

Estrazione dei bordi esterni dei pennacchi costieri dei fiumi dell'Alto Adriatico da immagini ETM+ ed ASTER

Luigi Alberotanza (*), Federica Braga (*), Angelo Zandonella (**)

(*) CNR-ISMAR, Castello 1364/A, 30122 Venezia, e-mail: luigi.alberotanza@ismar.cnr.it

(**) Consulente in Remote Sensing, Via Usodimare 46, 00154 Roma, e-mail: angelo.zandonella@ieee.org

Riassunto

L'estrazione dei bordi esterni dei pennacchi dei fiumi viene di norma effettuata mediante interpretazione visiva. In questo lavoro viene proposto un metodo semi-automatico basato sull'estrazione delle informazioni direttamente dai piani di bit del pixel di immagini reali o sintetiche. Il metodo è stato applicato ad una serie di immagini utili ETM+ ed ASTER ai pennacchi costieri dei fiumi dell'Alto Adriatico.

Abstract

The extraction of the external borders of river plumes is normally performed by visual interpretation. In this work a semi-automatic method, based on information extraction from pixel bit planes of real or synthetic images, is proposed. The method has been applied to a set of ETM+ and ASTER useful images of coastal plumes of High Adriatic Sea rivers.

Introduzione

I pennacchi costieri dei fiumi possono essere osservati in qualsiasi immagine in bianco e nero o a colori del visibile. Le differenze nei livelli di grigio o nei colori nella zona di confluenza fiume-mare sono dovute ai sedimenti in sospensione.

I pennacchi sono caratterizzati dal mescolamento di acqua dolce, sedimenti, materiale organico, nutrienti, tracce di contaminanti, ecc. La qualità e la quantità di tali componenti è influenzata spazialmente e temporalmente da variazioni di fattori chiave, come le condizioni meteo-climatiche che ne alterano il trasporto, la topografia, l'uso del suolo.

L'evoluzione spaziale e temporale dei pennacchi dipende da vari fattori. Fra questi vanno menzionati: il vento, la marea, le correnti costiere, la stratificazione, l'accelerazione di Coriolis.

La formazione dei pennacchi dei fiumi viene di norma studiata mediante modelli numerici di simulazione. Dalla comparazione fra i bordi esterni dei pennacchi estratti dalle immagini da satellite con quelli generati con i modelli di simulazione è possibile verificare la consistenza delle ipotesi assunte, in tali modelli, sul meccanismo di formazione del pennacchio.

Dallo studio della geometria dei pennacchi si possono estrarre alcune informazioni sul trasporto come la direzione lungo il litorale costiero ed i coefficienti di dispersione orizzontale (Kaya et al., 2006).

In questo lavoro viene presentato un metodo semi-automatico di estrazione dei bordi esterni dei pennacchi costieri sia di sedimenti che di acqua dolce. Il metodo è stato applicato ad una serie di immagini utili, acquisite dal 2000 al 2003 con i sensori ETM+ del satellite Landsat-7 ed ASTER del satellite Terra, dei fiumi: Brenta-Bacchiglione, Piave, Livenza, Tagliamento, Isonzo.

Immagini utilizzate

Sono quelle di stima della Concentrazione dei Sedimenti in Sospensione (CSS) e di Temperatura di Brillanza al Sensore (TBS).

L'immagine di stima della CSS è ottenuta dalla somma delle riflettanze delle bande del verde e dell'infrarosso (IR) vicino: bande 2 e 4 per l'ETM+, bande 1 e 3 per l'ASTER.

La relazione fra CSS e riflettanza spettrale nelle regioni del verde e infrarosso vicino è riportata in letteratura da numerosi Autori (cfr., ad esempio, Han, 1997, Tolk et al., 2000). In tali regioni la correlazione fra riflettanza spettrale e CSS risulta massima, mentre la correlazione fra clorofilla e riflettanza spettrale risulta minima. Per le caratteristiche di queste bande, nella regione del verde i sedimenti vengono rilevati lungo la colonna d'acqua fino ad una certa profondità, nella regione dell'IR vicino vengono rilevati sulla superficie dell'acqua. La profondità dei rilievi nella regione del verde è funzione della concentrazione dei sedimenti e della penetrazione della luce nel corpo idrico.

