Sistema integrato per il monitoraggio di PM2.5 da piattaforma satellitare: PM MAPPER e Visio PM per amministrazioni pubbliche

Stefano NATALI (*), Emanuele BORASIO (**), Simone MANTOVANI (*), Pietro Domenico DE COSMO (**)

(*) M.E.E.O. S.n.c. San Giovanni di Ostellato - Ferrara
(**) GEOTEMA S.r.l. Polo Tecnologico - Ferrara

Abstract
Il controllo e la tutela della qualità dell'aria a livello nazionale, regionale e provinciale recepisce normative definite a livello europeo: ogni amministrazione è tenuta a definire un proprio " Piano della qualità dell'aria" per salvaguardare la salute dei cittadini. Tale piano è stato introdotto dalla direttiva 1996/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambientale in cui sono indicate le modalità da adottare per verificare la qualità dell'aria, determinarne gli obiettivi e per porre in atto piani e programmi di riduzione dell'inquinamento atmosferico nelle zone in cui vi sono superamenti dei limiti, nonché programmi di prevenzione della qualità dell'aria nelle altre zone. Le direttive 1999/30/CE, 2000/69/CE e 2002/3/CE stabiliscono gli obiettivi di qualità dell'aria da raggiungere sul territorio dell'Unione Europea entro determinate date. Il presente lavoro ha lo scopo di descrivere come le metodologie di Osservazione della Terra da Satellite possano essere utilizzate per monitorare la qualità dell'aria al suolo e come i dati rilevati possano essere resi disponibili alle Amministrazioni Locali per la gestione del territorio tramite un sistema web-based.
Sono due i problemi maggiori che si incontrano nell'utilizzare le attuali tecniche di misura al suolo per la definizione di scenari provinciali e regionali di inquinamento: la natura puntuale della misura e la scarsa copertura spaziale che non permette di coprire in modo adeguato le zone del dominio da monitorare. Questi due problemi possono essere superati utilizzando informazioni provenienti da sensori satellitari multispettrali, che permettono di estrarre il contenuto di particolato (PM2.5) su vaste aree (oltre 1000x1000 km) con una griglia di misura uniforme. Il metodo che viene proposto, denominato PM MAPPER, fornisce misure di PM 2.5 con una risoluzione al suolo di 10x10 km ed una frequenza temporale giornaliera. PM MAPPER è stato integrato in un sistema webGIS ad hoc, chiamato Visio-PM tramite il quale i dati misurati possono essere visualizzati e scaricati tramite un'interfaccia web protetta ed accessibile da utenti autorizzati.
PM MAPPER certifica una affidabilità del retrieval di PM2.5 del 90%; il metodo è stato proposto a diverse Amministrazioni Locali per il monitoraggio provinciale e regionale e siti di particolare interesse naturalistico. I risultati delle prime applicazioni si avranno nella seconda metà del 2006.

The control and preservation of air quality at national, regional and local scale is based on European regulations: each local authority must define its own "Air Quality Plan" in order to put into execution EU regulation and increase citizen health safety. This plan was introduced by the EC regulation n. 1996/62/CE, and it deals with methods to verify air quality, define target values and identify actions to take place when measured values are higher than defined values, as well as prevention actions on areas not yet affected by values over threshold.
This work has the main aim to describe how Remote Sensing (RS) Earth Observation (EO) techniques can be used for qualitative and quantitative air quality monitoring, and how this information can be transferred to the devoted Local Authority by means of a web-based system for an effective and optimal local management.

There are two main drawbacks on using standard ground-based air quality measuring techniques for local and regional management: the punctual nature of the measurement and the scarce number of stations that cannot adequately represent the entire territory. These two problems can be overcome making use of information coming from multispectral satellite-borne sensors, that allows extracting particulate Matter (PM) 2.5 fields over wide areas (larger than 1000 x 1000 km) with an almost uniform grid mash. The proposed method, named PM MAPPER, provides near surface PM2.5 maps with 10 x 10 km ground resolution and daily coverage. PM MAPPER has been integrated with an ad hoc webGIS service called Visio-PM, that allows the visualization of the generated PM2.5 maps in a GIS environment, and allows also downloading GIS-compatible data through a web interface with protection and crypt criteria limited to authorised users.
PM MAPPER performance has been evaluated and the PM2.5 retrieval field has a correlation coefficient of 0.9 with on-ground measured 24h mean value. PM MAPPER has been proposed to many local entities and benefits of its application will be available by the end of 2006.

Introduzione
PM MAPPER è un sistema di misura delle polveri fini (PM 2.5) sviluppato da MEEO partendo da un progetto di ricerca americano sviluppato nell'ambito di una collaborazione tra la NASA e l'Università del Wisconsin. VISIO è un'applicazione web interattiva sviluppata da GEOTEMA, si tratta di un'applicazione opensource basata su un progetto informatico openGIS per la fornitura di dati geografici via web. Dal sodalizio tra le due aziende è nato il progetto Visio PM per la fornitura on line di un servizio di monitoraggio della qualità dell'aria.

