

PROCEDURA CON INTERFACCIA-UTENTE GRAFICA PER LE CORREZIONI ATMOSFERICHE DI IMMAGINI SATELLITARI

Sergio TEGGI^(*), Massimo MUSACCHIO^(**), Maria Fabrizia BUONGIORNO^(**)

(*) Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905 – 41100 Modena. Tel.: 0592056131; Fax: 0592056126
e-mail: teggi@unimo.it

(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata 605 00143, Roma, Italy

Riassunto

In questo contributo è mostrata una procedura software sviluppata per apportare le correzioni atmosferiche e orografiche ad immagini telerilevate nella regione del visibile-vicino infrarosso. I termini di correzione atmosferica sono calcolati, per ogni pixel, utilizzando i modelli di trasferimento radiativo MODTRAN e 6S.

Per rendere facile e snello l'utilizzo di questa procedura essa è stata dotata di una interfaccia-utente grafica che guida l'utente attraverso le varie fasi di impostazione ed esecuzione. Sia la procedura che l'interfaccia grafica sono state costruite in ambiente IDL/ENVI in modo da potere sfruttare al massimo le potenzialità offerte da questo software per l'elaborazione delle immagini telerilevate.

Abstract

In this paper is shown a software procedure built to apply orographic and atmospheric correction to remote sensing images acquired in the visible-near infrared electromagnetic spectral region. The required atmospheric correction terms are computed, on pixel-by-pixel basis, using the 6S and MODTRAN radiative transfer models.

In order to make this procedure user friendly it has been provided with a graphic user interface that guides the user throughout the setting and running steps of the elaborations. Both the procedure and the interface have been developed in the ENVI/IDL environment, in order to take advantage of the tools given by this software for remote sensing images processing.

Introduzione

Le correzioni atmosferiche e orografiche (CAO) delle immagini telerilevate rappresentano uno dei passaggi di preelaborazione più impegnativi ma necessari per potere procedere a valutazioni quantitative delle immagini stesse. Le metodologie per effettuare questo tipo di correzioni sono varie e i principali fattori che le differenziano sono l'intervallo spettrale considerato, l'accuratezza desiderata e la difficoltà di applicazione degli algoritmi. Il primo fattore determina la definizione dei termini di sorgente e i fenomeni di interazione radiazione elettromagnetica – atmosfera da considerare. Gli altri due fattori sono contrapposti: gli algoritmi semplici, di facile e veloce applicazione, generalmente producono correzioni atmosferiche poco accurate e viceversa. Solitamente le difficoltà che si incontrano utilizzando algoritmi che producono correzioni atmosferiche soddisfacenti sono di due tipi: quelle legate alla complessità degli algoritmi e quelle legate all'utilizzatore. Nel primo caso le difficoltà sono dovute al fatto che gli algoritmi sono spesso basati sull'uso di modelli di trasferimento radiativo il cui impiego è notoriamente complesso. Le difficoltà più strettamente legate all'utilizzatore consistono nel fatto che questa figura è molto spesso rappresentata da una persona che non ha conoscenze molto approfondite sui fenomeni di trasferimento radiativo o più in generale della fenomenologia che entra in gioco in questo contesto. Sulla base di queste premesse, si è cercato di sviluppare una procedura per le CAO abbastanza completa dal punto di vista della modellistica del trasferimento radiativo ma allo stesso tempo di facile utilizzo grazie alla costruzione di un'interfaccia grafica che guida l'utente attraverso le varie

fasi di elaborazione. Sia la procedura che l'interfaccia grafica sono state sviluppate in ambiente IDL/ENVI (Research System Inc. , 2005).

