

CORRELAZIONE TRA MISURE DI PARTICOLATO ATMOSFERICO E SPESSORE OTTICO NELL'INTERVALLO SPETTRALE 350-2500 NM

Roberto SALZANO, Ruggero CASACCHIA (*), Rosamaria SALVATORI,
Alessandra GRIGNETTI, Cinzia PERRINO

CNR-IIA Via Salaria km 29,300 00016 Monterotondo Stazione (Roma)
(*casacchia@iia.cnr.it)

Riassunto

La radiazione registrata da un sensore satellitare dipende, oltre che dalle caratteristiche della superficie indagata, anche dal cammino ottico attraverso l'atmosfera, che determina fenomeni di diffusione e/o assorbimento della radiazione in funzione della densità e delle dimensioni delle particelle in essa sospese. In ambito urbano un'attenzione particolare è rivolta al monitoraggio del particolato atmosferico (PM10), la cui componente carboniosa è in grado di assorbire sensibilmente la radiazione solare incidente, e determinare quindi, in funzione della concentrazione, una diminuzione dei valori radiometrici registrati al suolo. In tale ambito è stato effettuato un esperimento per determinare la correlazione tra misure di particolato atmosferico e valori di irradianza atmosferica acquisiti simultaneamente in condizioni di cielo limpido.

Abstract

Radiation recorded by satellite sensors depends on investigated surface features and on optic pathway through the atmosphere. This last interaction determines light scattering and radiation absorption, which is controlled by density and dimension of particles dispersed in the medium. A particular attention, in urban environment, is focused on particulate matter monitoring. The carbonaceous component of that is able to absorb the solar incoming radiation, and so to determine, according to concentration, a decrease of the ground recorded radiometric value. An experiment was performed to determine the correlation between particulate matter and atmospheric irradiance acquired simultaneously in clear sky condition.

Introduzione

La composizione chimica del materiale particellare assume una particolare rilevanza nelle proprietà ottiche dell'atmosfera. La componente carboniosa, che è una delle costituenti principali del PM10, è, infatti, in grado di assorbire sensibilmente la radiazione solare incidente, e quindi può determinare, in funzione della concentrazione, una diminuzione dei valori radiometrici, riferiti sia ai target superficiali, che alla colonna atmosferica sovrastante.

L'irradianza effettiva misurata al suolo è funzione di diversi fattori come l'interazione con l'atmosfera terrestre e la distanza Terra – Sole. Ovviamente la misura di questa quantità al suolo risentirà anche dell'elevazione solare.

L'atmosfera si sviluppa per più di 500 Km dal livello del mare e la sua trasparenza è funzione della sua composizione chimica. La torbidità atmosferica varia nel dominio delle lunghezze d'onda a seconda della concentrazione di specifiche componenti, che possono essere distinte in fasi permanenti e costituenti variabili. La distribuzione delle componenti permanenti è ben nota in letteratura e risulta abbastanza omogenea lungo le quote più basse dell'atmosfera. La distribuzione delle componenti variabili è molto eterogenea e dipende dalle condizioni locali del sito (i.e. uso del

territorio, climatologia). L'interesse per questo tipo d'interazione deriva dal fatto che i costituenti dell'atmosfera sono in grado di diffondere, assorbire, rifrangere, riflettere ed emettere radiazioni elettromagnetiche alterando l'originario spettro solare.

L'atmosfera è in grado di impedire o attenuare la trasmissione di determinate lunghezze d'onda in funzione della sua composizione chimica. L'energia che rimane intrappolata in essa viene poi rilasciata a lunghezze d'onda maggiori, soprattutto nel campo termico. Gli effetti dei costituenti permanenti dell'atmosfera sono ben noti in bibliografia (Iqbal, 1983; Gomasasca, 2004) ed agiscono su bande caratteristiche in funzione della loro concentrazione.

