

STUDI SUL DATO TERMICO ASTER PER APPLICAZIONI AMBIENTALI E TERRITORIALI

Francesco IMMORDINO (*), Michaela DE GIGLIO (**), Alessandro CAPRA (***), Maria Giuseppa ANGELINI (****)

(*) ENEA Bologna, Via Martiri di Monte Sole 4 – 40129 Bologna, immo@bologna.enea.it

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

(***) DIMeC, Università degli Studi di Modena e Reggio, via Vignolese, 905 – 41100 Modena, capra.alessandro@unimore.it

(****) DIASS, Politecnico di Bari, V.le del Turismo, 8 – 74100 Taranto, mg.angelini@poliba.it

Riassunto

La disponibilità di cinque bande termiche (comprese complessivamente tra $8.29\mu\text{m}$ e $11.31\mu\text{m}$) del dato multispettrale ASTER, consente di svolgere indagini di tipo ambientale e territoriale finalizzate alla discriminazione di aree a diversa temperatura. Lo studio in corso si propone di testare immagini satellitari a diverso livello di processamento (Aster L1A e L1B) mediante l'applicazione di algoritmi basati sulle leggi e i principi della termodinamica. La successiva fase di verifica richiede quindi il confronto tra le diverse risposte delle procedure utilizzate, oltre alla valutazione dell'attendibilità delle temperature ottenute rispetto a quelle misurate a terra. Le aree di studio analizzate coprono rispettivamente la zona umida delle Valli di Comacchio, situata lungo la costa emiliano-romagnola, e l'area costiera in prossimità della città di Taranto (Capo S.Vito).

Abstract

The availability by the ASTER multispectral sensor of five thermal channels (ranging between 8.29 and $11.31 \mu\text{m}$), allows to carry out several surface investigations such as environmental and land studies basically devoted to the knowledge and interpretation of some thermal phenomena (temperature or anomaly-related). This study is trying to address the potential of satellite data (at the processing levels L1A and L1B) through the use of algorithms based on the main thermodynamical laws and basics. The validation of results obtained needs the comparison between results provided by the set of data and procedures besides and temperature as recorded during ground surveys within the investigated area. Test areas for our purposes are different as localization and surface type: the wetland area "Valli di Comacchio", Emilia Romagna and the coastal zone close to the city of Taranto, Puglia.

Introduzione

Le interpretazioni dei dati termici rappresentano un valido supporto in molte applicazioni ambientali e territoriali, come il monitoraggio di fenomeni in atto (inquinamento costiero, individuazioni di discariche e aree degradate), indagini geologico-minerarie, studi di evapotraspirazione da vegetazione, caratterizzazioni di "input" termici in acque fluviali e marine, ecc. Le maggiori applicazioni si concentrano, comunque, nel campo geologico e di mappatura dei suoli. Il sensore ASTER, con le sue cinque bande termiche, è un interessante strumento nel controllo di tali fenomeni sul territorio.

Le procedure di estrazione dei dati di temperatura, dai *Digital Number* dei pixel che compongono l'immagine (Lillesand e Kiefer, 2004; Aster User Handbook, 2002; Gupta, 1991), comportano una serie di *processing* per l'estrazione di radianza ed emissività, che permettono successivamente di calcolare i valori di temperatura. Gran parte degli algoritmi usati in questo tipo di indagine

richiamano la formula di Planck, mediante la quale è possibile determinare la radianza emessa da un corpo. In questo lavoro sono descritte e applicate le procedure presenti nei software di *image processing*, in particolare ENVI 4.1, e i dati ottenuti sono stati confrontati con quelli reali rilevati in situ. Infine sono state mappate le distribuzioni areali della temperatura media superficiale delle coperture presenti.

