

Il contributo dell'infrarosso termico nel monitoraggio delle aree costiere

Antonello Aiello, Eufemia Tarantino

Politecnico di Bari, Via Orabona 4, 70125 Bari, tel./fax. 0805963417
E-mail: aiello.antonello@gmail.com, e.tarantino@poliba.it

Riassunto

In questo articolo, sono state indagate le potenzialità offerte dalle immagini satellitari nella regione spettrale dell'infrarosso termico, mettendo in atto un insieme di procedure volte a monitorare l'evolversi di alcune evidenze ambientali, come l'immissione delle acque di raffreddamento di impianti industriali, strettamente legate alla temperatura superficiale lungo le coste della Puglia. Le analisi sono state effettuate su due aree di studio a connotazione industriale, con dati a media risoluzione geometrica, sia ad acquisizione singola che multi temporali, provenienti dai sensori LANDSAT e ASTER, utilizzati per osservare la temperatura superficiale dell'acqua marina, al fine di coglierne la variabilità spaziale, obiettivo difficilmente raggiungibile, con risoluzione così elevata, con metodologie in situ. Le informazioni fornite dalle immagini termiche costituiscono uno degli strati informativi in grado di migliorare il monitoraggio della qualità delle acque costiere.

Abstract

In this paper, thermal infrared data potentiality is used in order to monitor some environmental aspects strictly correlated to the SST (Sea Surface Temperature) along the Apulia coastline, such as the industrial cooling water injection and the increase in seawater temperature over time. Thermal infrared images about two Apulian industrial areas, acquired by LANDSAT and ASTER satellite instruments, are used to observe SST and provide insight into its spatial variability, information totally lacking from conventional in situ measurements. The spatial information, clearly mapped in the thermal infrared satellite images, are important to help improve monitoring of general surface near-shore water quality.

Introduzione

Sin dal lancio del primo satellite LANDSAT nel 1972, immagini satellitari ad elevata risoluzione spaziale sono state utilizzate per lo studio dei processi relativi alle acque interne (Rogers et al., 1976; Steissberg et al., 2005). Dati raccolti nell'intervallo visibile dello spettro elettromagnetico sono utilizzati per valutare i cambiamenti di colore e limpidezza delle acque, collegati al trasporto solido o alla quantità di clorofilla (Choubey, 1998; Steissberg et al., 2005); mentre dati acquisiti nella regione dell'infrarosso termico possono essere utilizzati per valutare i cambiamenti della temperatura superficiale delle acque.

Nel 1999 è stato lanciato con successo il satellite LANDSAT 7, dotato del sensore ETM+ (*Enhance Thematic Mapper Plus*), che include una singola banda termica (10.31 – 12.36 μm), con risoluzione spaziale di 60 m ed un NE Δ T (*noise-equivalent temperature difference*) di 0.22 a 280 K (Barsi et al., 2003; Steissberg et al., 2005). Il lancio del LANDSAT 7 ETM+ è stato seguito dal lancio della prima piattaforma EOS (*Earth Observing System*) chiamata Terra, dotata del sensore ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), che include cinque bande spettrali nell'intervallo dell'infrarosso termico, ognuna con risoluzione di 90 m e NE Δ T \leq 0.3 a 280 K (Yamaguchi et al., 1998; Steissberg et al., 2005).

In anni recenti, molta attenzione è stata riservata alla comprensione delle caratteristiche fisiche delle acque costiere e loro variabilità, in particolare come queste influenzano la vita degli organismi marini dal punto di vista biologico, fisiologico ed ecologico (Kaplan et al., 2003).

I cambiamenti di SST possono essere dovuti a fenomeni naturali, come le anomalie termiche dovute al fenomeno di galleggiamento dell'acqua dolce di falda sull'acqua salata. In altri casi sono dovuti a interventi antropici, come nel caso dell'immissione di acque di raffreddamento di impianti industriali, che possono modificare pesantemente gli habitat degli organismi marini, animali e vegetali.

La recente strumentistica montata a bordo delle piattaforme LANDSAT 7 ed EOS Terra consente di sviluppare nuove applicazioni, basate sull'analisi della radianza acquisita dai sensori nella regione dell'infrarosso termico dello spettro elettromagnetico, in grado di fornire risposte ad importanti quesiti scientifici, non ottenibili con la strumentistica meno recente (Steissberg et al., 2005).

