

MIGLIORAMENTO DELLA SPAZIALIZZAZIONE DI DATI SATELLITARI MEDIANTE L'USO DI MISURE A TERRA

Sergio TEGGI^(*), Grazia GHERMANDI^(*), Maria Paola BOGLIOLO^(**)

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

(**) ISPESL, Via di Fontana Candida 1, 00040, Monteporzio Catone, Roma, Italy, e-mail: maripab@tiscali.it

Riassunto

In questo lavoro viene mostrata una procedura per la determinazione delle distribuzioni spaziali di parametri chimico-fisici misurati da stazioni a terra e da satellite. La descrizione della procedura è focalizzata sulle misure di parametri atmosferici caratteristici della qualità dell'aria e sul sensore MODIS, ma può essere applicata anche ad altri casi. La determinazione delle distribuzioni spaziali avviene seguendo due modalità principali: la prima prevede la valutazione delle distribuzioni dei due data set separati; la seconda, che è l'argomento principale di questo lavoro, tenta di migliorare la spazializzazione del data set satellitare utilizzando anche informazioni estratte dalle stazioni a terra. La procedura è stata sviluppata e dotata di interfaccia-utente grafica in ambiente IDL.

Abstract

This work shows a procedure for the evaluation of the spatial distributions of chemical-physical parameters measured by ground stations and satellite remote sensing. The description of the procedure is focused on the measures of atmospheric parameters characteristic of air quality and on the MODIS sensor, but it can be used for other cases also. The evaluation of the spatial distributions is done following two main approaches: in the first the distributions are computed separately for the two data sets; in the second, which is the principal subject of this work, the spatialisation of the remote sensing data set is done by using information extracted by ground measurements also. The procedure has been developed and provided with a graphic user interface in IDL.

Introduzione

In questo contributo viene mostrato parte del lavoro svolto nell'ambito di un progetto mirato allo studio delle possibilità di utilizzare i dati telerilevati da satellite e le misure acquisite da reti di rilevamento della qualità dell'aria a terra in modo sinergico, al fine di ottenerne un aumento del contenuto di informazione, soprattutto dal punto di vista della loro distribuzione spaziale.

I metodi classici per il monitoraggio e per il controllo dell'inquinamento atmosferico si basano sull'uso di strumentazione fissa in determinate postazioni per la misura di concentrazioni di sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente in prossimità del suolo. Le centraline di monitoraggio utilizzate dalle ARPA sono fra gli esempi più rappresentativi in tal senso. Tramite queste centraline sono misurate le concentrazioni di vari inquinanti come ad esempio le polveri sospese, il benzene, gli idrocarburi incombusti, l'ozono, gli ossidi di carbonio e l'anidride solforosa. Sebbene questi metodi di monitoraggio forniscano misure molto precise e temporalmente continue delle concentrazioni di sostanze inquinanti, esse presentano notevoli carenze dal punto di vista della rappresentatività areale per la zona studiata.

Questa situazione si ritrova praticamente rovesciata nel caso del telerilevamento. Infatti attualmente vi sono varie piattaforme satellitari in grado di fornire informazioni accurate sulle caratteristiche chimico-fisiche dell'atmosfera ma nella maggior parte dei casi si hanno coperture spaziali praticamente illimitate ma con un dettaglio spaziale molto povero, molto spesso superiore a qualche chilometro.

Un esempio tipico è rappresentato dal sensore MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, Barnes et al., 1998), operante a bordo dei satelliti Terra e Aqua e che è in grado

di fornire mappe globali e praticamente a costo nullo di vari parametri atmosferici di interesse ma con risoluzioni spaziali che variano da 1 km a 10 km.

Nelle sezioni seguenti verrà mostrata una procedura informatizzata, dotata di interfaccia grafica utente, che è stata inizialmente concepita per estrarre in modo semplice e snello dalle immagini MODIS alcuni parametri di interesse e di ottenerne una rappresentazione spaziale in diversi formati fra i quali quello vettoriale (*shape file*). In una seconda fase è stata aggiunta la possibilità di caricare e spazializzare anche dati provenienti da stazioni a terra; ed infine è stato aggiunto un modulo mirato al miglioramento del dettaglio spaziale ottenibile dai dati MODIS sfruttando la distribuzione dei dati misurati a terra.