L'immagine di stima della TBS è ottenuta dall'elaborazione delle bande termiche, con le procedure riportate in NASA, 2004 per l'ETM+ ed in Alley e Jentoft-Nilsen, 2001 per l'ASTER.

Nelle Figure da 1 a 4 sono riportati degli esempi di elaborati intermedi, utilizzati per l'estrazione dei bordi esterni dei pennacchi, dell'immagine ASTER della foce del Piave acquisita il 23 novembre 2003 alle ore 10:10. Tali elaborati sono le immagini del pennacchio di sedimenti e di quello termico, ottenuti rispettivamente dalla somma delle bande citate e dalla banda termica (Figure 1 e 2) e le immagini di stima della CSS e della TBS (Figure 3 e 4).

Dall'immagine in banda termica (Figura 2) si può osservare che l'acqua dolce del fiume è più fredda di quella del mare e, di conseguenza, meno densa. Poiché le acque a diverse densità non si mescolano facilmente, vi sono differenze di temperatura dove le acque si incontrano (Figura 4).

Dall'analisi dell'immagine di stima della CSS si possono estrarre informazioni sulla presenza di *gradienti di concentrazione orizzontale*, da quella di stima della TBS sulla presenza di *gradienti di densità orizzontale* dovuti all'input di acqua dolce.

L'identificazione dei bordi esterni dei pennacchi si basa sulla evidenziazione di tali gradienti.

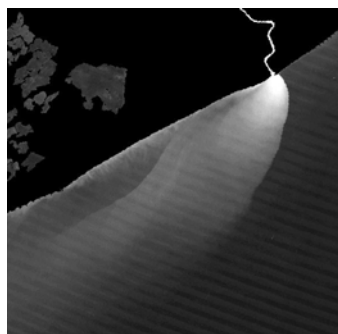


Figura 1 – Immagine sintetica ottenuta dalla somma delle bande del verde e IR vicino.

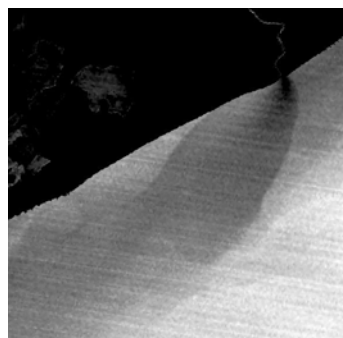


Figura 2 – Immagine in banda termica (banda 13).

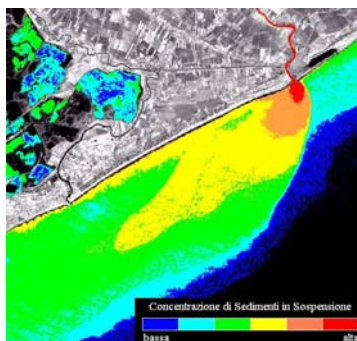


Figura 3 – Immagine di stima della CSS.

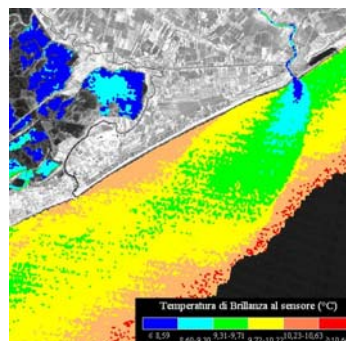


Figura 4 – Immagine di stima della TBS

Estrazione dei bordi esterni dei pennacchi

La procedura si articola in fasi come segue (cfr. ALLEGATO per una descrizione formale):

- ! Evidenziazione dei gradienti di concentrazione e densità orizzontali.
- ! Rilievo, localizzazione ed assottigliamento degli orli, bordi e contorni dei pennacchi.
- ! Rimozione manuale degli orli, bordi e contorni non attinenti ai pennacchi.

Data un'immagine ad N-bit per pixel, le informazioni sui gradienti di concentrazione e densità orizzontali vengo estratte dai piani di bit del pixel.