Diversi autori (Iqbal, 1983; Kasten, 1996; Dubovik & King, 2000; Stettler, von Hoyningen, 1996; Zakey et al., 2004; Tomasi et al., 1997) propongono il calcolo dello spessore ottico per sottrarre tali interferenze e suggeriscono altre correzioni per giungere ad un parametro indice della torbidità atmosferica indotta dalla presenza degli aerosol. Tutti questi calcoli si basano però sulla misura della radiazione solare diretta, che necessita l'impiego di apparecchiature in grado di orientare costantemente il sensore verso il centro del disco solare con un angolo d'apertura molto ridotto.

Un approccio diverso allo stesso problema è costituito dalla misura dell'irradianza globale al suolo che può essere effettuata al suolo con sensori meno complessi e più economici rispetto ai precedenti. La radiazione solare misurata con una lente emisferica permette di misurare intensità luminose maggiori e di non dover seguire il disco solare nel cielo.

La possibilità che con misure di questo tipo si possano ottenere, in modo rapido ed economico, informazioni sulla torbidità atmosferica, nasce dall'osservazione che lo spessore ottico globale (GOT) ha buona corrispondenza con lo spessore ottico dell'aerosol e quindi con la presenza di polveri nell'aria (Figura 1).

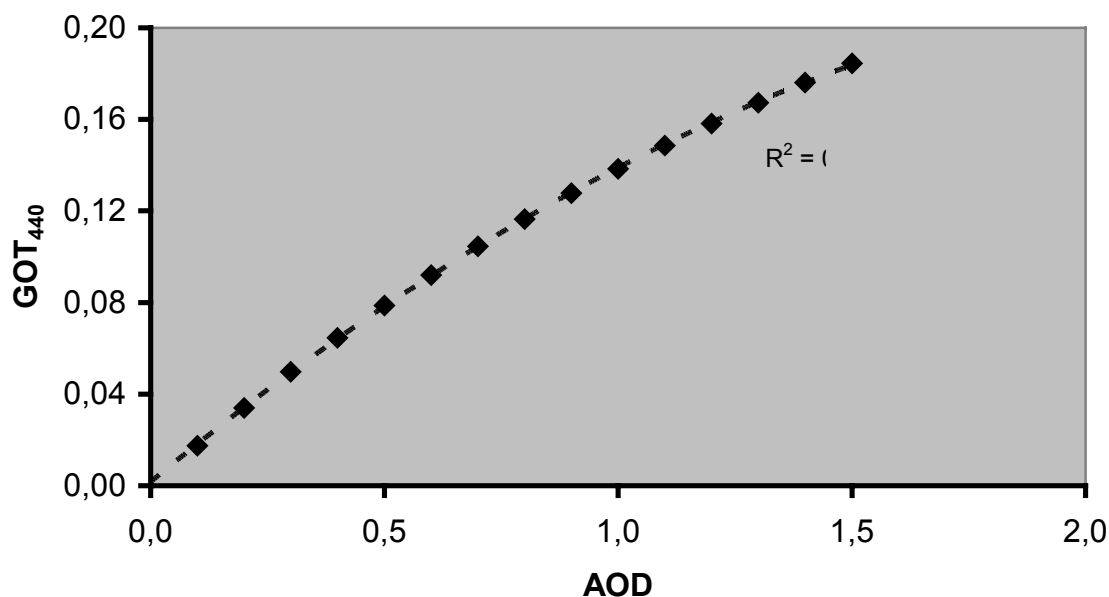


Figura 1 - Correlazione tra misure di GOT calcolata a 440 nm e profondità ottica dell'aerosol (AOD) elaborate con il foglio di calcolo SPCTRAL2.

Tale premessa suffraga la possibilità di mettere a punto un metodo di misura della torbidità atmosferica con uno strumento di facile impiego, con possibile trasferimento della metodologia a dati satellitari. Oggetto di questo studio è valutare tale potenzialità attraverso il confronto con le tecniche tradizionali di determinazione del contenuto atmosferico in polveri.