Descrizione della procedura

La procedura qui presentata può essere descritta in modo molto schematico facendo riferimento alla Figura 1. Uno dei primi passaggi consiste nella definizione dell'area geografica di interesse, cioè nell'impostare la longitudine e latitudine del punto centrale e l'estensione in coordinate cartografiche (UTM-WGS84) est (x , km) e nord (y , km) dell'area studiata.

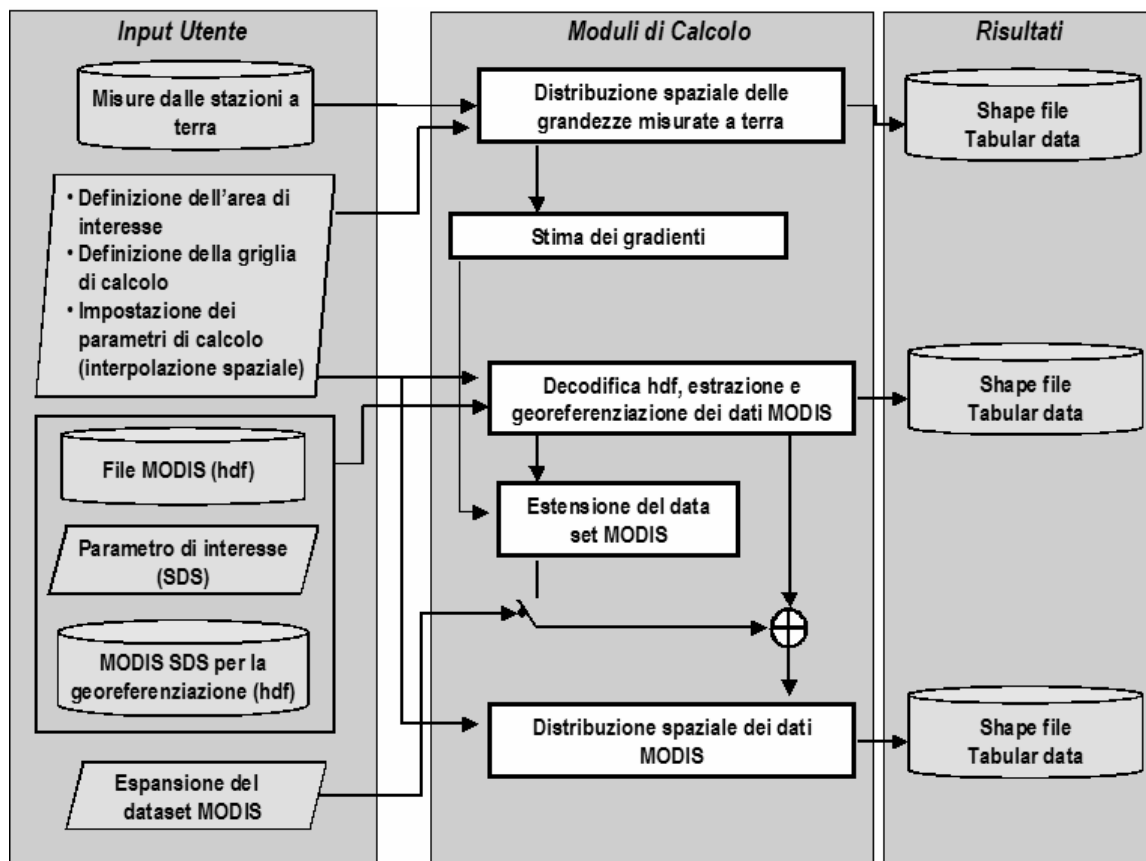


Figura 2. Schema della procedura presentata.

