

ESTRAZIONE DI INFORMAZIONI DA IMMAGINI ETM+ PER LA CALIBRAZIONE DEI MODELLI IDRODINAMICI DELLA LAGUNA DI VENEZIA

Roberto Rosselli (*), Angelo Zandonella (**)

(*) Magistrato alle Acque di Venezia – Servizio Informativo, San Marco 2949, 30124 Venezia,
tel. 041.5203213, fax 041.2775268, e-mail: roberto.rosselli@magisacque.it

(**) Consulente, Consorzio Venezia Nuova, San Marco 2949, 30124 Venezia,
tel. 041.5203213, fax 041.2775268, e-mail: angelo.zandonella@ieec.org.

Riassunto

In questo lavoro sono riportate le metodologie adottate per l'estrazione, da immagini ETM+, di alcuni parametri utilizzabili ai fini della calibrazione dei modelli numerici di simulazione del campo idrodinamico, di trasporto e dispersione di sostanze non conservative proposti per la laguna di Venezia. Tali parametri riguardano i seguenti fenomeni: sedimenti in sospensione, temperatura superficiale, alcune strutture superficiali del corpo idrico, distribuzione della vegetazione sommersa. Le mappe di stima di tali parametri sono restituite in rappresentazione raster e vettoriale per essere gestiti dai modelli implementati su sistemi GIS.

Abstract

In this work the methodological approach used to extract, from ETM+ images, some parameters used to calibrate numerical simulation models of hydrodynamic field, transport and dispersion of non-conservative substances, proposed for the Venice lagoon, is described. These parameters are extracted for the following phenomena: suspended sediments, surface temperature, some sea surface structures and submersed aquatic vegetation. The estimation maps of these parameters are in raster and vector-based representations to be managed by the models implemented on GIS-systems.

Introduzione

La gran parte dei modelli idrodinamici, proposti per la laguna di Venezia, presentano come parametri da calibrare i coefficienti di dispersione e di scabrezza del fondo. Mentre i primi sono dipendenti dal campo di moto, i secondi sono funzione della tipologia del fondale e pertanto variabili nello spazio. Un ausilio alla calibrazione di questi coefficienti può essere dato dalle informazioni estraibili dalle immagini di telerilevamento aereo-spaziale.

A questo riguardo è stata condotta un'indagine consistente nella elaborazione di una decina di immagini utili acquisite, dal 2000 al 2003, con il sensore ETM+ del satellite Landsat-7 ai fini della produzione di mappe di stima dei seguenti parametri, in Laguna ed in Adriatico in prossimità delle Bocche di Porto:

- *Concentrazione di Sedimenti in Sospensione (CSS) e Temperatura di Brillanza (TB) al sensore;*
- *bordi esterni dei pennacchi e gradienti di densità;*
- *distribuzione della vegetazione sommersa in Laguna.*

Dai parametri CSS, TB, bordi esterni dei pennacchi e gradienti di densità si possono estrarre indicazioni per calibrare i coefficienti di dispersione, dalla distribuzione della vegetazione sommersa si possono estrarre indicazioni per localizzare le zone di scabrezza, quindi differenziare e calibrare i relativi coefficienti.

Le mappe, in proiezione Gauss-Boaga, sono restituite in rappresentazione raster e vettoriale per poter essere gestiti dai modelli idrodinamici implementati in ambiente GIS, ai fini di migliorare la loro funzionalità nell'acquisizione ed editing dei dati, accesso ai database, pretrattamenti, visualizzazione ed interpretazione dei risultati, ecc.

In questo lavoro sono riportate le metodologie usate per l'estrazione di queste informazioni dalle immagini ETM+ nonché le strategie usate per la loro vettorizzazione.

Relazione fra CSS e riflettanza spettrale

Per la vastità della letteratura su questo argomento, vengono riportati i risultati di sintesi delle ricerche condotte solo da alcuni Autori. Han, 1997, effettua un'analisi degli spettri di riflettanza per diverse CSS utilizzando dati di laboratorio in due diverse ipotesi: con fondale scuro, simulante la presenza di sabbia, argilla, limo, torba mescolati in proporzioni diverse e con presenza di alghe lungo la colonna d'acqua e sul fondale. I picchi massimi di riflettanza, correlati alla CSS, vengono identificati nella banda del verde a $0,580\ \mu\text{m}$ (ma per alte concentrazione di sedimenti tale picco si sposta verso i $0,602\ \mu\text{m}$) e nella banda dell'infrarosso vicino a $0,807\ \mu\text{m}$.

