

Dati di copertura nuvolosa SEVIRI-MSG per i modelli di dispersione atmosferica degli inquinanti

Sergio Teggi (*), Sara Fabbi (*), Matteo Ferrandes (*), Maria Paola Bogliolo (**)

(*) DIMeC, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905, 41125 Modena, sergio.teggi@unimore.it

(**) DIPIA – ISPESEL, V. Fontana Candida 1, 00040 Monte Porzio Catone, Roma, mariapaola.bogliolo@ispesl.it

Riassunto

La frazione di copertura nuvolosa è molto importante per gli schemi di parametrizzazione della turbolenza atmosferica adottati da molti modelli di dispersione atmosferica degli inquinanti. Questo dato è richiesto qualora non vi siano misure dirette del flusso di radiazione netta alla superficie. In questi casi la radiazione netta viene valutata da misure di copertura nuvolosa e di flusso di radiazione solare incidente, oppure essa è calcolata direttamente tramite relazioni semi empiriche e astronomiche che, a loro volta, richiedono la copertura nuvolosa. In questo lavoro è stata valutata l'utilizzabilità della copertura nuvolosa estratta dalle immagini Cloud Analysis Images (CLAI) ricavate dal sensore SEVIRI – MSG come dato in ingresso al software per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera Aria Industry. La valutazione principale di questa sperimentazione è il confronto fra i valori di radiazione netta da misure al suolo con quelli calcolati usando la copertura nuvolosa estratta dalle CLAI. Come ulteriore sperimentazione, è mostrata una applicazione del modello di dispersione, impostato in modo da utilizzare la copertura nuvolosa CLAI; le mappe di concentrazione ottenute sono state confrontate con quelle analoghe ricavate usando misure dirette di radiazione solare. Questo studio mette in evidenza che i dati di copertura nuvolosa MSG-SEVIRI possono efficacemente sopperire alla mancanza di misure di radiazione solare a terra, anche se l'importanza rivestita da tale parametro nella modellazione della dispersione degli inquinanti non è ancora stata ben investigata ed è ancora oggetto di studio.

Abstract

The fraction of cloud cover is very important for the atmospheric turbulence parameterization schemes adopted by many models of atmospheric dispersion of pollutants. This information is required when there are no direct measurements of net flow of radiation at the surface. In these cases, the net radiation is estimated from measures of cloud cover and incident solar radiation flux, or it is calculated directly using semi empirical and astronomical relationships which, in turn, require cloud cover. This work evaluated the usability of the cloud cover Cloud Analysis Images (CLAI) extracted from the images obtained by the sensor SEVIRI - MSG as input data to software for simulation of the dispersion of pollutants in the atmosphere Air Industry. The primary assessment of this experiment is the comparison between the values of net radiation measured at the ground with those calculated using the cloud cover extracted from CLAI. As a further experiment, is shown an application of the dispersion model, set to use the cloud cover CLAI; the concentration maps obtained were compared with those obtained using similar measures of solar radiation. This study highlights that data from MSG-SEVIRI cloud cover can effectively compensate for the lack of measures of solar radiation on the ground, although by that parameter's importance in modeling the dispersion of pollutants has not yet been well investigated and is still under study.

Introduzione

La frazione di copertura nuvolosa (*CC*, *Cloud Cover*) è molto importante per gli schemi di parametrizzazione della turbolenza atmosferica adottati da molti modelli di dispersione atmosferica degli inquinanti. Questo dato è richiesto dai modelli qualora non vi siano misure dirette del flusso di radiazione netta alla superficie (*R_n*). In questi casi, seguendo ad esempio gli schemi di Van Ulden e Holtslag (1985), la radiazione netta viene valutata a partire da misure di *CC* e di flusso di radiazione solare incidente *Q**. Inoltre, spesso accade che neppure le misure di flusso di radiazione solare incidente siano disponibili; in tal caso anche questa grandezza è calcolata tramite relazioni semi empiriche e astronomiche che, a loro volta, richiedono la *CC*.

La *CC* è generalmente stimata solo presso le maggiori stazioni meteorologiche e non è di facile reperibilità. Una fonte alternativa per la *CC* sono le *Cloud Analysis Images (CLAI)* (EUMETSAT, 2009a) derivate dalle immagini SEVIRI (METEOSAT Second Generation, MSG) tramite la Meteorological Product Extraction Facility dell'EUMETSAT (EUMETSAT, 2009a). Queste immagini contengono la classificazione dell'eventuale tipologia di *CC* definita su 10 classi diverse e sono disponibili presso l'archivio U-MARF (Unified-Meteorological Archiving and Retrieval Facility) dell'EUMETSAT (EUMETSAT, 2009b).

