

Analisi di mappature termiche di acque costiere e corsi d'acqua ottenute da immagini ASTER

Francesca Despini, Sergio Teggi

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile, Università di Modena e Reggio Emilia

Riassunto

L'importanza dei dati telerilevati nella regione spettrale dell'infrarosso termico (TIR) è nota da molti anni alla comunità scientifica internazionale; i primi dati termici sono stati acquisiti infatti già nel 1963 dai sensori satellitari TIROS 7 e 8. Il sensore ASTER è, al giorno d'oggi, il principale radiometro che acquisisce nella regione del TIR (8.125-11.65 μm) con una risoluzione spaziale di 90 m.

Lo scopo di questo lavoro è l'elaborazione di una metodologia e lo sviluppo di rule set per l'analisi di mappature termiche di corpi idrici ottenute da immagini ASTER. Queste analisi sono mirate al monitoraggio degli scarichi industriali con riferimento ai limiti di legge ad oggi in vigore in Italia (D.Lgs. 152 del 2006).

Come primo caso è stata utilizzata un'immagine della laguna di Venezia comprendente l'area industriale di Porto Marghera. L'immagine è stata inizialmente processata con un algoritmo per il miglioramento della risoluzione spaziale da 90 a 30 metri che utilizza informazioni delle bande del visibile e vicino infrarosso (VNIR) del sensore ASTER.

Nello studio sono stati considerati i fiumi ed i canali, con l'estrazione del profilo di temperatura lungo la linea media, e la variazione spaziale della temperatura nella laguna vicino alla linea di costa. Per ognuno dei punti elencati sopra sono state create e sviluppate procedure specifiche in modo da automatizzare il più possibile il processo di monitoraggio e di migliorare l'interpretazione e la visualizzazione delle immagini analizzate.

Le analisi sono state condotte sia sull'immagine a 90 m che su quella a 30 m (elaborata con l'algoritmo per il miglioramento della risoluzione spaziale). In questo modo è stato possibile testare l'efficacia e la validità dell'algoritmo e di valutare quali e quanti benefici porta la sua applicazione alle immagini. In ognuno dei casi esaminati sono state estratte statistiche e grafici per relazionare i risultati con i limiti di legge in vigore in Italia in modo facile e veloce. Questo studio non si considera concluso: le procedure verranno presto applicate a una serie più ampia di casi di studio considerando anche misure di verità a terra, in modo da verificare l'efficacia e la versatilità delle procedure stesse, e valutare i vantaggi derivanti dall'uso dell'algoritmo per il miglioramento della risoluzione spaziale.

Analysis of temperature maps of water bodies obtained from ASTER TIR images - Abstract

The ASTER sensor is, currently, the main radiometer that acquires information in the Thermal Infrared (TIR) region with a spatial resolution of 90 m. The purpose of this work is to develop a working methodology for the analysis of water temperature obtained from ASTER images. Images were initially processed with an algorithm that improves spatial resolution from 90 m to 30 m using information drawn from the Visible-Near infrared (VNIR) ASTER bands. Then data were analyzed and classified with an object-oriented approach. Specific procedures were developed in order to automate the monitoring process and to better interpret and display water temperature of the analyzed images. The studies were performed both on images at 90 m and at 30 m (computed with the algorithm for improving the spatial resolution). In this way it was possible to test the

effectiveness and validity of the algorithm. For example, watercourses in the image at 90 m were barely visible while in the image at 30 m can be easily analyzed.

This study is not concluded: the procedures will be soon applied to a wider range of case studies. Thus it will be possible to verify the versatility of the procedures themselves, and the advantages from the use of the algorithm for improving the spatial resolution.

1 Introduzione

Aumenti localizzati di temperatura in corpi idrici superficiali, come laghi, fiumi e mari, possono avere importanti effetti negativi sull'ecosistema del corpo idrico stesso. L'inquinamento termico delle acque ha infatti un doppio effetto, essendo in grado di influenzare la vita in un corpo idrico sia direttamente, variandone la temperatura, sia indirettamente andando ad influire su una serie di parametri, tra cui densità dell'acqua, salinità, grado di ossigenazione, che a loro volta si ripercuotono sull'ecosistema esistente.