Sempre usando dati di laboratorio, Tolk et al., 2000 hanno identificato un'alta correlazione fra aumento della riflettanza ed aumento della CSS fra $0,550$ e $0,600\ \mu\text{m}$, con picco massimo a $0,580\ \mu\text{m}$, e fra $0,740$ e $0,900\ \mu\text{m}$. Wezernak et al., 1996 confermano queste correlazioni sulla base di un approfondito studio condotto su dati rilevati in numerosi ambienti reali.

Curran e Novo, 1988, in una ricerca di sintesi, hanno trovato che molte sono le lunghezze d'onda delle regioni spettrali del verde e dell'infrarosso vicino usate dagli Autori per la stima della CSS e che le lunghezze d'onda ottimali si trovano fra $0,530$ e $0,600\ \mu\text{m}$ e fra $0,732$ e $0,900\ \mu\text{m}$.

In sostanza, in queste regioni spettrali del verde e dell'infrarosso vicino la correlazione fra riflettanza spettrale e CSS risulta massima mentre la correlazione fra clorofilla e riflettanza spettrale risulta minima. Nella regione del verde le stime della CSS vengono effettuate lungo la colonna d'acqua fino ad una profondità correlata, a sua volta, alla concentrazione dei sedimenti ed alla penetrazione della luce nel corpo idrico. Nella regione dell'infrarosso vicino le stime della CSS vengono effettuate sulla superficie dell'acqua: la penetrazione ottica nominale delle bande situate in questa regione è di circa $0,5\ \text{cm}$.

Stima della CSS

E' ottenuta dall'immagine sintetica della somma delle riflettanze delle bande del verde (corretta con il metodo di sottrazione dell'oggetto della scena più scuro, cfr. Chaves, 1988) e dell'infrarosso vicino: Banda 2 e Banda 4 dell'ETM+.

Si osserva che i dati di radianza dell'ETM+ possono essere facilmente convertiti in dati di riflettanza spettrale al sensore, utilizzando la procedura riportata in NASA, 2004. Una descrizione formale di tale procedura è riportata nell'ALLEGATO 1. Nella stima delle riflettanze l'angolo solare zenitale utilizzato è calcolato rispetto al centro dell'immagine estratta per le elaborazioni.

Le mappe della CSS prodotte sono a scala qualitativa (da bassa concentrazione verso alta concentrazione), in quanto per produrre mappe a scala quantitativa erano necessari rilievi in sito da effettuarsi al passaggio del satellite.

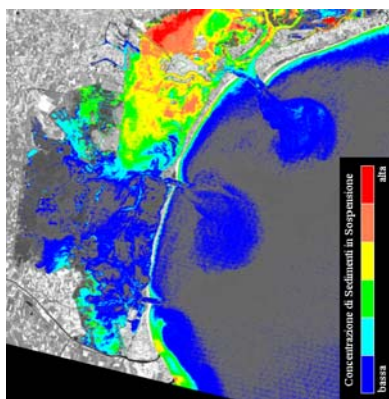


Figura 1 – Mappa di stima della CSS in rappresentazione raster.

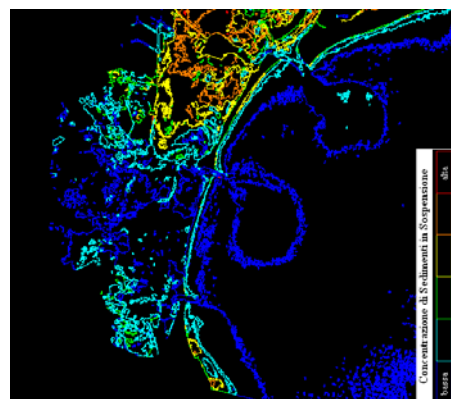


Figura 2 – Mappa di stima della CSS in rappresentazione vettoriale.

Nelle Figure 1 e 2 sono riportate le mappe di stima della CSS in rappresentazione raster e vettoriale relative all'immagine ETM+ acquisita il 28 luglio 2002 alle ore 9:46.

La strategia di vettorizzazione usata consiste nel filtraggio delle aree con meno di 15 x 15 pixel, in quanto ritenute poco significative, e tracciamento dei vettori nei bordi esterni dei pixel.