In questo lavoro si è cercato di valutare l'utilizzabilità delle *CC* ottenute dalle CLAI come dato in ingresso al modello SURFPRO (SURFace-atmosphere interface PROcessor) (Arianet, 2002). SURFPRO è il preprocessore utilizzato dal software per la simulazione della dispersione di inquinanti in atmosfera Aria Industry (Tinarelli et al., 1998) per il calcolo dei parametri di scala che governano la turbolenza atmosferica

La sperimentazione è stata condotta su due zone di interesse. La prima è centrata sulla conca di Terni e per essa è disponibile il data set completo per il software Aria Industry. La seconda è centrata sulla stazione meteorologica dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Modena) presso la quale sono disponibili le osservazioni di *CC* e di *Q**. I periodi studiati vanno dal 01/09/07 al 30/09/07 per entrambe le aree e dal 01/12/07 al 31/12/07 solo per l'area di Modena.

La valutazione quantitativa più rilevante di questa sperimentazione è il confronto fra i valori di *R_n* ottenuti da misure al suolo con quelli calcolati con relazioni semiempiriche-astronomiche ed usando le *CC* estratte dalle CLAI. Inoltre, nella parte finale del lavoro è mostrato un tentativo della valutazione dell'effetto prodotto dall'uso dei dati di *CC* ottenute dalle CLAI sui risultati del modello di dispersione. Lo studio effettuato può essere ritenuto una prova significativa di come i dati di *CC* ottenuti dal MSG possano essere utilizzati come input per i modelli di dispersione atmosferica degli inquinanti.

SEVIRI-MSG e copertura nuvolosa

Il sensore SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), alloggiato a bordo dei satelliti geostazionari METEOSAT Second Generation (MSG) 8 e 9 (Schmetz et al, 2002), fornisce immagini dell'emisfero terrestre, centrate sul meridiano di Greenwich, ad intervalli di 15 minuti.

Il SEVIRI opera su dodici canali spettrali collocati fra il visibile e l'infrarosso termico. Undici di questi canali hanno una risoluzione spaziale di circa 3 km al nadir. Il rimanente canale (High-Resolution Visible, HRV) ha una larghezza di banda maggiore rispetto agli altri in modo tale da ottenere una risoluzione spaziale di 1 km.

Le immagini SEVIRI possono essere ricevute direttamente e in tempo reale dagli utilizzatori a terra mediante stazioni riceventi e software di elaborazione dedicati, oppure possono essere scaricate in un secondo tempo presso l'archivio U-MARF dell'EUMETSAT.

L'EUMETSAT, oltre alle immagini originali acquisite dal SEVIRI, mette a disposizione vari "prodotti meteorologici" calcolati dal Meteorological Product Extraction Facility (MPEF) sempre dell'EUMETSAT. Questi prodotti consistono in immagini, a diverse risoluzioni spaziali e temporali, di alcune grandezze di interesse meteorologico/climatologico derivate dalle immagini SEVIRI. Fra questi prodotti vi sono le *Cloud Analysis Images (CLAI)*, che sono state considerate in questo lavoro. Le CLAI possono essere viste come aggregazioni spaziali e temporali, a blocchi di 3 x 3

pixel e su periodi di tre ore, del prodotto a risoluzione piena CLOUD ANALYSIS (CLA) che a sua volta contiene, per ogni pixel e ogni 15 minuti, la classificazione dell'eventuale tipologia di copertura nuvolosa definita su 10 tipologie diverse oppure un codice identificativo del tipo di copertura della superficie terrestre in assenza di nubi. Il prodotto CLAI è stato preferito al prodotto a piena risoluzione spaziale e temporale in quanto quest'ultimo costituisce una mole di dati da elaborare difficilmente gestibile. Le immagini CLAI sono quindi state considerate per ricavare le serie temporali della percentuale di copertura nuvolosa (totale, tutte le classi di nubi) di una determinata area di interesse.