Il telerilevamento satellitare o da aereo rappresenta uno strumento molto valido per la mappatura termica delle acque costiere (mari, laghi) e fluviali. Numerosi sensori acquisiscono infatti informazioni nelle bande dell'infrarosso termico permettendo di ricavare la temperatura della superficie. I sensori satellitari ad oggi operanti sono il MODIS, con 16 bande nel TIR con risoluzione spaziale di 1 km, AVHRR, con 2 bande nel TIR a 1 km, ATSR, con 3 bande nel TIR a 1 km e ASTER, con 5 bande nel TIR a 90m.

Il fattore limitante principale di questi sensori è la risoluzione spaziale. Infatti se la risoluzione spaziale è superiore ai 100m i sensori non sono utilizzabili per l'individuazione e la caratterizzazione di plume termici dovuti ad attività antropiche in zone costiere o lungo tratti fluviali. Per quanto riguarda i sensori con risoluzioni spaziali inferiori ai 100m, in letteratura sono reperibili diverse applicazioni e casi di studio [Kay et al., 2005],[Ritchie et al., 2003], [Wu et al., 2007].

Al giorno d'oggi quindi il sensore satellitare con la migliore risoluzione spaziale è il sensore ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) alloggiato sul satellite polare Terra. Questo sensore possiede 14 bande spettrali, di cui 5 nel TIR e 9 nel VNIR. La risoluzione spaziale della bande VNIR varia fra 15 m e 30 m, mentre nel TIR, come già detto, è di 90 m [NASA, 2004].

L'utilizzo di immagini ASTER porta notevoli vantaggi in senso economico visto il basso costo dei dati, ma non consente comunque una mappatura dettagliata delle zone costiere e dei corpi idrici superficiali poiché la risoluzione rimane ancora troppo bassa. È stato quindi sviluppato all'interno della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Modena un algoritmo per il miglioramento della risoluzione fino a 30 m tramite l'utilizzo di informazioni dalle bande del VNIR di ASTER [Teggi, In press].

Lo scopo principale del lavoro è una mappatura termica dettagliata dei plume di temperatura e dei canali, per il monitoraggio degli scarichi industriali in modo da verificare il rispetto dei limiti posti dalla normativa italiana (D.Lgs. 152 del 2006, Allegato 5 parte terza).

Un altro obiettivo è testare l'efficacia e la validità dell'algoritmo applicato alle immagini.

2 Metodologia

2.1 Data set

In Figura 1 si riporta la prima immagine analizzata, acquisita il 5 settembre 2007 dal sensore ASTER, comprendente una parte della laguna di Venezia e l'area industriale di Porto Marghera. Questa immagine ha permesso di studiare sia i plume di temperatura sia i canali, rappresentando quindi un buon punto di partenza per l'analisi dell'inquinamento termico ma anche della validità dell'algoritmo. Al Magistrato delle Acque di Venezia sono inoltre stati richiesti i dati in temperatura misurati dalle dieci stazioni fisse presenti all'interno della Laguna in modo da utilizzarli come dati di verità a terra e confrontarli con i risultati ottenuti da satellite. Questi dati verranno forniti nei prossimi mesi.

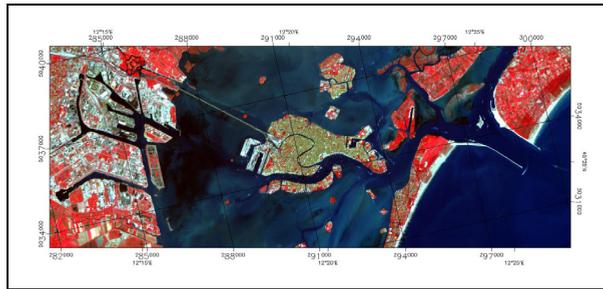


Figura 1 – Immagine ASTER in composizione a falsi colori con risoluzione di 15 metri.