Misure del particolato

I dati relativi alla concentrazione di massa del PM10 e del PM2.5 sono stati acquisiti mediante analizzatori automatici ad attenuazione beta (SWAM Monitor, FAI Instruments, Fontenuova, RM-I) operanti alla portata di 2.3 m³/h e su un intervallo temporale di 24 ore. Il conteggio del numero di particelle è stato operato negli intervalli dimensionali 0.3-0.5µm, 0.5-1µm, 1-1.5µm, 1.5-2µm e >2µm, su un intervallo temporale di 5 minuti mediante un contatore ottico laser CLIMET CI-4224 il cui segnale viene acquisito in tempo reale mediante una scheda multicanale gestita tramite PC.

Misure radiometriche

E' stata eseguita una campagna di misure radiometriche dall'Ottobre 2004 fino a Maggio 2005, presso l'Area della Ricerca del CNR di Roma - Montelibretti. E' stato individuato come sito, ottimale per l'acquisizione delle misure d'irradianza solare, un piazzale libero da copertura vegetazionale e da manufatti antropici, situato in prossimità delle centraline per il monitoraggio atmosferico dell'Istituto.

Le misure di irradianza atmosferica sono state effettuate mediante lo spettrometro Fieldspec su cui è stata montata una lente nota come *Remote Cosine Receptor* (RCR) che registra l'irradianza atmosferica (o illuminazione diffusa), espressa in W m⁻² nm⁻¹. Il sensore RCR integra il flusso di luce da tutte le direzioni che sarebbero intercettate da una superficie piana (2π).

I dati spettrometrici devono essere necessariamente acquisiti in condizioni atmosferiche stabili e prive di copertura nuvolosa. Per i fini di questo lavoro è stato messo a punto un protocollo d'acquisizione degli spettri tale da ottenere una serie di misure campionate ogni minuto circa. Nell'arco di tempo precedentemente citato, le giornate utili alla misurazione dell'irradianza solare sono state 18.

Al fine di rendere confrontabile il dato d'irradianza con quello chimico è stato necessario effettuare una serie di integrazioni delle acquisizioni, la prima delle quali è stata finalizzata al calcolo delle medie d'irradianza spettrale ad intervalli congruenti a quelli delle misure nefelometriche. Ciò ha permesso di confrontare il dato radiometrico con il conteggio del numero di particelle aerodisperse durante l'intera sessione di misura.

Lo studio della variazione d'irradianza totale durante la giornata, associata alla mutazione dell'angolo d'elevazione solare, ha permesso di verificare la presenza di una finestra temporale durante la quale l'intensità della radiazione solare incidente sul sito di studio è pressoché costante ed omogenea. Tale finestra mantiene questi caratteri durante tutto l'anno, e che tale scelta è ottimale per confrontare misure effettuate in periodi diversi dell'anno. Al fine di ottenere una popolazione di misure statisticamente omogenee e le più possibili rappresentative, sono stati considerati gli spettri d'irradianza acquisiti tra le 12 e le 14 (ora solare). Il calcolo della media di tutti questi spettri, ha consentito di ricavare un unico set di valori rappresentativo della giornata di misura.

Gli spettri così ottenuti sono stati ulteriormente elaborati per normalizzare le condizioni d'insolazione delle diverse giornate di misura. La normalizzazione praticata per poter confrontare il dato di giornate diverse del periodo dell'anno è stata eseguita applicando la formula

$$GOT_{\lambda} = -\frac{1}{m} \ln \tau_{\lambda} = -\frac{1}{m} \ln \frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda}^0} \quad [1]$$

dove

GOT_{λ} è lo spessore ottico globale legato alla torbidità atmosferica

τ_{λ} è la trasmittanza

I_{λ} è l'irradianza misurata

I_{λ}^0 è l'irradianza teorica in condizione di assenza di polveri aerodisperse

m è la massa ottica dell'atmosfera

L'irradianza globale teorica, calcolata al suolo in condizione d'assenza di polveri aerodisperse nella colonna atmosferica, è stata ricavata dal modello SPCTRAL2 (Bird, Riordan, 1984).

Risultati

Il dato radiometrico così ottenuto è stato analizzato al fine di selezionare le lunghezze d'onda più idonee per i fini del lavoro. Seguendo le indicazioni fornite dall'esperienza della rete AERONET, è stata individuata la lunghezza d'onda di 440 nm come la più adatta per evidenziare la presenza delle polveri aerodisperse in atmosfera. Lo spessore ottico globale ottenuto per tale lunghezza d'onda con l'equazione 3 è stato confrontato sia con i valori di concentrazione (Figura 2) che con il numero di particelle appartenenti alle diverse classi granulometriche (Figura 3).