Procedura utilizzata per la valutazione della frazione di copertura nuvolosa dai prodotti MSG

La procedura utilizzata per la valutazione della frazione di copertura nuvolosa sul dominio di calcolo è schematizzabile nei seguenti passaggi:

- a) *Scaricamento dei dati dall' U-MARF*: Tramite l'utility (interfaccia Java) "Archive service – on-line access" dell'U-MARF è possibile individuare i file-immagine del prodotto CLAI relativi al periodo di studio. Una volta individuati, i file possono essere richiesti e scaricati direttamente tramite un link html;
- b) *Decodifica dei file scaricati*: I file CLAI vengono forniti in formato GRIB-2 (WMO, 2003) e pertanto essi sono decodificati in file immagini in formato binario BSQ (Band SeQUential);
- c) *Estrazione dell'area di interesse*: Dalle immagini BSQ generate viene estratta la frazione (0-1) di copertura nuvolosa totale sull'area di interesse, definita come rettangolo geografico (coordinate geografiche degli estremi del dominio di calcolo);
- d) *Estrazione della serie oraria della frazione di copertura nuvolosa*: essa viene ricavata per interpolazione lineare della serie trioraria ottenuta dal passaggio precedente;

A parte il primo passaggio, tutte le altre fasi di processamento sono effettuate mediante procedure IDL (Interactive Data Language) specificamente costruite per questa applicazione.

Ruolo della copertura nuvolosa nella parametrizzazione della turbolenza atmosferica e relazioni utilizzate

Il flusso di radiazione netta alla superficie (R_n) riveste un ruolo molto importante negli schemi di parametrizzazione della turbolenza atmosferica adottati da molti modelli numerici, fra i quali SURFPRO (Arianet, 2006). In particolare R_n è utilizzata per il calcolo del flusso di calore sensibile alla superficie che a sua volta è richiesto per il calcolo delle varie grandezze di scala turbolente.

R_n è una grandezza che raramente misurata presso le comuni stazioni meteorologiche, conseguentemente, in assenza di misure dirette di R_n viene solitamente calcolata dai modelli mediante relazioni semiempiriche che richiedono la copertura nuvolosa:

$$R_n = c_3 \left[(1 - A) Q^* + c_1 T_a^6 - \sigma T_a^4 + c_2 C \right] \quad [1]$$

$$Q^* = Q (1 - 0.75 C^{3.4}) \quad [2]$$

$$\begin{cases} Q = (141.91 \text{ W m}^{-2}) \theta^{5.73} & \text{se } \theta \leq 10^\circ \\ Q = (990.1 \text{ W m}^{-2}) \sin(\theta) - 30 \text{ W m}^{-2} & \text{se } \theta > 10^\circ \end{cases} \quad [3]$$

dove C è la frazione di copertura nuvolosa (0-1), A è l'albedo della superficie, Q irradianza solare alla superficie in assenza di nubi (W m^{-2}), Q^* è l'irradianza solare alla superficie (W m^{-2}), T_a è la temperatura dell'aria vicino alla superficie (K), θ è l'angolo di elevazione solare (rad), $c_1 = 5.31 \cdot 10^{-13} \text{ W m}^{-2} K^{-6}$, $c_2 = 60 \text{ W m}^{-2}$, $c_3 = 8.33$ e $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} K^{-4}$.

E da notare che molte stazioni meteorologiche sono dotate di solarimetri per la misura di Q^* e in questi casi R_n può essere valutata direttamente dall'equazione [1] e l'importanza della copertura nu-

volosa diminuisce notevolmente. In questo lavoro si è considerato solo il caso peggiore e molto frequente in cui la misura di Q^* non è disponibile.

Data set

I periodi di studio considerati in questo lavoro sono i mesi di dicembre e di settembre 2007. Per questi due periodi il data set utilizzato in questa sperimentazione è formato da:

Immagini CLAI e copertura nuvolosa: sono state scaricate 156 immagini CLAI dalle quali sono state estratte le coperture nuvolose medie su “porzioni di cielo” di circa 10 km x 10 km (3 pixel x 3 pixel CLAI) centrate sull’area di Modena per i due periodi considerati. Per l’area di Terni sono stati estratti solo 101 valori per il mese di settembre.

Radiazione solare e temperatura della aria: per entrambi i mesi studiati sono state utilizzate le serie orarie di misure di queste grandezze effettuate presso l’Università di Modena e Reggio Emilia a Modena. Le analoghe misure per l’area di Terni, mese di settembre, sono state ottenute dalla stazione meteorologica Terni-Cesi (Provincia di Terni).