Correzioni atmosferiche e orografiche

La procedura sviluppata è concepita per apportare le correzioni delle immagini telerilevate nella regione dello spettro elettromagnetico compresa tra $0.40 \mu m$ e $2.5 \mu m$. In questa regione spettrale l'atmosfera influenza il dato telerilevato sia tramite processi di diffusione che di assorbimento. In questo caso il procedimento sviluppato per le correzioni atmosferiche ricalca, a grandi linee, la metodologia utilizzata dal modello di trasferimento radiativo 6S (Vermote et al., 1997), che, a differenza del MODTRAN (Berk et al., 1989), tiene conto anche degli effetti di riflessione ambientale. Inoltre, è stata aggiunta la correzione del cambiamento di illuminazione legato all'orografia. Assumendo di essere in assenza di nubi e di avere una superficie Lambertiana, la riflettanza di un pixel, ad una data lunghezza d'onda, può essere legata alla sua riflettanza apparente dalle relazioni (Liu et al., 1996; Rahman e Dedieu, 1994; Horn and Sjoberg, 1979; Zagolski e Gastellu-Etchegorry, 1995):

$$\rho^* = Tg \left\{ \rho_a + \frac{\rho}{1 - \langle \rho_e \rangle_s} \left[\beta \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\cos \theta_s} - \frac{\tau}{\cos \theta_v}\right) + t_{ds} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\cos \theta_v}\right) \right] + \frac{\langle \rho_e \rangle}{1 - \langle \rho_e \rangle_s} \left[\exp\left(-\frac{\tau}{\cos \theta_s}\right) t_{dv} + t_{ds} \cdot t_{dv} \right] \right\}$$

$$\rho^* = (\pi \cdot L_m) / (E_s \cdot \cos \theta_s) \quad \beta = \cos \theta_n + \tan \theta_s \sin \theta_n \cos(\varphi_s - \varphi_n) \quad (1)$$

dove: $\rho^* = (\pi \cdot L_m) / (\mu_s \cdot E_s)$ è la riflettanza al sensore (o apparente); ρ è la riflettanza del pixel; L_m è la radianza misurata dal sensore in un dato canale; E_s è il flusso solare esotmosferico; θ_s e θ_v sono l'angolo zenitale solare e dell'angolo zenitale di vista, rispettivamente; ρ_a è la riflettanza atmosferica intrinseca; $\langle \rho_e \rangle$ è la riflettanza ambientale media; Tg è la trasmittanza dovuta all'assorbimento dei gas del cammino sole-superficie-sensore; τ è lo spessore ottico verticale dell'atmosfera dovuto alla diffusione; s è l'albedo sferica dell'atmosfera; β è il fattore correttivo per il cambio di illuminazione dovuto all'orografia; θ_n , φ_n sono rispettivamente la pendenza e l'orientazione della superficie.

I termini atmosferici che compaiono nelle equazioni (1) sono calcolati utilizzando due modelli di trasferimento radiativo diversi: il 6S e il MODTRAN. Il 6S è usato per il calcolo di tutti i termini legati alla diffusione atmosferica mentre il MODTRAN è usato per la modellazione dell'assorbimento atmosferico. In linea di principio si potrebbe usare solamente il 6S in quanto anch'esso fornisce la valutazione delle trasmittanze legate agli assorbimenti dei gas, questo calcolo viene fatto però solo sui sei gas atmosferici principali e con una risoluzione spettrale di 10 cm^{-1} , mentre il MODTRAN considera un numero di gas maggiore e la risoluzione spettrale è di 2 cm^{-1} .

Una presentazione più completa delle equazioni (1) e una discussione sull'importanza dell'uso contemporaneo dei modelli di trasferimento radiativo può essere reperita nei lavori di Bogliolo et al. (2004) e Teggi et al. (2001).

Tutti i termini che compaiono nelle (1), ad esclusione di quelli geometrici, sono dipendenti dalla lunghezza d'onda. Il passaggio da valori spettrali continui ($f(\lambda)$) a valore per uno specifico canale c del sensore considerato (f_c) avviene usando la relazione:

$$f_c = \int f(\lambda) \Phi_c(\lambda) d\lambda$$

dove Φ_c è la funzione risposta del canale c .

Uno dei termini più difficoltosi da valutare nelle (1) è la riflettanza ambientale. In questo caso si è scelto di adottare il metodo iterativo proposto da Richter (1990): in un primo passaggio si calcola

l'immagine in riflettanza assumendo $\langle \rho_e \rangle = 0$; dall'immagine così ottenuta si fa una valutazione approssimata, per ogni pixel, di $\langle \rho_e \rangle$ assumendola uguale al valor medio delle riflettanze di una finestra, centrata sul pixel, di larghezza predefinita; infine, si ripete il calcolo dell'immagine in riflettanza utilizzando la $\langle \rho_e \rangle$ stimata. Le iterazioni proseguono fino ad un numero predefinito oppure fino a che non si registrano più variazioni significative dei valori di ρ (criterio di convergenza) oppure.