Nel presente lavoro, che costituisce il primo tassello di un più ampio studio da condurre in congiunzione con dati a terra, sono state individuate le variazioni della temperatura superficiale dell'acqua marina, in prossimità di due distinte località della costa pugliese (Figura 1), col fine ultimo di valutarne l'evoluzione nel tempo e le conseguenti implicazioni ecologico - ambientali. Tutte le analisi e le elaborazioni sono state effettuate utilizzando il software ITT VIS ENVI 4.5.

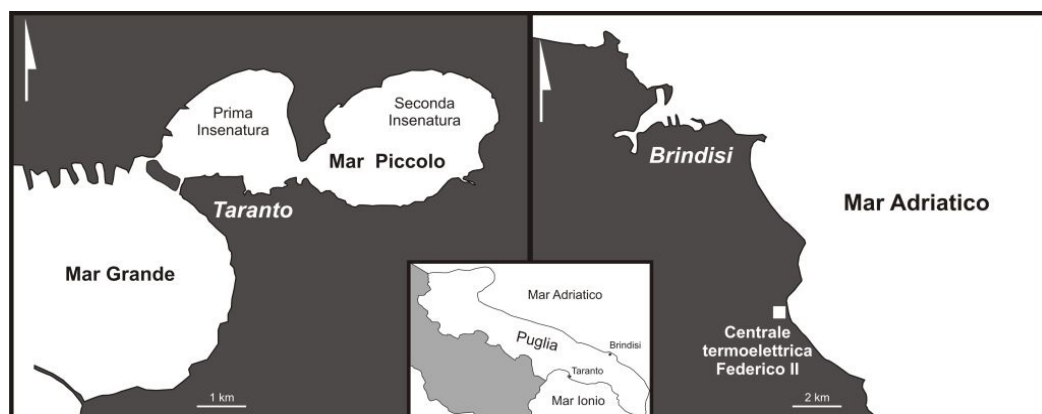


Figura 1 – Le due aree di studio lungo la costa pugliese.

Caso I – Brindisi: dati e metodi

L'area di indagine è la costa a sud di Brindisi, in corrispondenza della centrale termoelettrica a carbone "Federico II": la centrale è situata 12 Km a sud-est del capoluogo, in località Masseria Cerano. Con una potenza pari a 2640 MW, è una delle maggiori centrali elettriche italiane. I problemi ambientali dovuti all'attività della centrale non sono soltanto legati all'inquinamento atmosferico provocato dai fumi di post-combustione del carbone: è stato ampiamente documentato un progressivo degrado del fondale marino in prossimità dello scarico delle acque calde provenienti dai bacini di raffreddamento.

Per cercare di quantificare l'inquinamento termico provocato dalla centrale, si è utilizzato il dato termico a banda singola prodotto dal sensore LANDSAT 7 - ETM+, acquisito il 6 luglio 2001. Inoltre, si è utilizzato il dato pancromatico ad alta risoluzione per rendere più agevole l'individuazione dell'impianto industriale. Tale dato è stato georeferenziato attraverso l'individuazione di punti GCPs (*Ground Control Points*) con coordinate note sull'immagine nel sistema di riferimento UTM 33 – WGS 84. L'immagine georeferenziata è stata correlata al dato termico originario, verificandone la coincidenza della linea di costa.

L'analisi si articola in due fasi, la prima riguardante la calibrazione dei dati e la seconda orientata alla determinazione della temperatura radiometrica.

Al fine di ottenere il valore della radianza a partire dai DN (*Digital Numbers*) dell'immagine, è stata effettuata preliminarmente la calibrazione radiometrica del dato, per ottenere i valori di radianza termica L_{sensor} associata ai pixel (Zhang et al., 2008):

$$L_{sensor} = gain \times DN + offset \quad [1]$$

essendo $gain = (L_{max} - L_{min})/255$; $offset = L_{min}$. Dal metadato che accompagna l'immagine, si ricava $L_{max} = 17.040$, $L_{min} = 0$, e quindi $gain = 0.0668$ e $offset = 0$.

La seconda fase della procedura consiste nel ricavare la temperatura radiometrica T_{sensor} attraverso le costanti di calibrazione K_1 e K_2 valide per il satellite LANDSAT 7:

$$T_{sensor} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sensor}} + 1\right)} \quad [2]$$

Le costanti di calibrazione sono: $K_1 = 666.09 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$; $K_2 = 1282.71 \text{ K}$ (Zhang et al., 2008).