Area di studio

L'analisi mediante bande termiche è stata realizzata in ambiente costiero, interessando due aree fisicamente diverse e distanti: le Valli di Comacchio (Ra) a nord e la zona circostante la città di Talsano (Ta) a sud (Fig.1). La scelta di tali zone risiede nel particolare utilizzo del territorio, rappresentato nel primo caso da un'intensa attività di acquicoltura, soprattutto di anguilla, e nel secondo dalla vicinanza di un grosso polo siderurgico, ritenuto uno dei principali siti inquinanti di interesse nazionale.

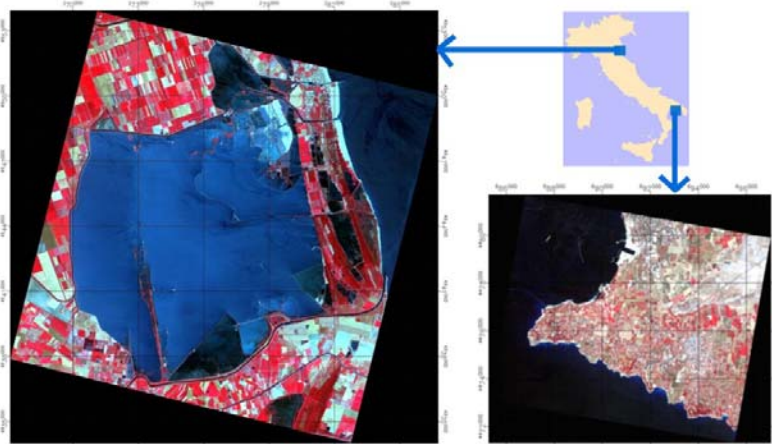


Figura 1 – Inquadramento delle due aree di studio: Valli di Comacchio (Ra), a sinistra, e Capo S. Vito (Ta), a destra.

Situate a sud del Delta padano, comprese nelle province di Ferrara e Ravenna, le valli di Comacchio sono costituite da corpi idrici costieri (lagune costiere salmastre, laghi costieri, valli salmastre, saline, prati barenicoli) in cui le acque dolci continentali si mescolano con quelle salate marine. Di conseguenza la salinità varia nel corso dell'anno da un bacino all'altro, e talvolta anche nell'ambito di uno stesso bacino, sia per motivi meteo-climatici (evaporazione e precipitazione)

sia per il regime idraulico che viene utilizzato nei singoli casi. Le profondità delle Valli sono variabili nell'intorno dei 60 cm, con massimi di 1,5-2 m, mentre i fondali sono per lo più costituiti da argille, limi e materiali bioclastici, più raramente da sabbie.

La seconda area di studio, invece, occupa la porzione centro orientale dell'arco ionico-tarantino ed è costituita da una vasta depressione tettonica, che definisce il prolungamento sud orientale dell'Avanfossa Bradanica. Posta tra le coltri alloctone dell'Appennino Meridionale ad ovest e l'Avampaese Apulo ad est, è costituita dal tavolato calcareo murgiano [CNR, 1987]. Il settore di piana costiera, dove è presente la città di Taranto, è interessato da diversi insediamenti industriali, tra i quali il più importante polo siderurgico dell'Italia meridionale, classificato come Sito Inquinato di Interesse Nazionale.

Cenni sull'energia radiante della Terra

La regione elettromagnetica compresa tra 3-35 μm è comunemente chiamata *infrarosso medio* o *termico*, perché al suo interno la radiazione emessa dalla superficie terrestre è maggiormente legata allo stato termico e meno alla radiazione solare riflessa. In realtà, dato che la porzione di spettro utile è limitata dall'intensità della radiazione emessa e dalle finestre atmosferiche, si ritiene efficace solo il range 8-14 μm .