Struttura della procedura

In Figura 1 sono riportati i tre blocchi principali della procedura per le correzioni atmosferiche e orografiche: il blocco di input-utente (BIU), quello dei moduli di calcolo (BMC) e quello dei risultati (BR). Lo scopo principale della GUI è quello di guidare l'utente verso una corretta e semplice compilazione delle informazioni richieste nella prima sezione.

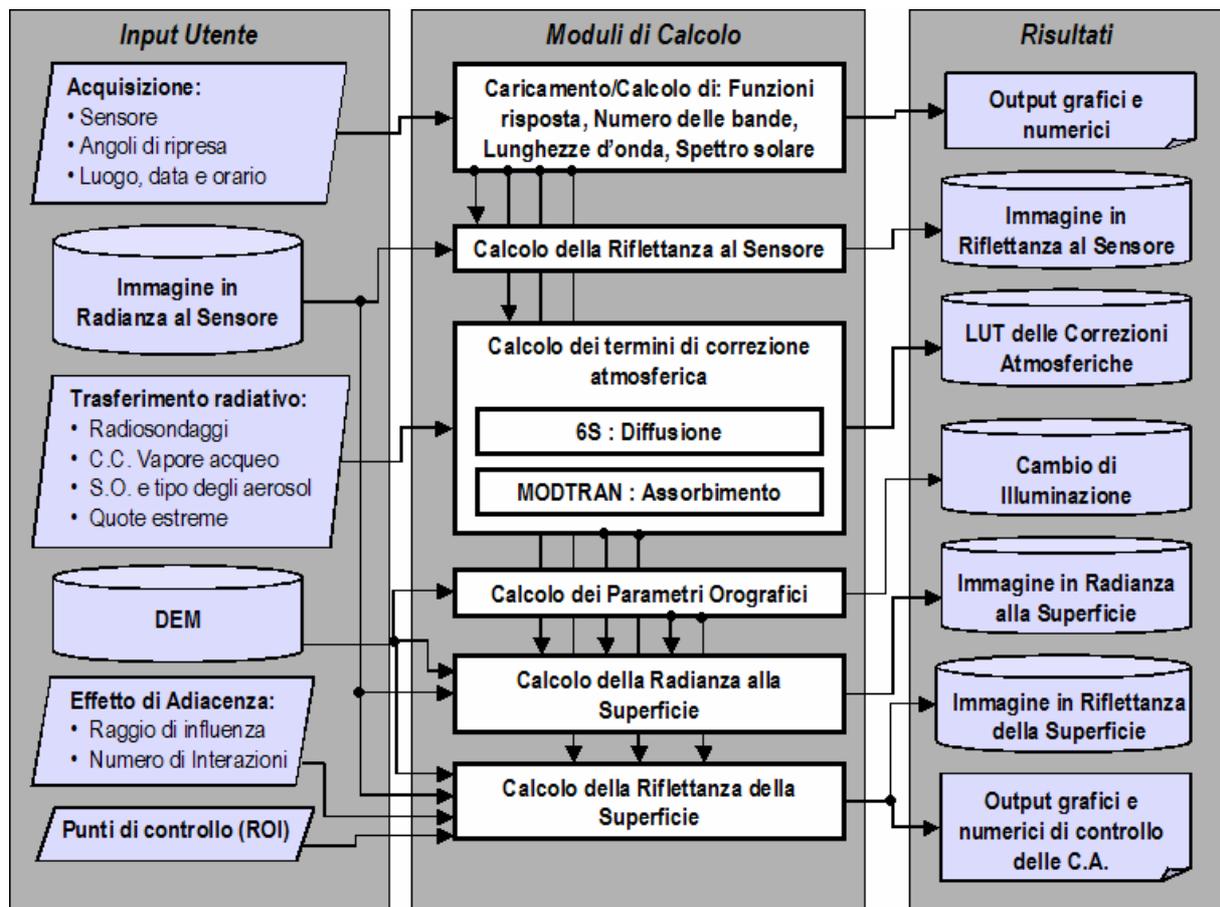


Figura 1. Correzioni atmosferiche e orografiche

I passi principali della procedura schematizzata in Figura 1 sono:

- Parametri di acquisizione

In questa fase l'utente definisce nel BIU il tipo di sensore, angoli di ripresa, il luogo e la data di acquisizione. Il sensore può essere scelto fra una lista di sensori predefiniti (ETM, AVHRR, Ikonos, ...) oppure definito, attraverso le sue funzioni risposta, dall'utente stesso. Queste informazioni sono utilizzate nel BMC per l'estrazione delle funzioni risposta, l'estrazione e la successiva convoluzione dello spettro solare esotmosferico, il calcolo della posizione del sole. Le grandezze così determinate sono fornite nel BR in formato numerico e, per quelle spettrali, anche sotto forma di grafici.

- Immagine da elaborare

In questo passaggio l'utente sceglie l'immagine in radianza al sensore da elaborare. Questa operazione avviene utilizzando i *tools* di scelta e *spatial subsetting* in ambiente ENVI. Nel BMC

viene calcolata la riflettanza al sensore (ρ^*) e salvata nella BR in formato ENVI-standard.

- *Termini di correzione atmosferica*

Tutti i termini atmosferici presenti nelle (1) vengono calcolati dai modelli MODTRAN e 6S in questa fase. L'utente non "entra in contatto" diretto con i modelli di trasferimento ma imposta nel BIU solamente le informazioni sulla struttura atmosferica: radiosondaggi, contenuto colonnare di vapore acqueo, spessore ottico e tipo di aerosol, quote estreme di calcolo. I rimanenti parametri di calcolo, come gli estremi spettrali e le geometrie dei cammini ottici, vengono ricavate dai dati dei passi precedenti. Nel BMC viene ripetuta, variando la quota di calcolo ad intervalli di 100m, la sequenza: a) compilazione dei file di input per il MODTRAN e il 6S; b) esecuzione dei due modelli di trasferimento radiativo; c) estrazione dai file di output e convoluzione sulle funzioni risposta del sensore dei termini di diffusione (6S) e di assorbimento (MODTRAN). I valori di correzione atmosferica così ottenuti vengono salvati (SR) sotto forma di LUT (*look-up table*) in un file. Il calcolo della LUT deve essere effettuato solo una prima volta: per run ulteriori sulla stessa immagine o in condizioni di acquisizione e atmosferiche inalterate, la LUT può essere semplicemente caricata.

- *Termini orografici*

In questo passo viene calcolato (BMC) e salvato in formato ENVI-standard, per ogni pixel dell'immagine da elaborare, il fattore β per la compensazione del cambio di illuminazione dovuto all'orografia. Questa operazione richiede come dato di partenza un modello di elevazione del terreno (DEM) che viene fornito dall'utente (BIU) in ambiente ENVI.

- *Riflettanza della superficie*

In questa fase, dopo avere impostato (BIU) i parametri per la correzione dell'effetto di adiacenza (numero di iterazioni e raggio di influenza) si procede al calcolo di ρ (BMC) e al salvataggio dell'immagine ottenuta in formato ENVI-standard.

- *Test preliminare*

Questo passaggio in realtà avviene contemporaneamente al precedente e consiste nel fissare (BIU) tramite i *tools* di definizione dei "punti di interesse" (ROI) di ENVI dei pixel dell'immagine per i quali vengono estratti e graficati (BR) gli spettri di ρ^* e di ρ al fine di effettuare un primo test sull'azione delle CAO. Il modulo di estrazione e confronto (BMC) sviluppato permette anche di effettuare una prima taratura del contenuto di vapore acqueo variandone direttamente il valore impostato e valutandone visivamente gli effetti sugli spettri estratti.