Da un punto di vista informatico, selezionando un singolo bit di ciascun pixel, dalla stessa posizione in rappresentazione binaria, l'immagine binaria che si ottiene è chiamata immagine del piano di bit. In questo modo l'immagine originale può essere decomposta in un insieme di piani di bit che vengono identificati in base alla loro posizione che va da 0 (piani denominati *Low Significant Bit Plane* - LSB) a N-1 (piani denominati *Most Significant Bit Plane* - MSB). L'immagine formata dai piani di bit LSB può essere chiamata *Low Significant Image* (LSI) mentre quella formata dai piani di bit MSB come *Most Significant Image* (MSI). Le principali caratteristiche delle immagini LSI ed MSI, quantizzate ad 8-bit per pixel, sono le seguenti:

- ! a parità di piani di bit, la percezione visiva del fenomeno (gradienti di concentrazione e densità orizzontali) è molto più alta nell'immagine MSI che nella LSI;
- ! a differenza dell'immagine LSI, l'immagine MSI utilizza meno piani di bit per evidenziare l'informazione sul fenomeno in essa contenuta.

In sostanza è l'immagine MSI quella che contiene le informazioni sul fenomeno oggetto di indagine. Il numero di piani di bit delle immagini MSI ed LSI non sono definiti. L'immagine MSI viene estratta in modo sequenziale partendo da due piani di bit per pixel, aumentando i piani di bit fino a che la percezione visiva del fenomeno è netta. I piani di bit contenenti più rumore che informazione vengono omessi.

Un esempio di evidenziazione del gradiente di concentrazione orizzontale del pennacchio del Brenta-Bacchiglione è riportato nella Figure da 5 a 8. L'immagine, somma delle riflettanze delle bande del verde e IR vicino, è stata acquisita dal sensore ETM+ il 16 agosto 2000 alle ore 9:43.

Dalle Figure da 5 a 7 si può osservare che, con l'aumento dei piani di bit, la percezione visiva del fenomeno aumenta. Per meglio evidenziare questo processo il bordo esterno del pennacchio di sedimenti, estratto al completamento della procedura, è riportato in colore rosso. Il numero di piani di bit, necessari ad ottenere una **netta** percezione visiva del fenomeno, viene individuato utilizzando la tecnica del *contouring* (Figura 8).

Il rilievo, la localizzazione automatica e l'assottigliamento degli orli, bordi e contorni dei pennacchi nell'immagine MSI vengono effettuati usando il metodo del *local scale control method for edge detection* di Elder e Zucker, 1988. Questo metodo effettua una sorta di derivata seconda. Punti adiacenti di orli, bordi e contorni vengono linearmente interpolati.

Gli orli, bordi e contorni non attinenti i pennacchi dei fiumi vengono infine rimossi manualmente.



Figura 5 - Immagine MSI a 4 piani di bit per pixel.

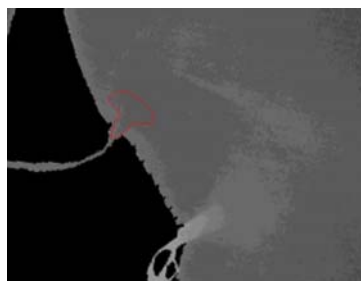


Figura 6 - Immagine MSI a 5 piani di bit per pixel.



Figura 7 - Immagine MSI a 6 piani di bit per pixel.

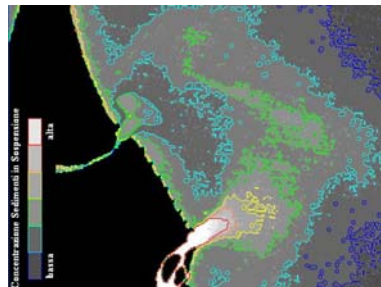


Figura 8 - Contouring applicato all'immagine MSI a 6 piani di bit per pixel.

I bordi esterni del pennacchio di sedimenti e di acqua dolce, estratti dall'immagine ASTER della foce del Piave (Figure da 1 a 4) con la procedura descritta, sono riportate nelle Figure 9 e 10.