La fase immediatamente successiva è quella di *input* dei dati provenienti dalle stazioni a terra e di quelli satellitari. Nel primo caso il *data set* relativo alle misure da stazioni a terra è costituito da una tabella in formato ASCII contenente longitudine, latitudine e valori misurati (concentrazioni) delle varie stazioni ad un determinato istante. Nel secondo caso invece occorre: fornire il file MODIS nel suo formato nativo (formato *hdf*, NASA, 2004a; NASA, 2004b); scegliere la grandezza fisica (*scientific data set*, SDS) di interesse fra tutte quelle contenute nel file; fornire il file per la georeferenziazione dei dati che (distribuito assieme ad ogni prodotto MODIS e a volte contenuto come SDS nello stesso file).

Terminata la fase di input dei dati si passa alle successive fasi di calcolo della distribuzione spaziale dei due *data set*:

Distribuzione spaziale delle grandezze misurate a terra.

Fissata una griglia regolare di calcolo, la distribuzione spaziale delle grandezze misurate a terra avviene secondo i seguenti passaggi:

- Interpolazione spaziale dei dati misurati sui punti della griglia che si trovano in prossimità delle stazioni di misura. Il tipo di interpolazione (inversa, kriging, spline, lineare) e la “prossimità” (distanza) vengono impostate dall’utente.
- Media mobile, con filtro di dimensione impostabile, dei valori ottenuti in modo da ottenere anche una stima della variazione spaziale a scala più bassa.

Distribuzione spaziale dei dati MODIS.

La distribuzione spaziale dei dati MODIS, sullo stesso grigliato definito in precedenza, può essere valutata in due modi diversi: utilizzando i soli dati MODIS contenuti nel SDS, oppure integrandoli (“estensione del *data set* MODIS” in Figura 1) con un nuovo *data set* ottenuto utilizzando anche le informazioni estratte dalle stazioni a terra.

Questa ultima operazione avviene nel seguente modo: per ogni valore M_{p_0} del *data set* MODIS misurato nel punto p_0 si stima il valore M_{p_1} in un punto vicino p_1 dalla relazione:

$$M_{p_1} = M_{p_0} \left[1 + (p_1 - p_0) \left(\frac{\Delta M}{\Delta p} \frac{1}{M} \right)_{p_0} \right] \quad (1)$$

in cui il secondo termine fra parentesi rotonde rappresenta il gradiente “relativo” della funzione M nella direzione definita dai due punti e non è valutabile esattamente a priori dai dati a disposizione.

Nell’ipotesi che la grandezza fisica misurata dalle stazioni a terra e quella telerilevata presentino un minimo livello di correlazione, in modo da potere affermare che le rispettive distribuzioni spaziali risultino simili, allora il gradiente che compare nella formula può essere stimato dalle misure a terra. Questa ipotesi, molto critica, può essere rafforzata calcolando i gradienti sui valori ottenuti dal secondo passaggio del punto precedente i quali possiedono, se filtrati opportunamente, la stessa scala spaziale dei dati MODIS.

Ovviamente questa stima potrà essere effettuata solo sui punti sui quali è stato possibile valutare la distribuzione spaziale, da cui i gradienti, delle misure a terra.

I diversi tipi di risultati così ottenuti sono salvati in diversi formati, prestando particolare attenzione al loro possibile uso all’interno di un GIS e quindi in formato vettoriale (*shape file, tabular data*, Burrough and McDonnell, 1998).

Questa procedura è stata sviluppata e dotata di una interfaccia-utente interamente in ambiente IDL (Interactive Data Language, Research System Inc., 2005) inserita all’interno di una interfaccia utente.

Applicazione della procedura: un esempio

Per lo sviluppo della procedura presentata sono stati considerati alcuni casi reali, uno dei quali, relativo al giorno 16/03/2004, è riportato di seguito come esempio. La zona di studio è approssimativamente centrata sulla città di Modena ($\lambda = 10.93^\circ$, $\varphi = 44.65^\circ$), ed ha una estensione di 50 km x 50 km.

Le misure a terra sono estratte dall’insieme di rilevamenti effettuati dalla rete di monitoraggio della qualità dell’aria della ARPA-Emilia Romagna (ARPA, 2005), ed in particolare sono stati considerati i valori medi giornalieri di PM10 in 5 stazioni diverse, come riportato in Tabella 1.