Per rendere più efficaci le precedenti elaborazioni, con l'obiettivo di evidenziare le variazioni della temperatura superficiale del mare, si è scelta la tecnica dello *stretching*, funzione che consente di espandere l'intervallo dei livelli di grigio registrati nell'immagine originale, esaltando le variazioni di grigio. Tra le diverse forme di miglioramento del contrasto, è stata scelta la ri-distribuzione dei livelli di grigio di tipo *lineare* (ri-distribuzione uniforme) *a saturazione* del contrasto: i valori DN_{max} e DN_{min} sono stati scelti in modo da ottenere l'effetto di saturazione di una o entrambe le code dell'istogramma, assegnando valore 0 a tutti i pixel con $DN_{(i)} < DN_{min}$ e valore pari a 255 a tutti i pixel con $DN_{(i)} > DN_{max}$.

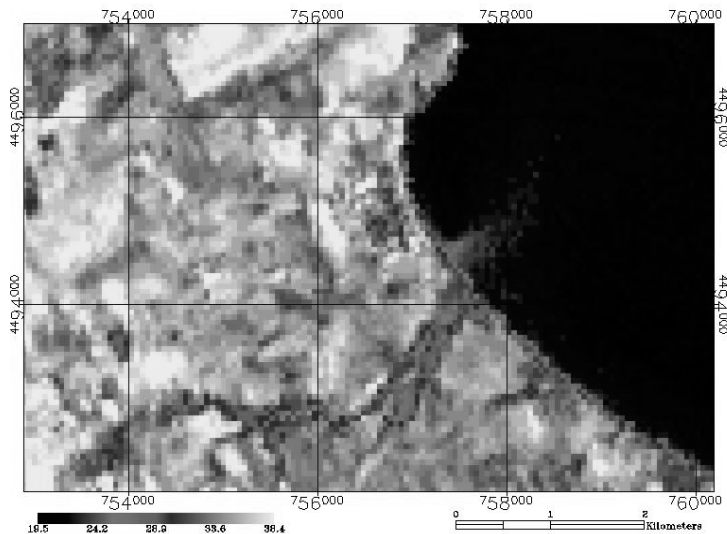


Figura 2 – Variazione della temperatura radiometrica [°C] nell'area della centrale termoelettrica "Federico II" di Brindisi.

Caso II – Taranto: dati e metodi

L'area di indagine (Figura 1) è costituita dai Mar Piccolo e Mar Grande, all'interno del Golfo di Taranto.

Il Mar Piccolo è situato nell'area più a nord della città di Taranto. È un bacino semichiuso, con caratteristiche di laguna, copre un'area di 21 Km², con un volume d'acqua di circa 152 x 10⁶ m³. È costituito da due insenature, chiamate prima e seconda insenatura, con profondità massima rispettivamente di 13 m e 8 m. Segnala problemi di ricambio d'acqua dovuti maggiormente alle moderate variazioni di marea, che non superano i 30 – 40 cm: lo scarso idrodinamismo e il basso scambio di acque con il vicino Mar Grande determina, soprattutto d'estate, un'alta stratificazione della colonna d'acqua. Il bacino del Mar Piccolo è influenzato da urbanizzazione, attività portuali, acquacoltura e pesca commerciale. Si tratta di un ecosistema marino dove i bilanci biologici sono stati modificati a causa dello sviluppo urbano e, soprattutto, a causa di un grande insediamento industriale, che costituisce il più importante impianto di produzione di acciaio in Europa, e a causa di una raffineria di petrolio. I maggiori problemi di impatto ambientale sono dovuti a nove scarichi di acque reflue, agli scarichi industriali, a sversamenti dalle navi e operazioni portuali, al cantiere navale della Marina Militare con i suoi bacini di carenaggio situati nella prima insenatura, alla flotta di pescherecci situata nella prima insenatura, presumibilmente al trasporto atmosferico, e a piccoli fiumi e sorgenti di acque dolci che drenano i circostanti suoli agricoli nel bacino. Lungo la costa occidentale della prima insenatura, è stata collocata una stazione di pompaggio che aspira circa 150000 m³/h d'acqua dal Mar Piccolo per indirizzarli alle acciaierie per il raffreddamento degli altiforni, generando una corrente d'acqua di eguale portata dal Mar Grande. Il Mar Grande è collegato al bacino del Mar Piccolo attraverso due stretti canali, il canale "Navigabile" e il canale "Porta Napoli". Si tratta di un'area a grande attività industriale e navale (Pisoni et al., 2004; Cardellicchio et al., 2007).