Interfaccia-utente grafica (GUI)

La logica con la quale è stata sviluppata l'interfaccia grafica per la procedura di CAO è quella di agevolare la scelta, l'immissione dei dati descritti nel blocco BIU di Figura 1 e l'archiviazione degli stessi in *casestudy* richiamabili per elaborazioni successive.

La GUI è stata sviluppata interamente in ambiente IDL/ENVI ed è stata resa direttamente accessibile dal menu di ENVI inserendola nel menù dei *Basic Tools* fra gli altri moduli di correzione atmosferica.

La prima finestra (Figura 2) contiene le opzioni relative ai differenti tipi di correzione (*Apparent Reflectance, Ground Reflectance, Ground Radiance*), oltre alle funzioni standard di archiviazione ed apertura dei file precedentemente scritti. Alla scelta del tipo di correzione segue la definizione dei parametri di acquisizione divisi in due schermate successive; la prima finestra è dedicata all'immissione dei dati relativi al sensore (se predefinito o definito dall'utente), alle lunghezze d'onda tra le quali correggere l'immagine, il numero di canali ed il fattore di radianza. (Figura 3), la seconda finestra (Figura 4) è dedicata ai parametri relativi alla scena osservata (ϑ_v , ϕ_v , latitudine, longitudine, data ed ora dell'acquisizione).

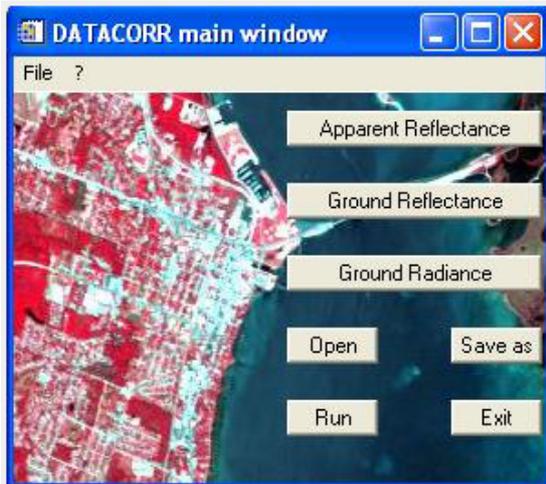


Figura 2 Finestra di partenza di Cirillo; il sottomenu "File" contiene le stesse opzioni evidenti nella schermata (Open, Save as, Run, Exit). Il punto interrogativo individua il collegamento all'help. La funzione principale di questa finestra è permettere all'utente di scegliere che tipo di correzione si vuole effettuare (Apparent reflectance, Ground reflectance oppure Ground radiance)

La procedura di correzione necessita poi dei dati relativi alla data ed alla geometria dell'acquisizione proponendo, poi, all'utente due possibilità: la prima è usare una LUT di correzioni atmosferiche precedentemente calcolata oppure adottarne una nuova seguendo l'immissione dei parametri descrittivi delle caratteristiche dell'atmosfera. Nel primo caso si ritorna alla pagina iniziale potendo quindi far eseguire il programma, nel secondo caso si accede all'ultima schermata (Figura 5) che richiede le quote estreme tra cui effettuare il calcolo, i parametri relativi ai termini di trasmittanza e di diffusione. Dopo aver compilato quest'ultima interfaccia l'utente può eseguire la procedura di correzione atmosferica e visualizzare i risultati descritti in Figura 1 con i *tools* disponibili in ENVI.