La quantità di energia emessa dalla Terra è funzione della temperatura della superficie e dell'emissività (ϵ). La prima, detta anche temperatura cinetica, dipende a sua volta da due fattori principali: il bilancio termico e le proprietà termiche del materiale. Il bilancio termico è legato al trasferimento di energia da corpi freddi a corpi caldi mediante radiazione, conduzione e convezione, che provoca una variazione nella temperatura cinetica dei materiali coinvolti. Tra i fattori che

regolano questo fenomeno si ricordano: il riscaldamento solare, la radiazione emessa dalla superficie terrestre e quella emessa dall'atmosfera, scambi di energia tra superficie terrestre e atmosfera che coinvolgono il calore latente, sorgenti di calore. Infine, le proprietà termiche dei materiali sono la conducibilità termica, il calore specifico, la densità, la capacità termica, la diffusività termica e l'inerzia termica.

L'emissività invece è una proprietà del materiale che controlla il flusso di energia radiante, dipende dalla composizione e dalla geometria della superficie, dalla lunghezza d'onda ed è strettamente legato alla riflettanza o al colore. Per un corpo nero, definito come un corpo ideale che assorbe tutta l'energia incidente senza rifletterla, ϵ è pari a 1 mentre per i materiali naturali è compresa tra 0.7-0.98. Pertanto, a parità di temperatura superficiale il corpo nero emette maggiore radiazione rispetto a un corpo naturale.

Nel termico, la radiazione emessa dall'oggetto al suolo viene misurata per stimare la sua temperatura. Max Planck ha sviluppato una legge che esprime la distribuzione spettrale della radiazione del corpo nero avente una particolare temperatura T:

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right) \quad (1)$$

dove:

W_{λ} = radianza spettrale (W/ sr m²)

h = costante di Planck ($6.62 \cdot 10^{-34}$ Js);

c = velocità della luce (299792,458 Km/s);

k = costante di Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K);

λ = lunghezza d'onda considerata (m);

T = temperatura del corpo nero

Un corpo grigio ha un'emissività minore di 1, ma costante su tutte le lunghezze d'onda: un corpo naturale però non è neanche un corpo grigio. Tuttavia, per un oggetto naturale la maggior parte delle equazioni utilizzate per il calcolo della radianza prevedono un fattore moltiplicativo pari all'emissività.

Infatti, in riferimento alla (1):

$$(W_{\lambda})_{\text{oggetto}} = (\epsilon_{\lambda})_{\text{oggetto}} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right) \quad (2)$$

Dati disponibili

Le quattro immagini ASTER utilizzate sono: Level-1A e Level-1B del 01/07/2004 per la zona delle Valli di Comacchio, Level-1B acquisite nei periodi 10/08/2000 e 29/08/2005 per l'area a sud di Taranto, acquistate direttamente dall'USGS EROS Data Center (EDC).

Per verificare l'attendibilità dei risultati si fa riferimento, per i primi due dati, alla relazione dell'ARPA di Ferrara circa il Monitoraggio Integrato delle Valli di Comacchio - Anno 2004. Il programma ARPA ha previsto una serie di campionamenti dell'acqua superficiale e del sedimento, in ciascuna delle quattro stazioni fisse ubicate nelle Valli di Magnavacca (Fig. 2), con frequenza mensile per gran parte dell'anno e quindicinale per il periodo estivo. Tra i parametri chimico-fisici misurati vi sono la temperatura, a livello della superficie e del fondo, pH, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, trasparenza mediante disco di Secchi, ecc. In considerazione della modesta profondità delle acque vallive non sono state registrate sensibili differenze tra acqua di fondo e acqua di superficie.

Per le altre immagini si ricorre ai valori di temperatura asciutta misurati presso l'Osservatorio Meteorologico Ferrajolo di Talsano (Ta), (Fig. 3).



	TEMPERATURE							
	STAZIONE 2		STAZIONE 4		STAZIONE 5		STAZIONE 6	
	°C	K	°C	K	°C	K	°C	K
07/06/04	23.4	298.55	24.3	293.45	23.1	296.25	23.7	296.85
29/06/04	27.4	300.55	27.3	300.45	27.2	300.35	27.1	300.25
14/07/04	24.3	297.45	24.2	297.35	22.8	295.95	22.8	295.95

Figura 2: Valori delle temperature registrate nelle stazioni di campionamento ARPA ubicate nelle Valli di Comacchio (schema a sinistra).