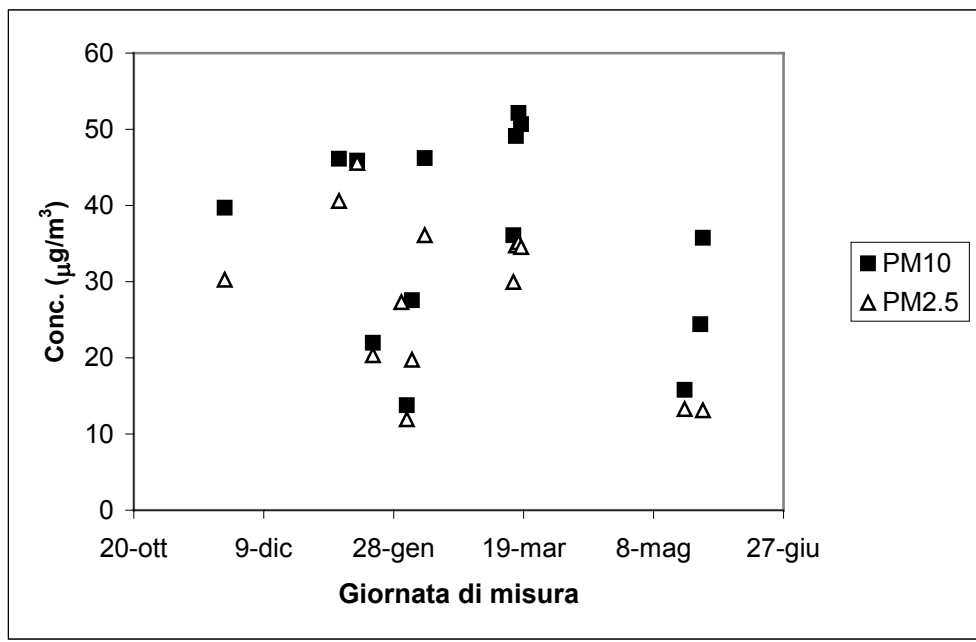


Figura 2 - Dati di PM10 e PM2.5 misurata durante la campagna radiometrica (media di 24h).

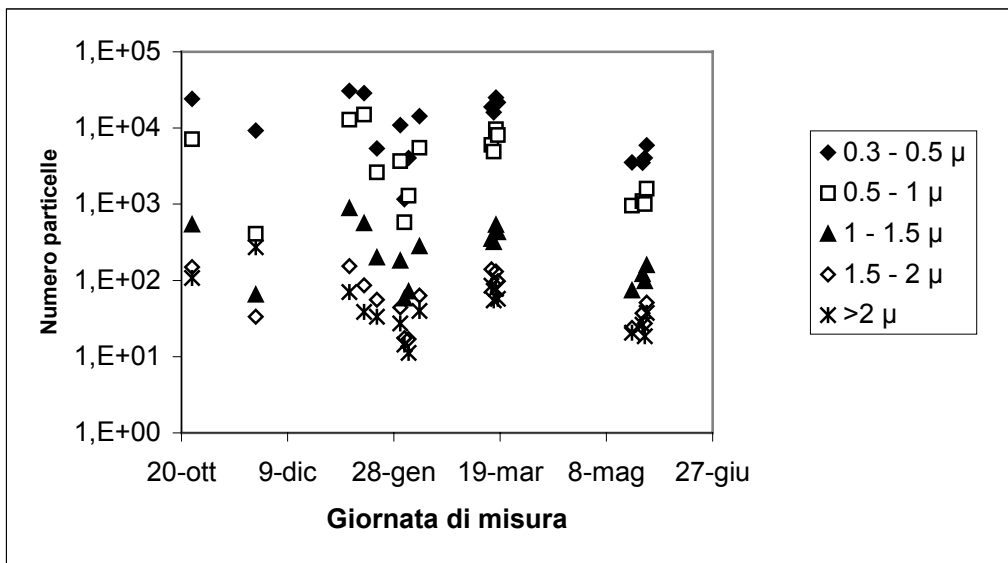


Figura 3 - Andamento del numero di particelle aerodisperse rilevato durante la campagna radiometrica (media 12-14 ora solare).