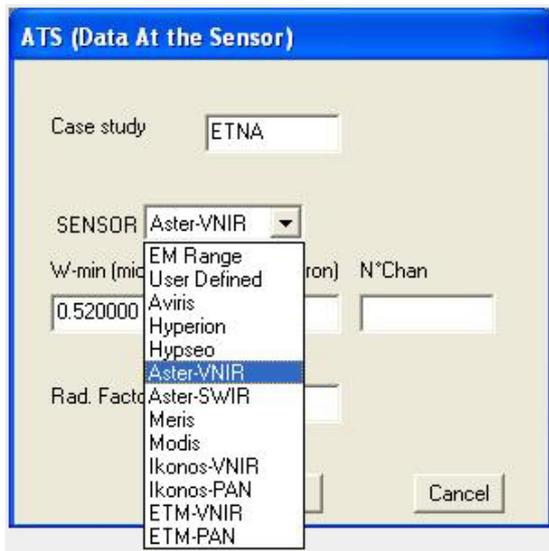


Figura 3. Finestra d'immissione dei dati relativi al sensore

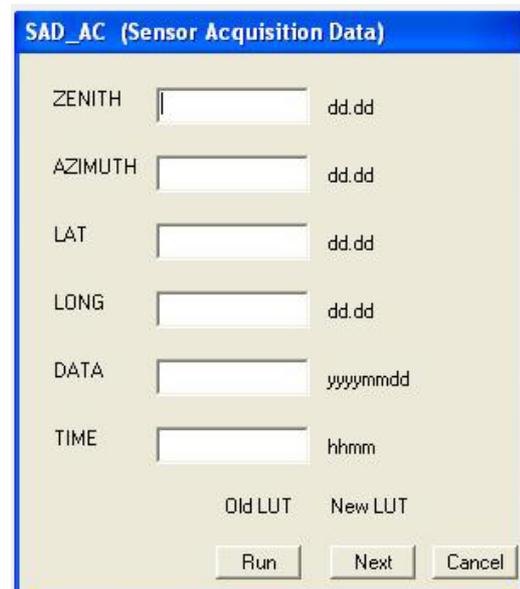


Figura 4 Finestra d'immissione dei parametri di acquisizione

Conclusioni

La procedura presentata per le CAO, che nella sua veste finale assume la forma di un ulteriore tool inserito all'interno dei menu ENVI, è ancora in fase di sperimentazione e di perfezionamento, sia dal punto di vista modellistico che software. Ciò nonostante essa è già stata utilizzata con risultati soddisfacenti per l'elaborazione di immagini in diversi casi di studio nell'ambito delle attività di ricerca degli Autori (alcuni esempi possono essere reperiti nei lavori di Bogliolo et al. (2004), Teggi et al. (2001) e si può ritenere che essa sia ormai prossima alla sua forma finale.

Figura5. Finestra d'immissione dei dati relativi ai parametri atmosferici necessari per il calcolo dei termini di diffusione e trasmittanza

Bibliografia

- Berk A., Bernstein L.S. e Robertson D.C. (1989), MODTRAN: a moderate resolution model for Lowtran7, *GL-TR-89-0122, AFG Lab., Hanscom Air Force Base, MA 01731-5000, USA.*
- Bogliolo M.P., Teggi S., Buongiorno M.F., Pugnaghi S. and Corradini S. (2004), Inspecting MIVIS capabilities for surface characterization: evaluation and analysis of VINIR-SWIR data, *International Journal of Remote Sensing*, 29, 3769-3797.
- Horn B. K. P. e Sjoberg R. W. (1979) - Calculating the reflectance map, *App. Optics*, 18, num. 11, 1770-1779.
- Liu C.H., Chen A. J. e Liu G. R. (1996), An image-based retrieval algorithm of aerosol characteristics and surface reflectance for satellite images, *Int. J. Remote Sensing*, 17: 3477-3500.
- Rahman H. e Dedieu G. (1994) - SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum, *Int. J. Remote Sensing*, 15, 123-143.
- Richter R. (1990), A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images, *Int. J. Remote Sensing*, 11, pp. 159-166.
- Research System Inc. (2005), *Interactive Data Language*, URL:<http://www.rsic.com/idl>, visitato il 16/09/2005.
- Teggi S., Pugnaghi S., Buongiorno M.F., Bogliolo M.P., Corradini S., Lombardo L., Merucci L. (2001), Correzioni atmosferiche dei dati MIVIS, *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 20/21, 91-97, Sept. 2000 – Gen. 2001.
- Vermote E. F., Tanré D., Deuzé J. L., Herman M. e Morcrette J. J. (1997), Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S): user guide, version 2, *University of Maryland, Dept. Of Geography / Laboratoire d'Optique Atmospherique.*
- Zagolski F. e Gastellu-Etchegorry J. P. (1995), Atmospheric correction of AVIRIS images with a procedure based on the inversion of the 5S model, *Int. J. Remote Sensing*, 16, 3115-3146.