2.3 Pre-processamento delle immagini

L'immagine è stata inizialmente elaborata tramite un algoritmo per il miglioramento della risoluzione spaziale. Questo algoritmo è stato sviluppato partendo dall'algoritmo TsHARP proposto da Agam et al.[2007], ed applicabile ai suoli. L'algoritmo da noi sviluppato invece vuole migliorare la risoluzione spaziale nelle bande dell'infrarosso termico dei pixel costieri (mixed pixel).

Per questo miglioramento vengono sfruttate informazioni sul tipo di copertura della superficie e sullo stato della vegetazione estratte dalle immagini ASTER acquisite nel VIS-NIR e con risoluzione spaziale variabile fra 15 m e 30 m. Un pixel TIR viene definito *costiero* se i sotto-pixel con dimensione di 30 m che lo compongono sono in parte su acqua e in parte su terra ferma. L'algoritmo è basato principalmente su due ipotesi:

- Hp1: vi è di un buon grado di correlazione fra la radianza emessa nel TIR dai pixel dell'immagine con un set di variabili ricavabili dalle immagini ASTER acquisite alle risoluzioni spaziali di 15 m o di 30 m.
- Hp2: la correlazione ipotizzata in Hp1 è invariante rispetto a piccoli cambiamenti di scala, come ad esempio per il rapporto 3:1 (90 m : 30 m).

Questo algoritmo è ancora in fase sperimentale e la fase più critica, sulla quale si sta maggiormente concentrando l'attività di sviluppo è quella della verifica dei risultati. La spiegazione dettagliata dell'algoritmo, che include anche la validazione dei risultati, esula dagli scopi di questo lavoro e può essere reperita nel lavoro di Teggi [In Press].

2.3 Elaborazioni

Le metodologie individuate per l'elaborazione delle mappe in temperatura sono basate sui software Definiens Developer 7.0 ed ENVI 4.4. Lo scopo di questo studio è l'individuazione di procedure (rule set) per l'analisi dei campi di temperatura delle acque con particolare riferimento agli aspetti normativi, e per valutare l'algoritmo utilizzato. Gli elementi oggetto di studio sono stati tre:

- I plume di termici nella zona costiera;
- I corsi d'acqua, in particolare l'andamento lungo il corso d'acqua della temperatura media delle varie sezioni trasversali;
- La costa, in particolare l'andamento della temperatura lungo una linea ad una certa distanza dalla costa.

Lo studio dei plume termici è stato effettuato sia sulla mappatura a 30 m (elaborata con l'algoritmo) che su quella a 90 m in modo da fare un confronto. I campi di temperatura nell'immagine a 90 m si sono rivelati inadeguati negli altri due casi.

2.3.1 Plume di temperatura

Per osservare l'andamento della temperatura dei corpi idrici in tutta l'area presa in considerazione l'immagine è stata segmentata e classificata in temperatura tramite il software Definiens Developer 7.0. Questa procedura è stata ripetuta per entrambe le risoluzioni spaziali, 30 e 90 m in modo da

mettere in evidenza le differenze e i vantaggi nell'utilizzo dell'algoritmo. Le immagini classificate sono mostrate in Figura 2 e 3.

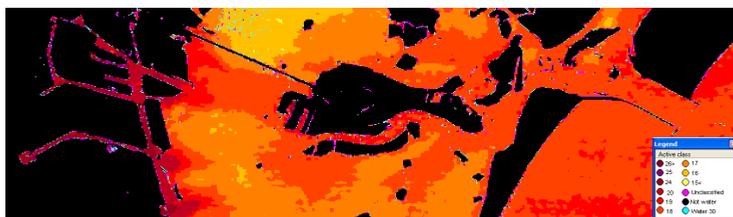


Figura 2 – Classificazione dei plume di temperatura nell'immagine a 30 m.

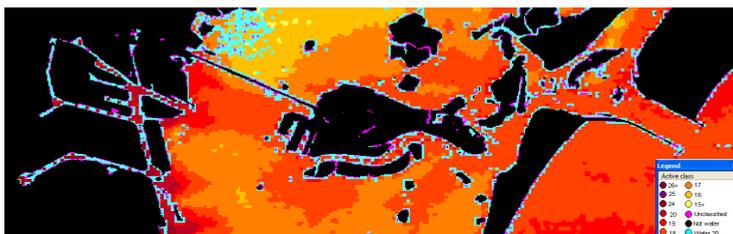


Figura 3 – Classificazione dei plume di temperatura nell'immagine a 90 m.