Risultati

Utilizzando le relazioni sopra esposte sono stati calcolati due serie di valori di radiazione netta: quella ($R_{n,MSG}$) ottenuta dai dati di copertura nuvolosa CLAI (equazioni 1-3, 259 valori) e quella ($R_{n,sol}$) ottenuta dalle misure di radiazione solare (equazione 1, step orario). Il calcolo di quest’ultima serie è stato limitato alle ore in cui l’angolo di elevazione solare è maggiore di 10° al fine di evitare valori nulli (notte) o comunque troppo bassi (crepuscolo, sole all’orizzonte). La serie $R_{n,sol}$ è poi stata interpolata temporalmente in corrispondenza dei tempi della serie $R_{n,MSG}$ per potere effettuare il confronto.

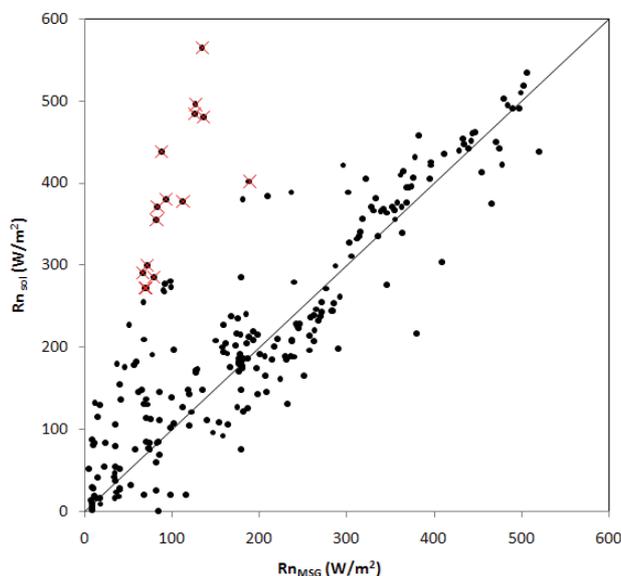


Figura 1. Confronto fra i valori di radiazione netta ottenuta dai valori misurati dal solarimetro e dai valori di copertura nuvolosa MSG

I risultati di questo confronto sono riportati in Figura 1 e in Tabella 1. Come si può vedere dalla figura, le due serie di dati mostrano un accordo soddisfacente con l’eccezione di un gruppo di punti che si staccano dalla zona di identità. Nel grafico sono stati contrassegnati con una crocetta i 15

punti che mostrano differenze superiori a 200 W m^{-2} . Numericamente, questi punti corrispondono ad alcuni casi di copertura nuvolosa totale, con valori di $R_{n,MSG}$ bassi, compresi approssimativamente fra 50 W m^{-2} e 150 W m^{-2} , mentre dal punto di vista temporale essi sono distribuiti praticamente a caso all'interno dei periodi studiati. Le cause di questi casi anomali non sono ancora ben chiare; esse potrebbero avere origine dal ricampionamento 3x3 delle immagini CLAI, dall'imprecisione nell'estrazione geografica dei punti CLAI oppure da situazioni di criticità per l'algoritmo di riconoscimento delle nubi. Escludendo questi punti dalla statistica del confronto i risultati migliorano, come mostrato nella seconda colonna della tabella 1.

	$R_{n,MSG} - R_{n,sol}$	$R_{n,MSG} - R_{n,sol}$ Casi anomali esclusi
N	259	244
Bias	-30 W m^{-2}	-14 W m^{-2}
RMSD	92 W m^{-2}	61 W m^{-2}
R	0.82	0.91

Tabella 1. Confronti fra le serie di radiazione solare netta

Le serie di dati ottenute per il mese di settembre sull'area di Terni sono state poi usate per effettuare due simulazioni della dispersione dei contaminanti emessi da due ciminiere industriali (ipotetiche) posizionate nella zona industriale di Terni. Nella prima simulazione sono stati dati in ingresso al modello i valori misurati di radiazione solare, nella seconda invece il modello è stato impostato in modo da ricavarsi i valori di radiazione netta dai valori di copertura nuvolosa ricavati dalle CLAI.

In Figura 2 è riportata la mappa di dispersione ottenuta nei due casi per il giorno 14 settembre, durante il quale la copertura del cielo ha subito notevoli cambiamenti. Essendo il modello di dispersione considerato un modello lagrangiano a particelle, le mappe riportate esprimono il numero di particelle anziché la concentrazione dei contaminanti. Il calcolo delle concentrazioni costituisce una fase successiva del modello che però non è stata ritenuta essenziale per questa sperimentazione. Come si può vedere le due mappe non presentano differenze degne di nota e questo porterebbe a concludere che il dato di copertura nuvolosa CLAI può sopperire in modo soddisfacente alla mancanza di misure di radiazione solare. Ciò nonostante, una analisi più rigorosa richiederebbe anche la valutazione dell'influenza della radiazione netta sulla dispersione atmosferica, la quale varia fortemente a seconda delle condizioni meteorologiche, in particolare all'intensità delle forze convettive, e della topografia.