Stima della TB

E'ottenuta dalla elaborazione della banda termica dell'ETM+. Tale banda è situata nell'intervallo spettrale 10,40 – 12,50 μm di lunghezza d'onda. Il segnale ETM+ ottenibile in tale intervallo permette di raggiungere una sensitività radiometrica di 0,5 °K (NASA, 2004). A queste lunghezze d'onda l'irradianza solare è trascurabile, l'acqua risulta opaca nello strato superficiale di pochi mm. I dati acquisiti dall'ETM+ in questa banda sono ad 9 bit per pixel e vengono restituiti ad 8 bit usando due diversi guadagni. La selezione dei guadagni è controllata dal Centro Operativo della Missione e viene effettuata cambiando il voltaggio di riferimento nella conversione analogico-digitale. La banda termica viene fornita all'utente in due bande separate. Quella usata nel lavoro è *ad alto guadagno* (memorizzata su supporto magnetico come Banda 9).

La banda termica dell'ETM+ è soggetta ad un tipo di degrado dovuto all'effetto della scansione nelle due direzioni ed è osservabile sulle immagini del corpo idrico come strisce orizzontali. La banda *ad alto guadagno* è soggetta un po' meno a questo tipo di rumore. I metodi di restauro proposti in letteratura modificano sostanzialmente i valori di radianza e, di conseguenza, di temperatura del pixel. Per il tipo di utilizzo che si intende fare con questi dati non è stato effettuato alcun restauro.

I dati di radianza, acquisiti in banda termica, possono essere facilmente convertiti in misure di stima della TB usando l'inversa della legge di Planck.

Una descrizione formale della procedura di calcolo è riportata nell'ALLEGATO 1.

Nelle Figure 3 e 4 sono riportate le mappe di stima della TB al sensore in rappresentazione raster e vettoriale per l'immagine ETM+ acquisita il 20 settembre 2001 alle ore 9:40.

Nella vettorizzazione le aree con meno di 5 x 5 pixel sono filtrate in quanto ritenute poco significative ed il tracciamento dei vettori è effettuato nei bordi esterni dei pixel.

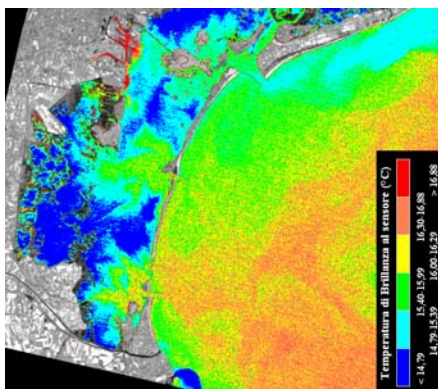


Figura 3 – Mappa di stima della TB in rappresentazione raster.

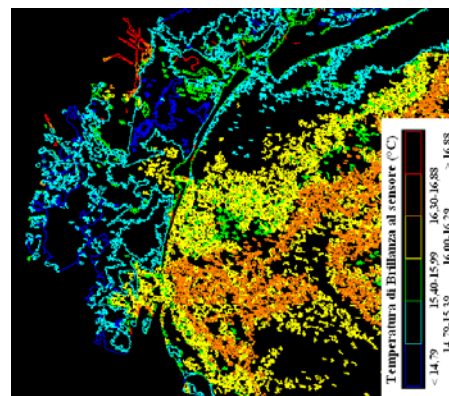


Figura 4 – Mappa di stima della TB in rappresentazione vettoriale.

Bordi esterni dei pennacchi e Gradienti di densità

L'approccio metodologico usato è di tipo semiautomatico.

Il rilievo, la localizzazione automatica e l'assottigliamento degli orli, bordi e contorni dei pennacchi e dei gradienti di densità sono determinati usando il metodo noto con il nome di *local scale control method* (Elder e Zucker, 1988). Il metodo effettua una sorta di derivata seconda. Punti adiacenti di orli, bordi, contorni vengono linearmente interpolati.

Bordi esterni dei pennacchi e gradienti di densità non fisicamente corretti sono manualmente eliminati previa analisi visiva.

I pennacchi sono identificati usando immagini sintetiche ottenute con operazioni fra bande del visibile aventi una diversa penetrazione ottica in acqua.

Da operazioni fra bande del:

- Verde e Rosso sono identificati ed estratti i pennacchi relativi ai deflussi recenti,
- Blu e Verde sono identificati ed estratti quelli relativi ai deflussi precedenti,

questo nelle ipotesi di riconoscimento dei pennacchi dai sedimenti trasportati dalla marea di deflusso e distribuzione dei sedimenti lungo la colonna d'acqua ad una diversa profondità per deflussi successivi.

I gradienti di densità sono estratti dalla banda termica.