Figura 9 – Bordo esterno del pennacchio di sedimenti.



Figura 10 – Bordo esterno del pennacchio di acqua dolce in due diverse fasi di mescolamento.

Elaborati e modelli numerici di simulazione

Dalle mappe di stima dei parametri: bordi esterni dei pennacchi di sedimenti e di acqua dolce, CSS e TBS è possibile estrarre informazioni per calibrare i modelli numerici di simulazione del campo idrodinamico, di trasporto e dispersione (cfr. ad esempio Mestres et al., 2003, Kaya et al., 2006).

A tal fine gli elaborati prodotti, in proiezione Gauss-Boaga (Fuso Ovest), sono stati restituiti in rappresentazione raster e vettoriale, per essere gestiti dai modelli idrodinamici implementati su sistemi GIS, di analisi di immagine o ambienti software di sviluppo di tali modelli (Matlab, Comsol Multiphysics, ecc.).

Esempi di sovrapposizione multitemporale, in diverse condizioni di marea e vento, dei bordi esterni dei pennacchi di sedimenti e di acqua dolce sono riportati nelle Figure 11 e 12. Da questi elaborati si possono estrarre informazioni sulla direzione preferenziale dei pennacchi lungo il litorale e sui coefficienti di dispersione orizzontale.

Conclusioni

Il metodo di estrazione dei bordi esterni dei pennacchi costieri dei fiumi è di tipo semiautomatico e si basa sull'estrazione di tali informazioni dai piani di bit del pixel. Questo si ottiene utilizzando semplici operazioni binarie di mascheramento e spostamento dei piani di bit. La bontà del risultato finale dipende dalla selezione dei piani di bit: quelli contenenti più rumore (atmosferico o del sensore) che informazione vanno omessi dalla procedura di selezione.



Data/Ora di acquisizione delle immagini:

16 agosto 2000 ore 9:43
8 settembre 2000 ore 9:49
29 aprile 2001 ore 9:42
26 agosto 2001 ore 9:47
28 luglio 2002 ore 9:46

Figura 11- Livenza. Bordi esterni dei pennacchi di sedimenti in condizioni di alta marea e forte vento di Bora (da 3,7 a 13 nodi).



Data/Ora di acquisizione delle immagini:

13 ottobre 2001 ore 9:46
19 giugno 2002 ore 9:41
25 marzo 2003 ore 9:47
29 novembre 2003 ore 10:10

Figura 12 – Livenza. Bordi esterni dei pennacchi di acqua dolce in condizioni di bassa marea e forte vento di Bora (da 3,9 a 10,1 nodi)

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico per il finanziamento del lavoro.

Riferimenti Bibliografici

- Alley E. R., Jentoft-Nilsen M. (2001), "Algorithm Theoretical Basis Document for Brightness Temperature", *ASTER Documentation ATBD-AST-04*, JPL, Version 3.1.
- Elder H. J., Zucker W. S. (1988), "Local scale control for edge detection and blur estimation", *IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, Vol. 20, 7: 699-716.
- Han Luoheng (1997), "Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algae-laden waters", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 63, 6:701-705.
- Kaya S., Seker Z.D., Kabdasli S., Musaoglu N., Yuasa A., Shrestha B.M. (2006), "Monitoring freshwater plume characteristics by means of remotely sensed data", *Hydrological Processes*, Vol. 20, 11: 2429-2440.
- Mestres M., Sierra J-P., Sanchez-Arcilla A., Gonzales Del Rio J., Wolf T., Rodriguez A., Ouillon S. (2003), "Modelling of Ebro river plume. Validation with field observations", *Scientia Marina*, Vol. 67, 4:379-391.
- NASA (2004), *Landsat 7 Science Data Users Handbook - Chapter 11 - Data Products*.
- Tolk B.L., Han L., Rundquist D.C. (2000), *The impact of bottom brightness on spectral reflectance of suspended sediments*, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, 11:2259-2268.

ALLEGATO

Descrizione formale della procedura per l'estrazione dei bordi dei pennacchi costieri dei fiumi.