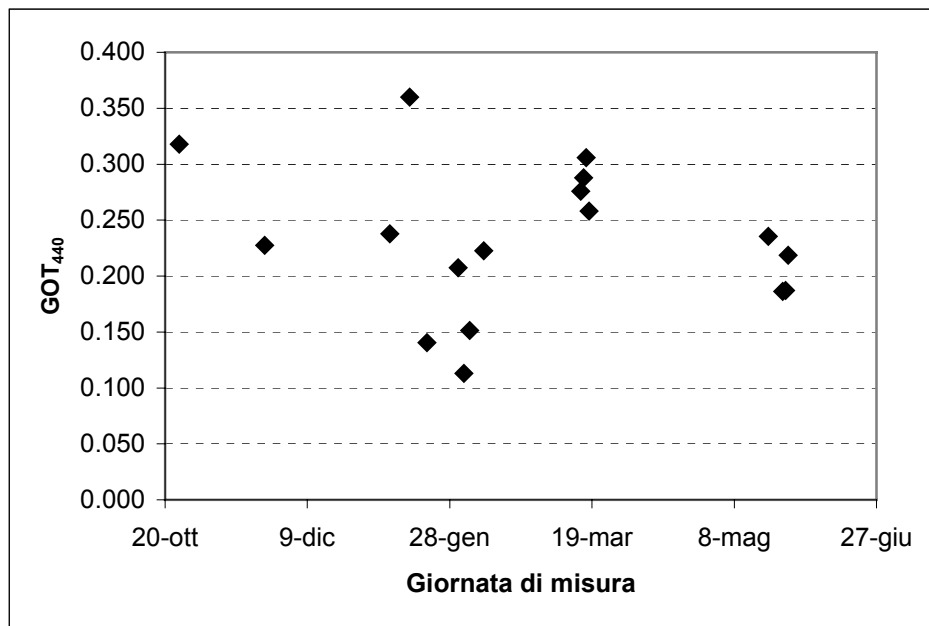


Figura 4 - Variazione dello spessore ottico globale (GOT), calcolato per la lunghezza d'onda di 440 nm (media 12-14 ora solare).

La figura 4 evidenzia come vi sia una buona correlazione tra lo spessore ottico globale, misurato alla lunghezza d'onda di 440 nm, e le variazioni del particolato aerodisperso (figure 2 e 3). In dettaglio, gli eventi di bassa torbidità atmosferica rilevati con il GOT₄₄₀ corrispondono in modo soddisfacente con quelli registrati dalle centraline di monitoraggio al suolo. I dati mostrati in figura 5 sottolineano come vi sia una maggiore correlazione con la presenza delle polveri più fini. Il non perfetto allineamento tra i valori può essere imputato sicuramente alle variazioni del dato misurato all'interno della finestra temporale selezionata. A questa discrepanza si può anche aggiungere la differenza di spessore atmosferico che interessa in modo diverso le misure radiometriche e quelle fisico-chimiche. Non va trascurato, infatti, che le stazioni "tradizionali" indagano lo strato della troposfera più prossimo alla superficie mentre con lo spettroradiometro il mezzo investigato è l'intera colonna atmosferica.

Conclusioni

Allo stato attuale è stato definito un protocollo di misura che garantisce un set di dati omogenei e confrontabili. È stata individuata una procedura di normalizzazione del dato, tale da eliminare i problemi derivanti dalle diverse condizioni d'esposizione solare del sito di studio e gli effetti dovuti alla diffusione. È stata accertata la presenza delle bande d'assorbimento dell'acqua e localizzata una banda associata alla presenza delle polveri aerodisperse. La lunghezza d'onda di 440 nm mostra una buona correlazione con le diverse frazioni granulometriche del particolato, ma denota una buon'affinità con le polveri più sottili. Tuttavia la metodologia utilizzata necessita di un campione di misure d'irradianza più esteso nel tempo; inoltre il modello per il calcolo dello spessore ottico globale necessita d'ulteriori verifiche, riferite in particolare agli effetti determinati da una bassa elevazione solare.