Nelle Figure 5 e 6 sono riportati degli esempi di rilievo dei bordi esterni dei pennacchi alle Bocche di Porto e dei gradienti di densità in Laguna e lungo il litorale lagunare per l'immagine ETM+ acquisita il 20 settembre 2001 alle ore 9:40.



Figura 5 – Bordi esterni dei pennacchi relativi a due deflussi successivi.

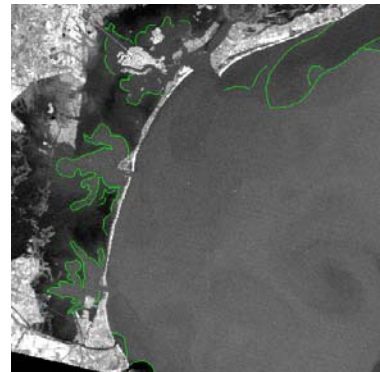


Figura 6 – Gradienti di densità sovrapposti alla Banda termica.

Nella Figura 7 è riportato un caso di pennacchio termico alla Bocca di Lido, presumibilmente dovuto alle immissioni in Laguna di acqua dolce. La temperatura è di circa un grado centigrado inferiore alla temperatura media dell'intorno. L'immagine ETM+ è del 19 giugno 2002 acquisita alle ore 9:41. Nella Figura 8 sono riportati i pennacchio alla Bocca di Lido relativi a due successivi deflussi sovrapposti a quello termico per l'immagine citata.

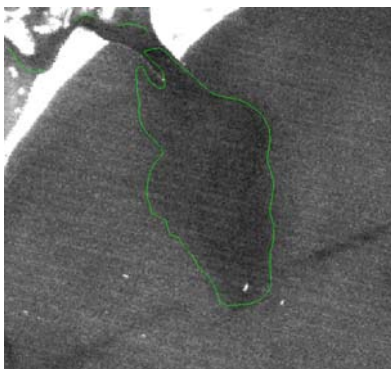


Figura 7 - Pennacchio termico sovrapposto alla Banda termica.



Figura 8 - Pennacchi relativi a due successivi deflussi sovrapposti a quello termico.

Nella vettorizzazione il tracciamento dei vettori è effettuato fra le posizioni centrali dei pixel.

Distribuzione della vegetazione sommersa

Il metodo utilizzato è riportato dettagliatamente in Alberotanza et al., 2003. Tale metodo si basa su una tecnica di analisi della similitudine fra la firma del singolo pixel del corpo idrico, ottenuta dai dati di riflettanza spettrale delle bande ETM+ del visibile e le firme composte dei tipi di fondale. I tipi di fondale sono ottenuti da aree di training. Il grado di similitudine fra firme viene misurato usando la varianza. Il pixel viene assegnato alla classe della vegetazione sommersa se la similitudine fra firme ha varianza minima.

Nella Figura 9 sono riportate le zone con presenza di vegetazione sommersa relative all'immagine ETM+ acquisita il 18 maggio 2002.

La procedura in pseudocodice, usata per il rilievo e la localizzazione dei bordi delle zone con presenza di vegetazione sommersa (zone di scabrezza), è riportata nell'ALLEGATO 2.

Poiché la scabrezza del fondo è un elemento di resistenza al moto, vengono eliminate le piccole aree del fondo a copertura vegetale, in quanto hanno un coefficiente di scabrezza trascurabile.

Nella Figura 10 sono riportate le zone di scabrezza per l'immagine ETM+ acquisita il 18 maggio 2002 con eliminazione delle zone con meno di 11 x 11 pixel.

Anche in questo caso il tracciamento dei vettori è effettuato fra le posizioni centrali dei pixel.

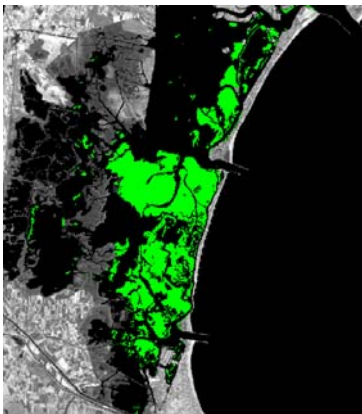


Figura 9 – Zone con presenza di vegetazione sommersa.

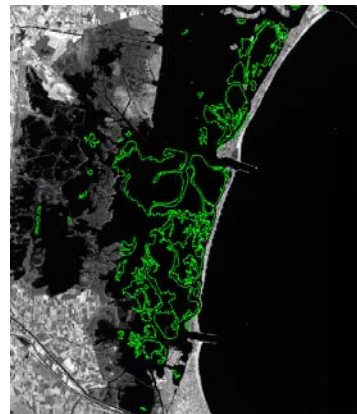


Figura 10 – Zone di scabrezza del fondo per la presenza di vegetazione sommersa.