ORA	TEMPERATURE			
	11-08-2000		29-08-2005	
	°C	°K	°C	°K
8	26.2	299.35	26.2	299.35
10	28.6	301.75	27.0	300.15
14	33.4	306.55	28.6	301.75
19	28.0	301.15	24.0	297.15

Figura 3: Valori delle temperature registrate presso l'Osservatorio Meteorologico Ferrajolo di Talsano (Ta), indicato nell'immagine a sinistra. Le temperature alle ore 10 sono state determinate per interpolazione lineare.

Metodologia e risultati

La temperatura radiante di un corpo reale è definita come la temperatura equivalente che avrebbe un corpo nero che emette la stessa quantità di radiazione dell'oggetto osservato, e come già detto dipende dalla temperatura cinetica e dall'emissività. A parità di temperatura cinetica, la temperatura radiante di un corpo naturale è inferiore rispetto a quella del corpo nero.

Invertendo la formula di Planck (1) è possibile ottenere la temperatura T in funzione della lunghezza d'onda:

$$T = \frac{c_2 / \lambda}{\ln \left(\frac{c_1}{W_\lambda \lambda^5} + 1 \right)} \text{°K} \quad (3)$$

dove: $c_1 = hc/k$ e $c_2 = 2\pi hc^2$

Valori della Temperatura (°C) dei pixels					
PIXEL	T10	T11	T12	T13	T14
1	23.90	27.46	29.41	31.95	30.49
2	24.40	28.08	29.70	31.91	30.34
3	24.67	28.67	30.45	32.78	30.90
4	23.33	27.20	28.90	31.33	29.78
5	23.17	28.83	28.64	30.70	29.48
6	24.59	28.41	29.91	31.87	30.49
7	25.54	29.54	31.41	33.76	31.97
8	25.43	29.18	31.13	33.40	31.75
9	24.93	28.60	30.16	32.31	30.75

Tabella 1 – Valori calcolati della T (°C) in funzione della lunghezza d'onda per una matrice campione 3x3 per l'immagine del 11-08-2000 (Capo S. Vito- Ta).

Per le immagini di Capo S. Vito (Ta), la (3) è stata applicata ad ognuna delle cinque bande del TIR, ottenendo così delle mappe in termini di temperatura apparente. In particolare, in prima battuta, si è proceduto ad una taratura della (3) considerando una matrice 3x3 di pixel omogenei (Tab.1) in prossimità dell'Osservatorio Meteorologico Ferrajolo di Talsano (Ta), presso cui sono stati recuperati i dati a terra.

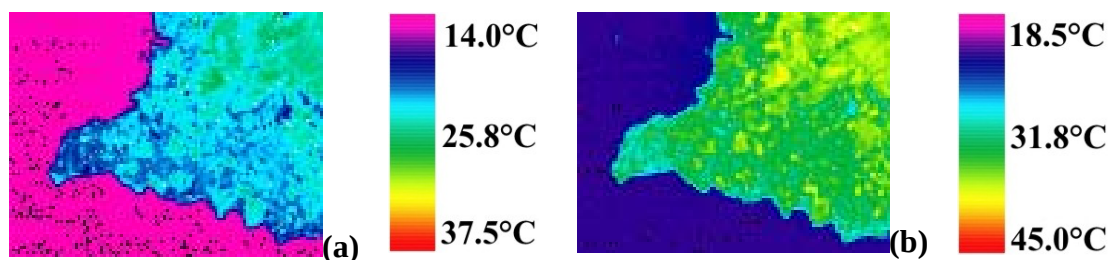


Figura 4 – (a) Mappa termica della banda 10 visualizzata in termini di density slice;
(b) Mappa termica della banda 14 visualizzata in termini di density slice per
l'immagine L1B del 11-08-2000 (Capo S.Vito-Ta).