L’immagine MODIS utilizzata è stata acquisita durante il passaggio del satellite Aqua alle ore 12:10 UTC e di essa è stato considerato il *data set* contenente il contenuto colonnare di aerosol (mg/m^2) che ragionevolmente si può pensare abbastanza correlato con le misure di PM10 a terra.

Stazione	Longitudine	Latitudine	PM10 ($\mu g/m^3$)
Carpi	10.867	44.797	60

Maranello	10.868	44.527	75
Modena, XX Settembre	10.925	44.645	64
Modena, Nonantolana	10.947	44.655	98
Spezzano	10.843	44.535	44

Tabella 1. Valori di PM10 misurati dall'Arpa-emilia Romagna il 16/03/04 (coordinate nel sistema WGS84)

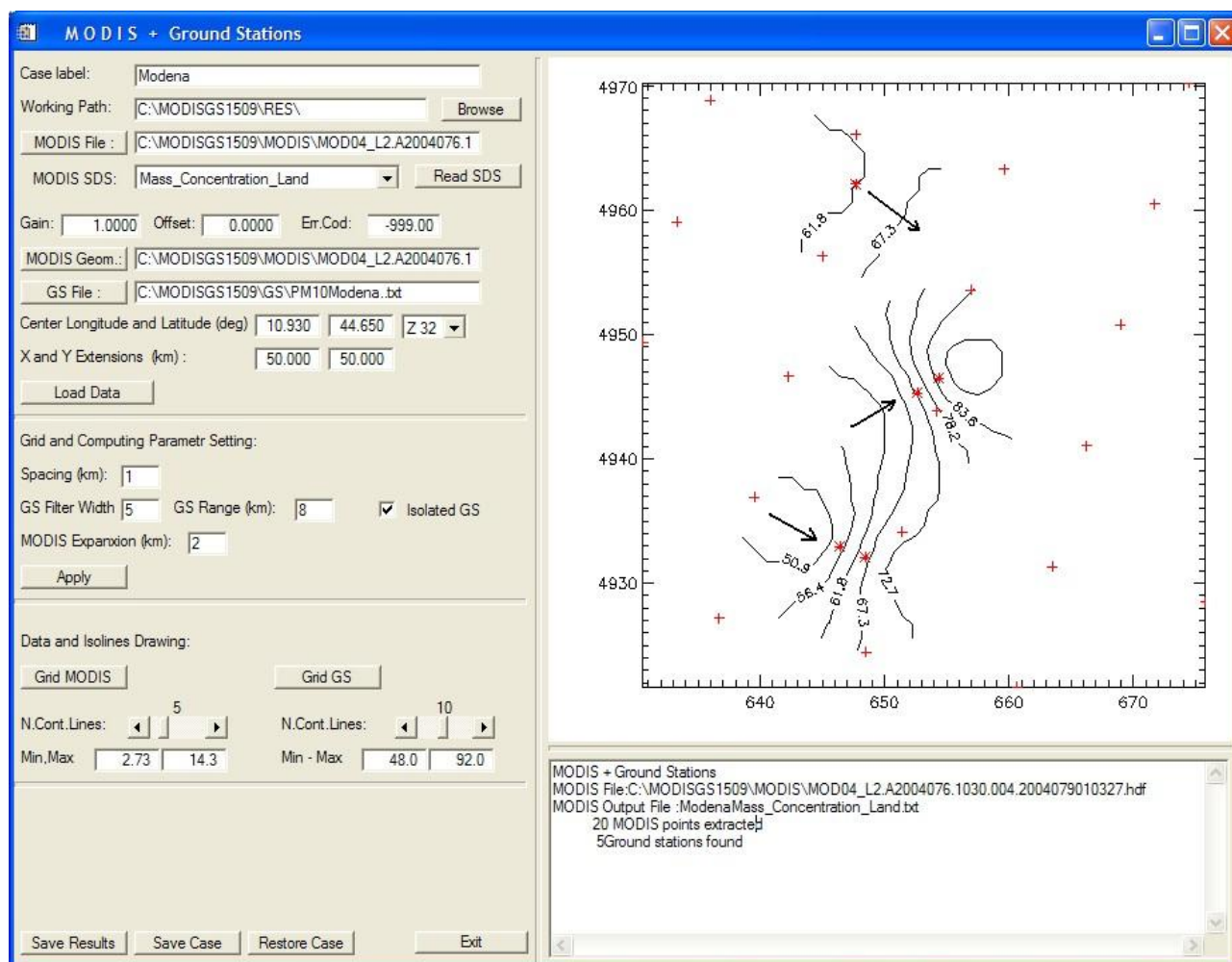


Figura 2. Interfaccia grafica: variazione spaziale (isolinee, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) delle misure a terra. Gli asterischi indicano le posizioni delle stazioni di misura. Le croci indicano la localizzazione dei dati MODIS. Le frecce sono state aggiunte per indicare le direzioni di variazione principali.

Nella Figura 2 è riportata la distribuzione spaziale (isolinee) del PM10 su una griglia di passo 1 km. L'interpolazione è avvenuta mediante il metodo di Kriging (Webster and Oliver, 2000) e i dati ottenuti sono stati successivamente filtrati con un filtro di dimensione 5 km per ottenere una scala spaziale confrontabile con quella dei dati telerilevati. Gli asterischi rappresentano le stazioni a terra, mentre le croci rappresentano le localizzazioni dei dati MODIS che sono utilizzati di seguito. Nella Figura 3.a, in cui è riportata solo la finestra grafica dell'interfaccia grafica, è riportata la distribuzione spaziale (isolinee), ottenuta sullo stesso grigliato e con interpolazione lineare, dei dati MODIS.