Definizioni:

Il **pixel** di una immagine, quantizzata in formato digitale e in rappresentazione decimale, può essere definito come una somma di 'N' bit pesati con potenze di 2 (per il k-mo bit la potenza è 2^k). Una immagine 'k' formata da un singolo bit per pixel può essere chiamata **immagine del k-mo piano di bit**. Formalmente, il valore del pixel $x(l,c)$ di una immagine, alla linea 'l' e colonna 'c', è dato dalla serie naturale:

$$x(l,c) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k 2^k(l,c) \quad [1]$$

dove $b_k(l,c)$ è il bit del k-mo piano di bit, assumente il valore 0 oppure 1.

Per decomporre una immagine in una immagine a piani di bit vengono usate operazioni binarie di mascheramento e di spostamento dei piani di bit. Formalmente, per estrarre da $x(l,c)$ il k-mo piano di bit $x_k(l,c)$, l'operazione è la seguente:

$$x_k(l,c) = \left(\sum_{k=0}^{N-1} b_k 2^k(l,c) \right) \wedge \sum_{k=0}^{N-1} b_k^* 2^k(l,c) \quad [2]$$

per $b_k^*(l,c) = 1$ nella k-ma posizione della serie naturale, $b_k^*(l,c) = 0$ nelle altre posizioni;

$\wedge$ simbolo di **AND**.

I piani di bit vengono identificati dalla loro posizione che va da 0 ($k \rightarrow 0$) per i piani LSB (*Low Significant Bit Plane*) a N-1 ($k \rightarrow N-1$) per i piani MSB (*Most Significant Bit Plane*). L'immagine formata dai piani di bit LSB può essere chiamata **LSI (Low Significant Image)** mentre quella formata dai piani di bit MSB come **MSI (Most Significant Image)**. Se 'L' è il numero di piani di bit e $msi(l,c)$ e $lsi(l,c)$ sono il valore del pixel delle immagini MSI ed LSI rispettivamente, allora:

$$x(l,c) = msi(l,c) + lsi(l,c) \quad \text{dove: } msi(l,c) = \sum_{k=L}^{N-1} b_k 2^k(l,c); \quad lsi(l,c) = \sum_{k=0}^{L-1} b_k 2^k(l,c) \quad [3]$$

'L' può essere selezionato sequenzialmente ed in modo decrescente partendo da N-2.

La percezione visiva dei fenomeni (gradiente di concentrazione orizzontale e gradiente di densità orizzontale) aumenta, nell'immagine MSI, con la diminuzione di L ed il conseguente aumento dei piani di bit per pixel (cfr. Figure da 5 a 8).

FASI DELLA PROCEDURA:

Fase 1 – Evidenziazione dei gradienti di concentrazione e densità orizzontali. Si ottiene estraendo, dall'immagine della somma delle riflettanze delle bande del verde e IR vicino (quantizzata a 8-bit per pixel) e delle radianze in banda termica, le immagini MSI associate.

Il valore del pixel $msi(l,c)$ può essere ottenuto usando l'equazione sopra riportata (gli [L, ..., N-1] piani di bit vengono estratti singolarmente usando successive operazioni di mascheramento) oppure usando un'unica operazione di mascheramento:

$$msi(l,c) = \left(\sum_{k=0}^{N-1} b_k 2^k(l,c) \right) \wedge \sum_{k=0}^{N-1} b_k^{**} 2^k(l,c) \quad [4]$$

per $b_k^{**}(l,c) = 1$ nelle $k = [L, \dots, N-1]$ posizioni della serie naturale, $b_k^{**}(l,c) = 0$ nelle altre posizioni.

Fase 2 - Rilievo, localizzazione ed assottigliamento degli orli, bordi e contorni dei pennacchi dei fiumi nell'immagine MSI.

Il metodo usato è il *local scale control method for edge detection* di Elder e Zucker, 1988. Tale metodo effettua una sorta di derivata seconda. Punti adiacenti di orli, bordi e contorni vengono linearmente interpolati.

Fase 3 - Rimozione manuale degli orli, bordi e contorni non attinenti ai pennacchi dei fiumi.