Come si evince dai risultati ottenuti (Fig.4), il salto termico massimo che si riscontra nel passaggio dalla banda 10 alla banda 14, per uno stesso pixel, è dell'ordine di 5 °C. Sicuramente tale risultato è enfatizzato dall'ipotesi semplicistica su cui è stata basata l'analisi, ossia l'aver assunto l'insieme degli oggetti come un unico corpo nero.

Per le immagini relative alle Valli di Comacchio invece si è considerato il corpo monitorato come un corpo grigio, prevedendo quindi il calcolo dell'emissività. Sono state seguite due strade, una automatica e l'altra semiautomatica. Per la prima è stato utilizzato uno dei tre metodi, previsti dal software ENVI, in grado separare le informazioni relative all'emissività da quelle della temperatura cinetica, deducendole dalla radianza misurata dal sensore termico: *Emissivity Normalization*. Tale algoritmo calcola la temperatura per ciascun pixel e banda usando un valore di emissività fissato a priori (0.98): la maggiore tra queste, per ogni pixel, viene usata poi per il calcolo dell'emissività mediante la formula di Planck (Fig.5-b). La scelta risiede nel fatto che è la medesima tecnica con cui il *Jet Propulsion Laboratory* (Pasadena, CA) realizza un prodotto, di livello superiore al normale processamento L1A e L1B, nel quale riporta la temperatura superficiale.

L'altra strada percorsa ha previsto la determinazione dell'emissività, mediante lo stesso algoritmo, e il successivo calcolo della temperatura, scegliendo un valore di ϵ medio nell'intorno delle stazioni di campionamento:

$$T = \frac{c_2 / \lambda}{\ln \left(\frac{\epsilon_\lambda c_1}{W_\lambda \lambda^5} + 1 \right)} \text{ } ^\circ K \quad (4)$$

Entrambe le procedure sono state applicate sia al dato L1A (Fig. 5) che al dato L1B (Fig.6).

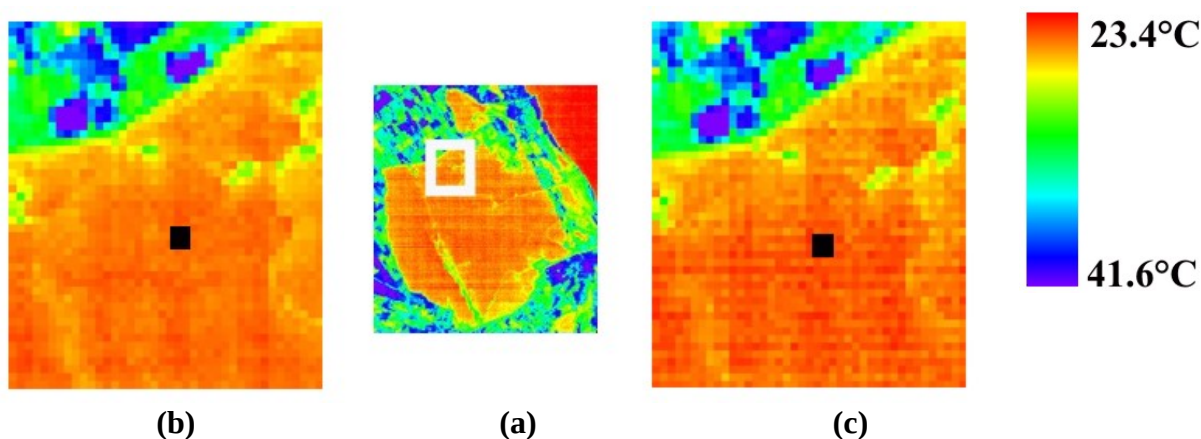


Figura 5 - Mappa della temperatura del dettaglio della stazione 4, indicato dall'immagine a, realizzato con i due metodi previsti: *Emissivity Normalization* (b) e procedura semiautomatica (c). Immagine L1A del 01/07/2004, Valli di Comacchio (Ra).

