatore sono state effettuate diverse prove, differenziate per il numero di bande e per le varianti previste dai metodi, cercando di sfruttare al meglio le capacità dei singoli algoritmi nel riconoscimento di determinate categorie: la ricostruzione complessiva del territorio si ottiene successivamente integrando i vari risultati, valutando le cause di eventuali contrasti sulla base anche delle uguaglianze verificate. Di seguito sono riportati alcuni dettagli di classificazioni ottenute con l'impiego di cinque bande (1, 2 del visibile e 3N, 4, 5 del vicino-medio infrarosso), le migliori ai fini della classificazione: le restanti bande SWIR non introducono variazioni significative nella risposta spettrale utilizzata, mentre quelle termiche disturbano la lettura del risultato.

Nel primo caso riportato (Fig. 3), relativo all'uso del suolo, sono identificate le principali colture presenti nella legenda: si ricorda che le coltivazioni seminate in primavera, nella seconda metà di aprile, presentano sul terreno delle piante di piccole dimensioni, la cui risposta spettrale può essere facilmente confusa con quella della terra ancora nuda o messa a riposo. Ad esempio, le firme di *Mais* e *Girasole* sono molto simili, oltre che tra loro, a quella del terreno lasciato incolto e ricoperto di vegetazione naturale o artificiale (*set-aside*). Nelle matrici di confusione, estratte dai diversi test,

viene quantificato un errore di omissione (pixel di un campione classificato in altre classi) di ognuna delle tre categorie citate. Esso è dovuto all'assegnazione errata di alcuni pixel della propria area d'istruzione alle altre due tipologie: per il metodo della Massima Verosimiglianza (Fig. 3) l'errore, ricadendo mediamente in un intorno del 10%, è relativamente piccolo, a differenza di altri algoritmi, come quello della Minima Distanza, che presenta



Figura 3 - Metodo della Massima verosimiglianza (bande 1, 2, 3n, 4, 5): dettaglio relativo all'area agricola a nord di Ravenna.



- GRANO
- ERBA MEDICA
- PISELLO
- SOIA
- ZONA INDUSTRIALE
- ZONA URBANA

Figura 4 – Hardeners Bayclass (a sinistra): verifica delle coltivazioni site nelle particelle 30, 31, 37 del Foglio 115 (S. Alberto, Ra). Probabilità posteriore Erba Medica (in alto a destra) e Probabilità posteriore Grano (in basso a destra).

posteriore delle due colture si avvicina quasi sempre al valore massimo 1.00 (Fig.4). All'interno dei terreni sono visibili alcuni pixel isolati, eliminabili con apposite procedure post-classificazione, le cui cause sono attribuibili a più fattori (differente stato di sviluppo, diverso grado di umidità, malattie o stress) che provocano una variazione nella risposta della pianta. Infine, la presenza di aree industriali ed urbane, non sempre verificata nella realtà, è legata alla variabilità di tali firme rappresentative di situazioni altamente disomogenee.

Nel secondo esempio (Fig. 5), invece, appare chiara la discriminazione tra i sette tipi di “acqua” previsti: il vasto complesso di zone umide salmastre delle Valli di Comacchio, la cui salinità in genere diminuisce da N verso S, presenta una vegetazione scarsa o assente in gran parte degli specchi vallivi, per questo classificati come *Acqua di basso fondale*, tranne nelle fasce lungo la riva, correttamente identificate come *Palude salmastra*. Al loro interno si riconoscono alcuni canali artificiali etichettati come *Bacino d'acqua salata*, il cui campione è stato prelevato in corrispondenza del Canale Candiano (Ravenna). Inoltre, in corrispondenza del fiume Reno è presente un prolungamento della classe *Fiumi* oltre la foce, da attribuire probabilmente all'apporto

- BACINI ACQUA SALATA
- PALUDE SALMASTRA
- ACQUA BASSO FONDALE
- ACQUA MEDIO FONDALE
- ACQUA ALTO FONDALE
- FIUMI
- ACQUA FOCE



Figura 5 – Metodo della Minima distanza dalla media (bande 1, 2, 3n, 4, 5): dettaglio relativo alla zona orientale delle Valli di Comacchio, vicino alla foce del fiume Reno (Ravenna).

in mare di materiale solido sospeso e dalla presenza di un'area di segregazione delle acque dolci. Ciò è confermato anche dall'individuazione di un'area circostante distinta, *Acqua di foce*, riscontrabile in prossimità di ogni sbocco fluviale. La suddivisione in tre livelli di fondale marino induce a ipotizzare diverse condizioni di torbidità (trasparenza) e di trasporto solido costiero. La carenza di informazioni provenienti da indagini specifiche (es. torbidità delle acque, presenza di corpi segregati, influenza della marea nella mescolanza di acque tra corpi idrici ecc.), contemporanee alla acquisizione dell'immagine, non permette una puntuale verifica delle classi individuate anche se rimane una corretta lettura della situazione idrodinamica dei siti considerati. Per le acque interne invece si è ricorsi al confronto con la Carta della Vegetazione: in figura 6 è mostrata la classificazione della Piallassa di Piombone (Ravenna), differenziata quasi perfettamente in *Bacino d'acqua salata* e *Palude salmastra*, e del Canale Candiano, riconosciuto lungo tutto il suo percorso.

un'omissione del 40% circa.

Il riquadro contornato in bianco di figura 3 evidenzia la zona sulla quale è stata eseguita la verifica dei risultati (Fig. 4).

Gli appezzamenti identificati come *Grano*, *Erba medica*, *Soia* e *Pisello*, trovano conferma nella dichiarazione PAC dell'Azienda agricola operante sulle particelle corrispondenti.