Riferimenti Bibliografici

- Alberotanza Luigi, Cavalli Rosa, Pignatti Stefano, Zandonella Angelo (2003), *Classification of submersed aquatic vegetation of the Venice lagoon by using MIVIS airborne data*, Workshop on Airborne R.S. for Geophysical and Envir. Applications, Journal of Geophysical Research. In press.
- Baschieri Paolo, Macaluso Vincenzo, Zandonella Angelo (1995), *Laguna di Venezia – Analisi multitemporale delle modifiche morfologiche delle barene ed individuazione delle zone critiche per processi erosivi effettuate sulla base di immagini TM*, AIT – VII Convegno Nazionale.
- Chaves S. Pat (1988), *An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data*, Remote Sensing of Environment, 24(4):459-479.
- Curran P.J., Novo E.M.M. (1988), *The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: A review*, Journal of Coastal Research, 4:351-368.
- Elder H. James, Zucker W. Steven (1988), *Local scale control for edge detection and blur estimation*, IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 20(7):699-716.
- Han Luoheng (1997), *Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algae-laden waters*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63(6):701-705.
- 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, 21(11):2259-2268.
- Wezernak C.T., Turner R.E., Lyzenga D.R. (1996), *Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutants*, NASA Technical Report, CR-2665.

ALLEGATO 1 - Descrizione formale della procedura di calcolo della Riflettanza e della Temperatura di Brillanza al sensore per il Landsat/ETM+ (NASA, 2004).

Fasi della Procedura:

Fase 1 - Conversione dei dati di radianza (o Digital Number) in dati di radianza spettrale al sensore. La formula è la seguente:

$$L_{\lambda} = DN * gain + offs \quad [1]$$

dove:

L_{λ} : è la radianza spettrale al sensore in $W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$ alla lunghezza d'onda ' λ ' (adimensionale).
 DN : Digital Number.
 gain , offs : sono i coefficienti di guadagno e di offset.

Fase 2a - Conversione dei dati di radianza spettrale in dati di riflettanza al sensore (combinazione di riflettanza della superficie terrestre ed atmosferica), assumendo la superficie terrestre lambertiana. La formula è la seguente:

$$R_{\lambda} = (\pi * d^2 * L_{\lambda}) / (ESUN_{\lambda} * \cos \theta_z) \quad [2]$$

dove:

R_{λ} : è la riflettanza al sensore alla lunghezza d'onda ' λ ' (adimensionale).
 d : è la distanza fra sole e terra (espressa in unità astronomiche).
 $ESUN_{\lambda}$: è l'irradianza solare media globale in $W/(m^2 \mu m)$. Irradianza diretta più quella diffusa.
 θ_z : è l'angolo zenitale del sole (in gradi).

Fase 2b - Conversione dei dati di radianza spettrale in dati di temperatura di brillanza al sensore. La formula è la seguente:

$$T(^{\circ}C) = K2 / [\ln (K1 / L_{\lambda} + 1)] - 273,15 \quad [3]$$

dove:

$T(^{\circ}C)$: è la temperatura di brillanza al sensore in ($^{\circ}C$).
 K2 : è la costante 2 di calibrazione della banda termica. $K2 = 1282,71 \text{ } ^{\circ}K$.
 K1 : è la costante 1 di calibrazione della banda termica. $K1 = 666,09 \text{ } W/(m^2 \text{ sr } \mu m)$.
 ln : è il logaritmo naturale.

ALLEGATO 2 – Procedura in pseudocodice per il rilievo e la localizzazione dei bordi delle zone con presenza di vegetazione sommersa (Baschieri et al., 1995).

VS	VS	VS	VS	BVS	AL
VS	VS	VS	BVS	AL	AL
VS	VS	BVS	AL	AL	AL
VS	VS	VS	BVS	AL	AL
VS	VS	VS	VS	BVS	AL

Pixel della vegetazione sommersa (BVS) adiacenti ai pixel di altri tipi di fondale (AL)

	p4	
p3	p0	p1
	p2	

Finestra 3 x 3 usata per il riconoscimento del pixel BVS

IF (p0 EQ VS)

THEN

IF (p1 NE VS) **OR**

(p2 NE VS) **OR**

(p3 NE VS) **OR**

(p4 NE VS)

THEN (p0 EQ BVS)

ENDIF

ELSE (p0 EQ background)

ENDIF