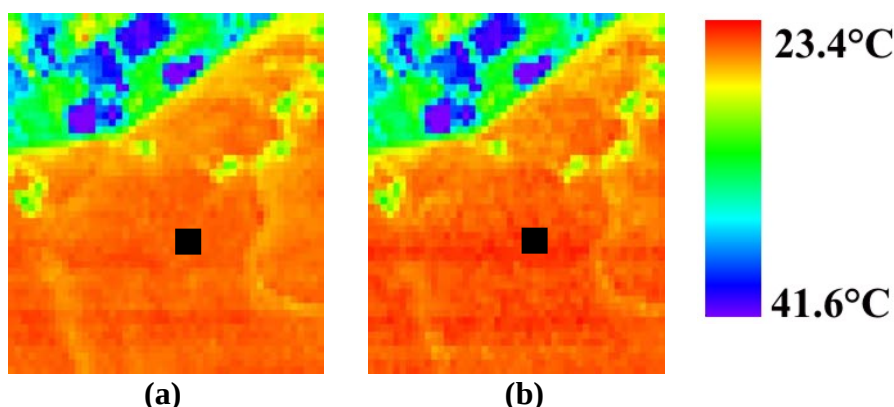


Figura 6 - Mappa della temperatura del dettaglio di figura 5 realizzato con i due metodi previsti: Emissivity Normalization (a) e procedura semiautomatica (b). Immagine L1B del 01/07/2004, Valli di Comacchio (Ra).

Si ricorda che il Level 1B si ottiene dalla correzione geometrica e radiometrica del Level 1A. Con entrambi i metodi, sia per L1A e L1B, si sono ottenuti dei valori attendibili di temperatura con un'accuratezza di $\pm 1-1.5^{\circ}\text{C}$ (Gillespie et al., 1998). Di seguito si riportano i valori di temperatura medi ottenuti nell'intorno della stazione 4 (Tab.2), in corrispondenza della quale è stata rilevata una temperatura di 27.3°C in data 29/06/2004.

TEMPERATURE $^{\circ}\text{C}$		
	<u>Emissivity N.</u>	<u>P. semiautomatica</u>
L1A	25.4	25.9
L1B	26.1	26.3

Tabella 2 – Valori delle temperature ottenute, nell'intorno della stazione 4.

Per giustificare eventuali differenze superiori all'errore previsto, si sottolinea che l'acquisizione dell'immagine è avvenuta dopo due giorni, cioè il 01/07/2004.

Considerazioni finali

Le procedure matematiche di estrazione dei valori di temperatura mostrano valori molto simili fra loro, le uniche differenze si riscontrano tra i valori sulle cinque bande termiche di ASTER che presentano uno scarto di circa 5°C fra la TIR_10 e la TIR_14, legate essenzialmente all'emissività che varia in funzione della lunghezza d'onda. I risultati, che si possono considerare compatibili con quelli delle indagini in situ, sono stati riportati su carte tematiche.

Lo studio è ancora in atto ed è rivolto soprattutto, con il supporto di ulteriori software capaci di processare i dati termici, all'analisi di immagini satellitari provenienti da riprese multitemporali.

Bibliografia

- Gupta R.P. (1991), "Remote Sensing Geology", Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Kealy P.S., Hook S.J. (1993), "Separating Temperature and Emissivity in Thermal Infrared Multispectral Scanner Data: Implications for Recovering Land Surface Temperatures", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 31: 1155-1164.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W. (1994), "Remote Sensing and Image Interpretation", Edizioni John Wiley&Sons, terza edizione.
- Gillespie A. et al. (1998), "A Temperature and Emissivity Separation Algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 36: 1113-1126.
- Hook A. M., Ramachandran S. B. (2002), "ASTER User Handbook", Version 2. EROS Data Center, Sioux Falls (SD).