Nella Figura 3.b è riportata la distribuzione spaziale ottenuta dai dati MODIS usati nella figura precedente più quelli ottenuti sui punti in prossimità delle stazioni a terra col metodo sopra descritto. I gradienti sono stati valutati dalle variazioni spaziali riportate in Figura 2. Per ogni punto MODIS per i quali è possibile stimare un gradiente sono stati aggiunti quattro nuovi punti nelle

quattro direzioni principali (alto, basso, destra e sinistra) ad una distanza di 2 km dal punto centrale. Dalla Figura 2 possono essere individuate tre direzioni principali (freccie) della la variazione PM10 in corrispondenza delle stazioni Maranello e Spezzano (in basso), delle due stazioni di Modena (al centro) e della stazione di Carpi (in alto). Osservando la Figura 3.a si vede che la prima direzione è ancora evidente, mentre sulla zona di Modena si hanno variazioni molto deboli e sulla zona di Carpi la direzione di variazione è invece opposta. Dalla Figura 3.b si può vedere come l'integrazione delle informazioni tratte dalle stazioni a terra nel data set MODIS abbia conservato la situazione sulla prima zona, reso gli andamenti spaziali molto più coerenti con le stazioni a terra su Modena e lasciata inalterata (discordanza) la situazione su Carpi. Il mancato miglioramento sull'ultima zona è dovuto al fatto che in essa vi è una sola stazione e quindi i gradienti non possono essere calcolati.