Per individuare le variazioni di SST, sono stati utilizzati tre dati di livello L1A acquisiti dal sensore ASTER, montato a bordo della piattaforma EOS Terra, rispettivamente l'11 agosto 2000, il 18 giugno 2006, il 24 agosto 2007.

L'analisi si articola in due fasi, la prima riguardante la calibrazione dei dati e la seconda orientata alla determinazione della temperatura radiometrica.

Al fine di ottenere il valore della radianza a partire dai DN (*Digital Numbers*) dell'immagine, è stata effettuata preliminarmente la calibrazione radiometrica del dato, per ottenere i valori di radianza termica L_{sensor} associata ai pixel:

$$L_{sensor} = gain \times (DN - 1) \quad [3]$$

assegnando i seguenti valori di *gain* per le cinque bande dell'infrarosso termico: $gain(10) = 0.006882$; $gain(11) = 0.006780$; $gain(12) = 0.006590$; $gain(13) = 0.005693$; $gain(14) = 0.005225$ (Zhang et al., 2008).

La seconda fase della procedura consiste nel ricavare la temperatura radiometrica T_{sensor} :

$$T_{sensor} = \frac{c_2}{\lambda_c \ln \left(\frac{c_1}{\lambda_c^5 (L_{sens} + 1)} \right)} \quad [4]$$

dove $c_1 = 1.191 \times 10^8 \text{ Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$, $c_2 = 1.439 \times 10^4 \mu\text{m K}$, λ_c è la lunghezza d'onda in μm (Zhang et al., 2008).

Anche in questo caso, per rendere più efficaci le precedenti elaborazioni, con l'obiettivo di evidenziare le variazioni di SST, si è scelta la tecnica dello *stretching*, con ri-distribuzione dei livelli di grigio di tipo *lineare* (ri-distribuzione uniforme) a saturazione del contrasto.

Risultati e conclusioni

Caso I – Brindisi

In Figura 3 sono indicati i pixel sui quali è stata calcolata la media dei valori di temperatura radiometrica. La temperatura media dei pixel appartenenti alla zona 1 è pari a 20.51 °C; quella dei pixel appartenenti alla zona 2 è pari a 23.25 °C. È importante ricordare che si tratta di temperature radiometriche, ben diverse dalla reale temperatura superficiale, non avendo tenuto conto dell'emissività, della trasmittività e del contributo della radianza atmosferica. Tuttavia, normalizzando per uno dei due valori di riferimento, si possono ottenere degli indici di temperatura. In termini percentuali, si può esprimere l'incremento di temperatura fra le zone 1 e 2 come:

$$\Delta T(\%) = (T_1 - T_2)/T_2 \times 100 = 13.26\% \quad [5]$$

Dunque, è possibile ottenere in maniera semplice e rapida un indice in grado di quantificare l'impatto termico dell'immissione di acqua a diversa temperatura in una zona costiera, consentendo il confronto su ampia scala temporale fra immagini acquisite in momenti diversi.

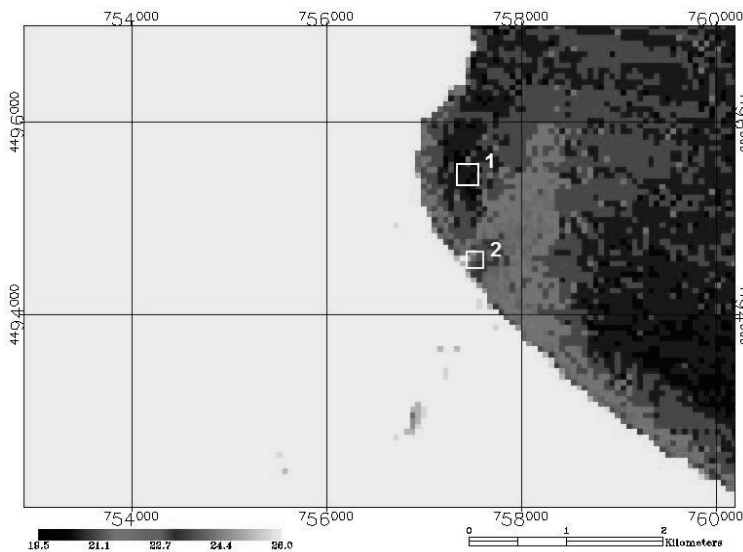


Figura 3 – Individuazione dei pixel interessati dal calcolo della variazione di SST in prossimità della centrale termoelettrica “Federico II” di Brindisi.