In particolare, l'avanzato stadio di maturazione delle piante di grano e erba medica, facilita il riconoscimento delle loro firme spettrali: la probabilità

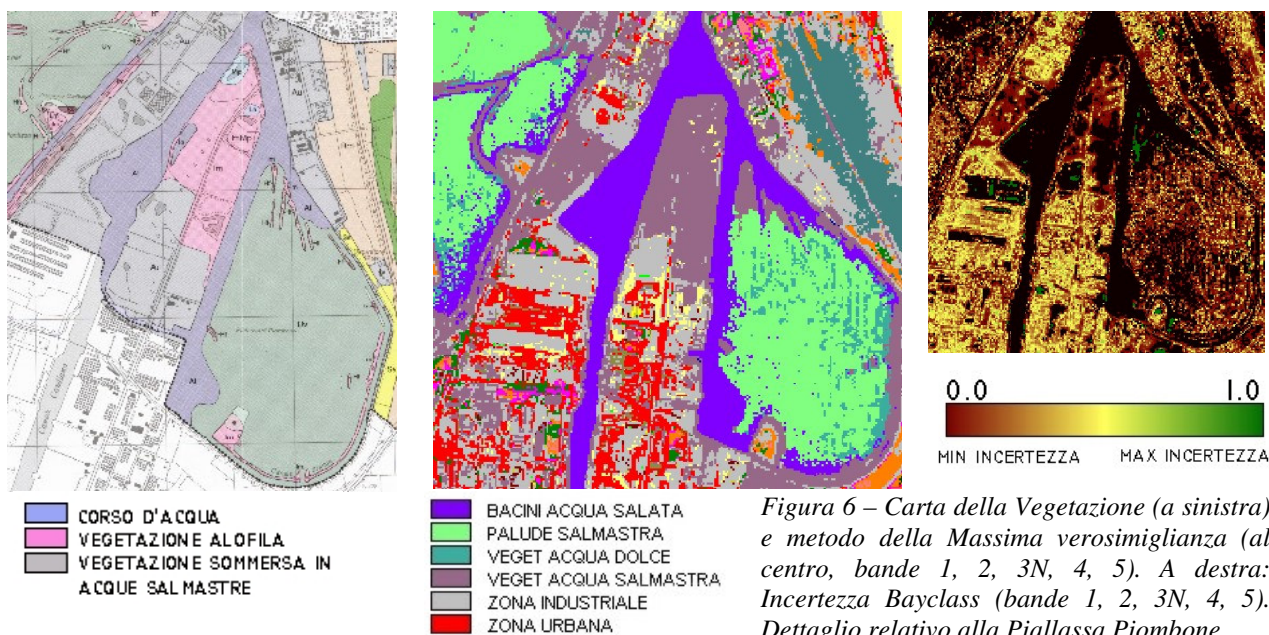


Figura 6 – Carta della Vegetazione (a sinistra) e metodo della Massima verosimiglianza (al centro, bande 1, 2, 3N, 4, 5). A destra: Incertezza Bayclass (bande 1, 2, 3N, 4, 5). Dettaglio relativo alla Piallassa Piombone.

Le stesse tipologie sono individuate in corrispondenza della Piallassa del Pontazzo (angolo in alto a sinistra). La migliore identificazione dei pixel delle acque, rispetto alle coperture del suolo, è evidenziata dall'*Incertezza*, nella quale assumono i valori minori della scala (colori scuri, bassa incertezza), al contrario dell'area urbana e industriale caratterizzate da una notevole indecisione (colori chiari, elevata incertezza).

Conclusioni

Dalla sperimentazione effettuata emerge che la qualità della classificazione dipende dalla tipologia dell'ambiente considerato e dall'omogeneità del campione fornito. L'utilizzo sinergico delle tecniche *hard* e le *soft* consente una classificazione affidabile come testimoniato dopo l'operazione di verifica dei risultati. Infatti i classificatori rigidi tendono a delineare classi omogenee, con il rischio però di assegnare erroneamente il pixel ad un'altra categoria, mentre quelli non rigidi hanno una maggiore attitudine a discriminare elementi all'interno di aree uniformi: integrazione molto utile per segnalare anomalie all'interno di classi omogenee. In linea generale, tra le procedure *hard*, il metodo della minima *distanza* consente uno studio qualitativo più chiaro, mentre la *massima verosimiglianza* è sostenuta da un'analisi numerica (matrice di confusione) migliore. Infine, l'introduzione di campioni non puri, *Fuzzy Set*, favorendo la discriminazione di alcune classi (acque) a discapito di altre (colture), necessita di ulteriori analisi. L'utilizzo di dati relativi ai periodi di massima maturazione delle coltivazioni (giugno-luglio) potrebbe risolvere alcuni dei problemi incontrati.

Bibliografia

- Hook A. M., Ramachandran S. B. (2002), "ASTER User Handbook", Version 2. EROS Data Center, Sioux Falls (SD).
- De Giglio M. (2004), "Utilizzo del sensore satellitare Aster per l'analisi dell'uso del suolo nell'area emiliano-romagnola", Tesi di laurea, Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi di Bologna.
- Dermanis A., Biagi L. (2002), "Telerilevamento, Informazione territoriale mediante immagine da satellite", Casa Editrice Ambrosiana.
- Dubois D., Prade H. (1980), "Towards fuzzy differential calculus", *Fuzzy Sets and Systems*, 1-17, 105-116, 225-233.
- Eastman J.R. (1999), "IDRISI 32 – Guide to GIS and Image Processing", Vol. 1 and 2, Clark Labs, Worcester (MA).
- Wang F. (1990), "Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Image", *IEEE Transactions on geosciences and remote sensing*, 28.
- <http://asterweb.jpl.nasa.gov/instrument/character.htm>
- http://www.parcodeltapo.it/er/natura/ambiente/acque_valli_Comacchio.html