In Tabella 1 si riportano invece le aree in km² delle classi principali individuate. Da sottolineare la classe “Water 30” che contiene quei pixel e quegli oggetti che nell'immagine con risoluzione spaziale di 90m verrebbero classificati come suolo mentre nell'immagine a 30m sono classificati come acqua. In Figura 3 questi oggetti sono evidenziati in colore Ciano e si veda come lungo la costa l'applicazione dell'algoritmo effettivamente consenta un miglioramento nella classificazione dell'immagine.

Class	Area (km ²)	
	30 m	90 m
Water	78.5835	78.5835
Water 30	0	8.9496
Not water	52.1694	52.1739
Unclassified	5.3721	5.3676
Total	136.125	136.125

Tabella 1 – Aree in km² delle classi principali individuate sull'immagine.

2.3.2 Studio di fiumi e canali

La normativa italiana prevede lo studio della temperatura su sezioni normali all'asse del canale analizzato. Per questo nello studio di fiumi e canali l'immagine è stata segmentata e classificata come mostrato in Figura 4 in sezioni di larghezza pari ad un pixel, quindi 30 metri.

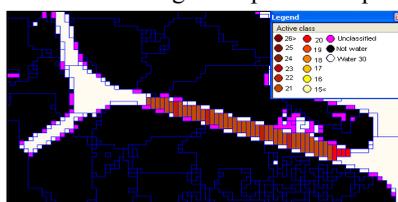


Figura 4 – Segmentazione e classificazione di un canale di Porto Marghera.

È stata in questo modo possibile l'estrazione del profilo di temperatura lungo il canale (Figura 5) e di alcuni parametri statistici (Tabella 2) sempre calcolati nelle sezioni. Si noti dalla Tabella 2 come il valore massimo di temperatura nelle sezioni sia di gran lunga inferiore al limite di legge di 30°C.

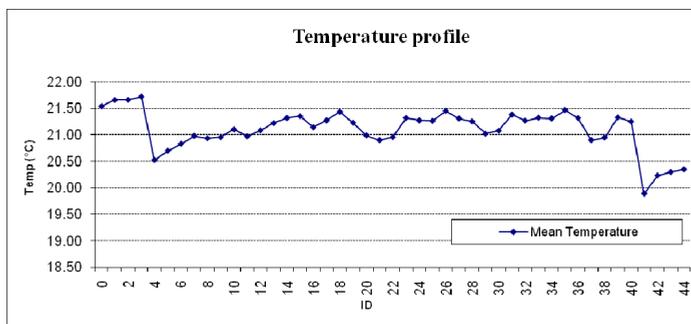


Figura 5 – Profilo di temperatura lungo l'asse del tratto analizzato.

Sum Mean Temp (°C)	Mean Mean Temp (°C)	Std. Dev. Mean Temp (°C)	Min Mean Temp (°C)	Max Mean Temp (°C)
1899.35	21.10	0.38	19.89	21.72

Tabella 2 – Parametri statistici calcolati sull'asse del canale.

2.3.3 Linea a 50 m dalla costa

Per verificare il rispetto dei limiti di legge negli scarichi lungo la costa è stata creata una linea a 50 m dalla costa su cui calcolare l'andamento della temperatura. Per gli scarichi in mare in realtà la linea dovrebbe essere posta a 1000 m, mentre per i laghi a 50 m. Poiché la Laguna di Venezia è abbastanza chiusa è stato mantenuto il limite vigente per i laghi in modo da essere più restrittivi e agire quindi in sicurezza. In Figura 6 si riporta la linea segmentata e classificata.



Figura 6 – Immagine segmentata e classificata e particolare della linea a 50 m dalla costa analizzata.