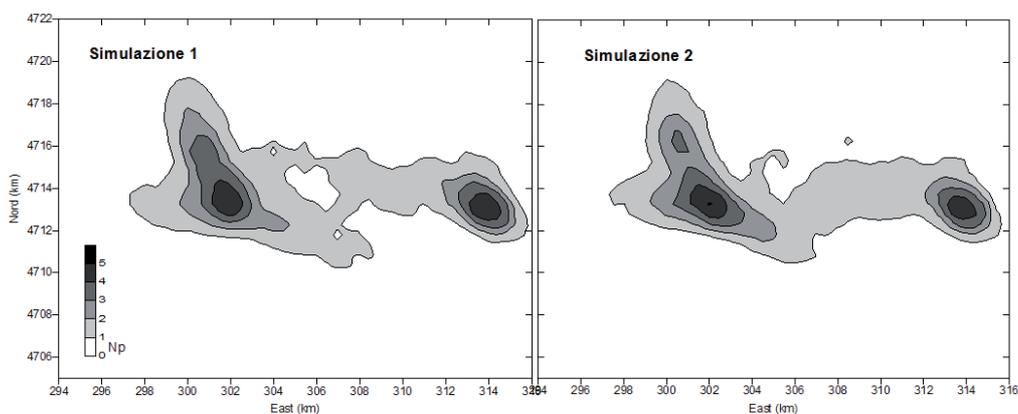


Figura 2. Dispersione dei contaminanti (numero di particelle) ottenute dalle due simulazioni

Conclusioni

Questa sperimentazione ha mostrato come il dato di copertura nuvolosa estratto dalle immagini CLAI derivate dalle immagini MSG-SEVIRI possa essere utilizzato per sopperire alla mancanza di misure di radiazione solare diretta o di radiazione netta alla superficie richieste dai modelli avanzati di simulazione della dispersione atmosferica di contaminanti, ed in particolare per il calcolo dei parametri di scala turbolenti.

Tale conclusione è stata raggiunta confrontando due serie temporali di valori di radiazione netta alla superficie ottenute usando valori di radiazione solare misurate a terra oppure da dati copertura nuvolosa ottenuti dalle immagini CLAI. Come ulteriore conferma, queste due serie di dati sono state poi fornite in ingresso, per due prove distinte, al modello di dispersione Aria Industry. Le mappe di concentrazione ottenute non hanno mostrato differenze significative. Ciò nonostante, questa ultima prova necessita di una ulteriore analisi volta alla valutazione dell'influenza esercitata dalla radiazione solare netta sulle mappe sui risultati del modello di dispersione.

Bibliografia

- Arianet (2002), "SURFPRO, SURface-atmosphere interFace PROcessor User's Guide", Arianet Report, 2002
- EUMETSAT (2009a), "Meteosat Meteorological Products" http://www.eumetsat.int/HOME/Main/Access_to_Data/Meteosat_Meteorological_Products/index.htm?l=en, visitato il 14/09/2009.
- EUMETSAT (2009b), "Unified Meteorological Archive and Retrieval Facility", <http://archive.eumetsat.int/umarf/>, visitato il 14/09/2009
- Schmetz, J., P. Pili, S. Tjemkes, D. Just, J. Kerkmann, S. Rota, and A. Ratier, (2002) "An introduction to METEOSAT Second Generation (MSG)", Bull. Am. Meteorol. Soc., 83, pp 977-992.
- Tinarelli G., D. Anfossi, M. Bider, E. Ferrero, S. Trini Castelli (1998), "A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies". Proc. of the 23rd CCMS-NATO Meeting (Varna, Bulgaria, September-October 1998) Kluwer Academic Publishers, 499-507.
- Van Ulden A. P., Holtslag A. A. M. (1985), "Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion application", J. Clim. Appl. Meteor., 24, 1196-1207.
- WMO (2003) "Guide to the WMO Table Driven Code Form Used for the Representation and Exchange of Regularly Spaced Data In Binary Form: FM 92 GRIB Edition 2", WMO ed., Ginevra, 2003.