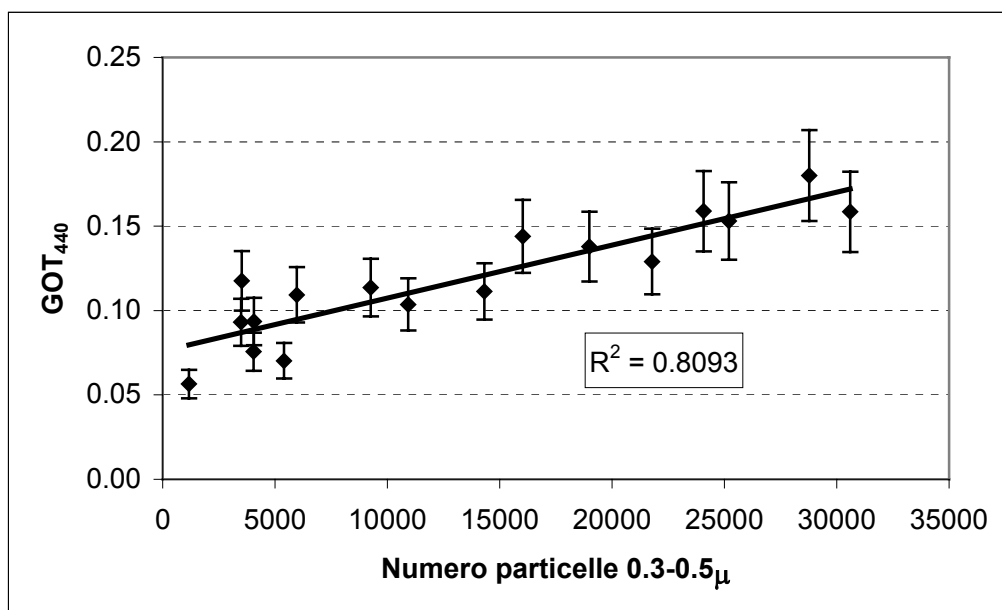


Figura 5 - Relazione rilevata tra lo spessore ottico globale, calcolato a 440 nm, ed il numero di particelle di dimensioni comprese tra 0.3 e 0.5 μ m.

Ringraziamenti

Lavoro svolto nell'ambito del Progetto "Confronto e integrazione tra tecniche di Telerilevamento a immagine e misure a terra per lo studio di parametri chimico-fisici dell'atmosfera in aree ad elevata concentrazione industriale", coordinato dall'Università di Modena e Reggio Emilia (Prof. S. Teggi) con fondi ISPESL (B49/DIPIA/02).

Bibliografia

- Bird R., Riordan C. (1984). Simple Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres. *Journal of Climate Applied Meteorology* 25, 87-97.
- Dubovik O., King M.D. (2000). A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research* 105 (16), 20673-20696.
- Gomasasca M.A. (2004). *Elementi di Geomatica*, Ed. Associazione Italiana Telerilevamento.
- Iqbal M. (1983). *An introduction to solar radiation*. Academic Press, Toronto.
- Kasten F. (1996). The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness. *Solar Energy* 56 (3), 239-244.
- Stettler M., von Hoyningen-Heune W. (1996). On the relation between haze layer and air mass aerosol at an urban location – case studies. *Atmospheric Research* 40, 1-18.
- Tomasi C., Vitale V., Tarozzi L. (1997). Sun photometric measurements of atmospheric turbidity variations caused by the Pinatubo aerosol cloud in the Himalayan region during the summer periods of 1991 and 1992. *Il nuovo cimento* 20 (1), 61-87.
- Zakey A.S., Abdelwahab M.M., Makar P.A. (2004). Atmospheric turbidity over Egypt. *Atmospheric Environment* 38, 1579-1591.