Caso II – Taranto

In Figura 4 è rappresentata la variazione di SST nell'area del Golfo di Taranto compresa tra il Mar Piccolo e il Mar Grande, valutata negli anni 2000, 2006 e 2007. L'analisi qualitativa dei tre dati ha fatto risaltare un incremento della temperatura superficiale dell'acqua marina, emerso soprattutto dal dato del 2007. In particolare, è la seconda insenatura del Mar Piccolo ad essere interessata da un più marcato innalzamento di SST, correlabile allo scarso idrodinamismo che la caratterizza.

I risultati ottenuti nelle due aree di prova consentono di affermare che, le analisi condotte su dati satellitari nella regione spettrale dell'infrarosso termico permettono di individuare anomalie termiche, sintomatiche di cambiamenti in atto dovuti ad attività antropiche, potenzialmente dannose per gli habitat degli organismi marini e per il microclima delle aree indagate, sulle quali concentrare

ulteriori fasi di studio. Tali approfondimenti, implementati con l'analisi di dati a terra, garantiranno risultati più dettagliati.

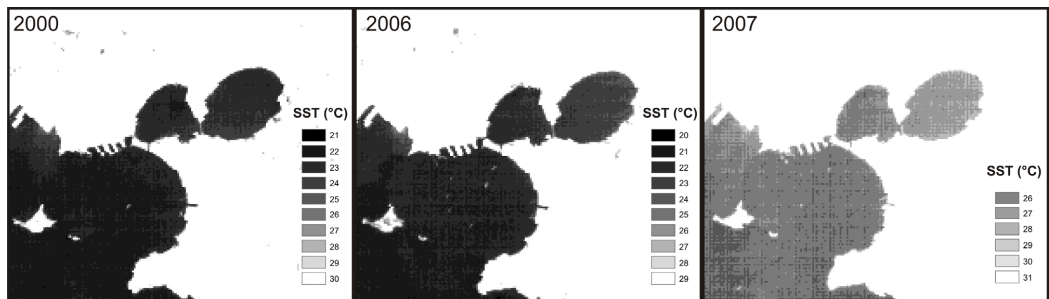


Figura 4 – Variazione di SST sui 3 differenti dati ASTER nell'area compresa fra il Mar Piccolo e il Mar Grande di Taranto.

Ringraziamenti

Gli autori sono grati all'Ing. Carlo Torrente per la preziosa collaborazione.

Riferimenti bibliografici

- Barsi J. A., Schott J. R., Palluconi F. D., Heider D. L., Hook S. J., Markham B. L., et al., (2003), "LANDSAT TM and ETM+ thermal band calibration", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2): 141–153.
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Giandomenico S., Lopez L., Pizzulli F., Spada L., (2007), Organic pollutants (PAHs, PCBs) in sediments from the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Southern Italy), *Marine Pollution Bulletin*, 55: 451–458.
- Choubey V. K., (1998), "Laboratory experiment, field and remotely sensed data analysis for the assessment of suspended solids concentration and Secchi depth of the reservoir surface water", *International Journal of Remote Sensing*, 19(17): 3349– 3360.
- Kaplan D. M., Largier J. L., Navarrete S., Guinez R., Castilla J. C., (2003), "Large diurnal temperature fluctuations in the nearshore water column", *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 57: 385–398.
- Pisoni M., Cogotzi L., Frigeri A., Corsi I., Bonacci S., Iacocca A., et al., (2004), "DNA adducts, benzo(a)pyrene monooxygenase activity, and lysosomal membrane stability in *Mytilus galloprovincialis* from different areas in Taranto coastal waters (Italy)", *Environmental Research*, 96: 163–175.
- Rogers R. H., Shah N. J., McKeon J. B., Smith, V. E., (1976), "Computer mapping of water-quality in Saginaw Bay with LANDSAT digital data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(6): 831.
- Steissberg T. E., Hook S. J., Schladow S.G., (2005), "Characterizing partial upwellings and surface circulation at Lake Tahoe, California–Nevada, USA with thermal infrared images", *Remote Sensing of Environmental*, 99: 2-15.
- Zhang G., Liu J., Fei W., (2008), "Detection of Anomaly Temperature Based on ASTER and ETM+ Thermal Infrared Image", *International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 241-244.
- Yamaguchi Y., Kahle A. B., Kawakami T., Pniel M., (1998), "Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(4): 1062–1071.