In Tabella 3 e in Figura 7 si riportano rispettivamente i parametri statistici calcolati sulla linea e l'andamento della temperatura lungo la linea. Importante è il valore riportato nell'ultima colonna della Tabella 3: la differenza tra i valori di massimo e minimo trovati sulla linea. Per legge infatti questo valore dovrebbe essere inferiore ai 3°C e si vede che nel nostro caso si mostra leggermente superiore. In realtà si stanno considerando i limiti di legge fissati per i laghi, non per il mare. Quindi si può affermare che nel tratto di linea considerato i limiti vengano rispettati.

Sum Mean Temp (°C)	Mean Mean Temp (°C)	Std. Dev. Mean Temp (°C)	Min Mean Temp (°C)	Max Mean Temp (°C)	Max- Min Temp (°C)
4252.02	18.98224	0.78	17.23	20.49	3.26

Tabella 3 – Parametri statistici calcolati lungo la linea analizzata.

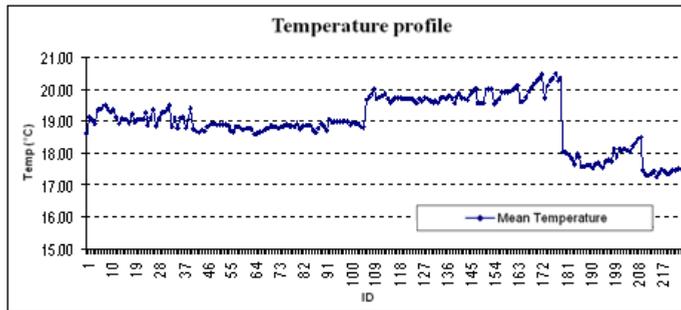


Figura 7 – Profilo di temperatura lungo la linea a 50 m dalla costa.

3 Conclusioni e sviluppi futuri

Le procedure individuate si sono dimostrate utili per la verifica del rispetto dei limiti di legge e per testare l'efficacia e la validità dell'algoritmo. Questo si è rivelato particolarmente importante soprattutto nello studio dei fiumi e dei canali, che nell'immagine a 90 m non erano nemmeno visibili.

Con queste mappe di temperatura e l'estrazione dei parametri statistici possono essere quindi facilmente individuati e monitorati scarichi industriali.

L'aspetto critico più evidente e immediato è la mancanza di dati di verità a terra. Come già affermato precedentemente i dati sono stati richiesti e dovrebbero arrivare nei prossimi mesi in modo da poter procedere ad un confronto e ad una validazione del dato satellitare. Queste procedure verranno presto applicate ad una serie più ampia di casi di studio: la prima futura applicazione riguarderà il Delta del Po in modo da valutare l'efficacia dell'algoritmo nell'analisi di fiumi di varia larghezza [Cherkauer et al., 2005].

4 Bibliografia

- N. Agam, W. P. Kustas, M.C. Anderson, F. Li and C.M.U. Neale. *A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery*. Remote Sensing of Environment, 107(4):545-558, 2007.
- K. A. Cherkauer, S. J. Burges, R. N. Handcock, J. E. Kay, S. K. Kampf, and A. R. Gillespie. *Assessing satellite-based and aircraft-based thermal infrared remote sensing for monitoring pacific northwest river temperature*. Journal of the American Water Resources Association, 41(5):1149-1159, 2005.
- J. E. Kay, S. K. Kampf, R. N. Handcock, K. A. Cherkauer, A. R. Gillespie, and S. J. Burges. *Accuracy of lake and stream temperatures estimated from thermal infrared images*. Journal of the American Water Resources Association, 41(5):1161-1175, 2005.
- J. C. Ritchie, P. V. Zimba, and J. H. Everitt. *Remote sensing techniques to assess water quality*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(6):695-704, 2003.
- NASA (2004). *ASTER (Advanced Spaceborne Thermal emission and Reflection Radiometer)*. URL:<http://asterweb.jpl.nasa.gov>, last visited 01/09/10, 2004.
- S. Teggi. *Temperature of coastal waters and of watercourses from ASTER images*. Italian Journal of Remote Sensing, In Press.
- C. Wu, Q. Wang, Z. Yang, and W. Wang. *Monitoring heated water pollution of the dayawan nuclear power plant using tm images*. International Journal of Remote Sensing, 28(5): 885-890, 2007.