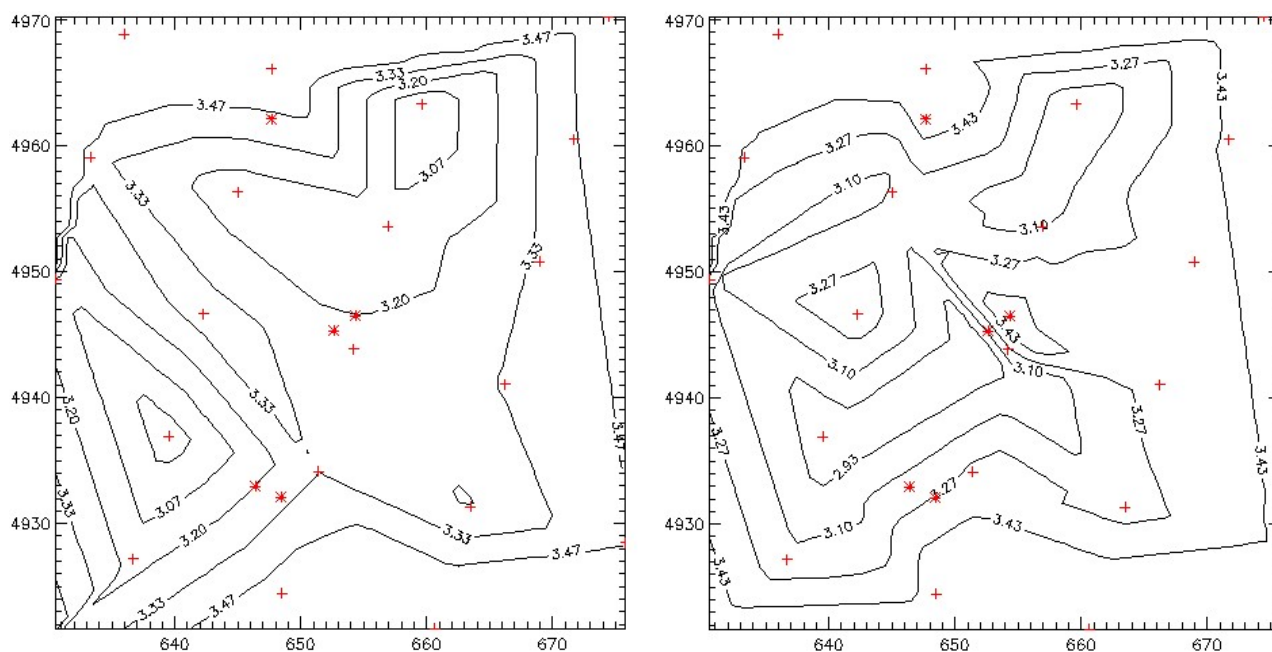


Figura 3. A sinistra (a): Variazione spaziale (isolinee, $10 \cdot \text{mg}/\text{m}^2$) dei dati MODIS. A destra (b): Variazione spaziale dei dati MODIS integrati con valori ottenuti col metodo del gradiente.

Conclusioni

Le considerazioni emerse nell'esempio riportato evidenziano come l'inserimento dell'informazione della variazione spaziale ottenuto dalle stazioni di misura nel processo di interpolazione dei dati MODIS produca andamenti spaziali più coerenti con i dati misurati a terra. Questo approccio soggiace però ad una condizione abbastanza forte: che le due tipologie di misure, telerilevate e a terra, siano spazialmente correlate. La verifica di questa ipotesi non è facile, in molto casi però, come in quello presentato, essa può essere ritenuta abbastanza ragionevole.

La procedura oggetto di questo lavoro è stata esposta per il caso particolare di dati telerilevati MODIS e di grandezze chimico-fisiche del comparto atmosfera ma può essere facilmente applicata anche a casi in cui vengono considerati altri sensori e/o grandezze misurate.

Ringraziamenti

Il presente lavoro fa parte del progetto B49/DIPIA/02 finanziato dall'ISPESL e mirato al confronto e all'integrazione tra tecniche di telerilevamento ad immagine e misure a terra per lo studio di parametri chimico-fisici dell'atmosfera in aree ad elevata concentrazione industriale.

Bibliografia

ARPA (2005), Dati sulla qualità dell'aria, URL:<http://www.arpa.emr.it/sim/pagine/ambiente/dati/>, visitato il 26/09/2005.

Barnes W.L., Pagano T.S., Salomonson V.V. (1998), Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) on EOS-AM1, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 36, 1088-1100.

Burrough P.A., McDonnell R.A. (1998), Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, Oxford, UK, 132-161.

NASA, (2004a), MODIS Web, http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/sci_team, visitato il 09 Sett. 2004.

NASA, (2004b), Earth Observing System Data Gateway, <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>, visitato il 09 Sett. 2004.

Research System Inc. (2005), *Interactive Data Language*, URL:<http://www.rsic.com/idl>, visitato il 16/09/2005.

Webster R., Oliver M.A. (2000), Geostatistics for Environmental Scientists, J. Wiley & Sons, Chichester, UK.