PM MAPPER
PM Mapper è un prodotto che consente di monitorare le polveri sottili PM2.5 mediante l'impiego di sensori satellitari multispettrali.
Utilizzando la rete di satelliti orbitanti è possibile calcolare la distribuzione di particolato atmosferico su scala globale con cadenza giornaliera con una risoluzione spaziale di 10 x 10 km.
Il metodo è stato sviluppato e calibrato per le regioni della costa Est degli Stati Uniti nell'ambito del progetto IDEA - Infusing Satellite Data into Environmental Applications (http://idea.ssec.wisc.edu): il metodo calibrato certifica una affidabilità del retrieval di PM2.5 del 90%. Di particolare interesse risulta la possibilità di effettuare calibrazione e validazione con i dati registrati da stazioni a terra, ad esempio con quelli delle Agenzie Regionali Prevenzione e Ambiente, e la possibilità di utilizzare le mappe generate come input di modelli numerici previsionali. Di seguito si propone un esempio di applicazione del prodotto.

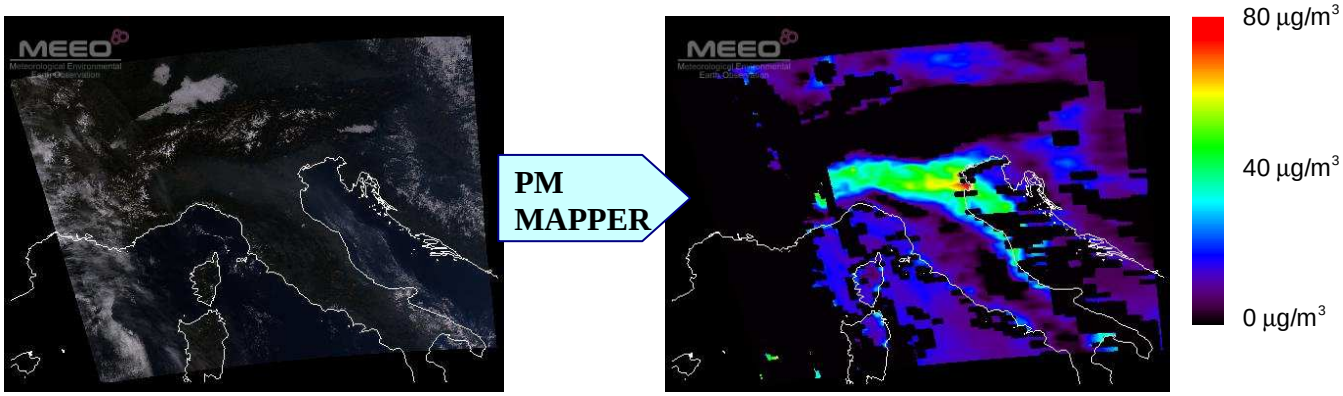

Figura 1. Immagine sull'Italia del 16 Ottobre 2005.

Figura 2. Concentrazione del particolato sottile, PM 2.5 al suolo misurata da satellite.

In Figura 2 è riportata la concentrazione al suolo di PM2.5 relativa allo stesso istante Figura 1: da un'interpretazione qualitativa dell'immagine si evidenzia una condizione di inquinamento sulla pianura Padana, con un massimo nella zona del Delta del Po.
Dalle misure di concentrazione di PM2.5 si possono estrarre mappe di pericolosità dell'aria per la salute umana in base alla classificazione US EPA 1997 di Tabella 1: la scena rappresentata in Figura 3 mostra una situazione non salutare per individui sensibili diffusa, che diviene non salutare nella zona del Delta del Po.

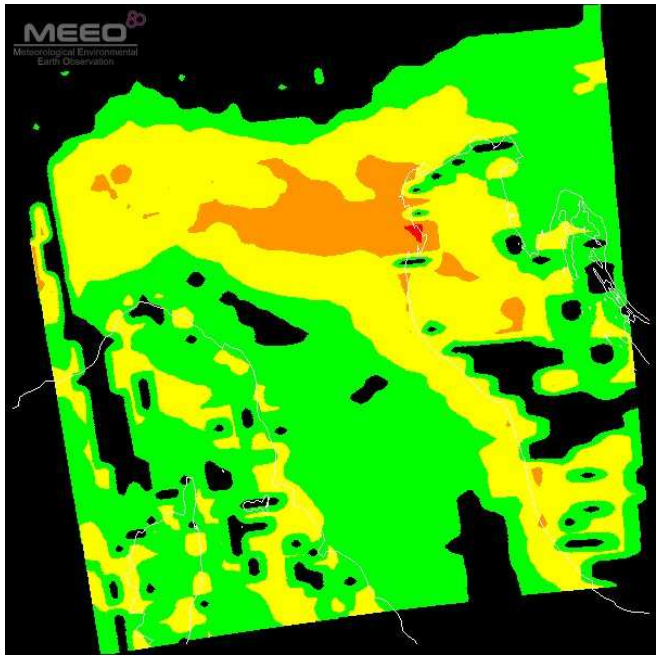

Figura 3. Mappa di pericolosità secondo US EPA 1997 per il giorno 16 ottobre 2005. I colori rappresentati corrispondono alle classi riportate in tabella 1.

Indice	**Qualità dell'aria**	**$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)**
0-50	Buona	0-15.4
51-100	Moderata	15.5-40.4
101-150	Non salutare per categorie sensibili	40.5-65.4
151-200	Non salutare	65.6-150.4
201-300	Pericolosa	150.5-250.4

Tabella 1. Classificazione US EPA 1997 delle categorie di pericolosità del particolato atmosferico PM 2.5.

PM MAPPER è un sistema di monitoraggio in continua evoluzione, infatti nell'immediato futuro è previsto l'incremento della risoluzione spaziale a 5 x 5 km e, per alcune zone particolarmente inquinate, fino a 1 x 1 km. Inoltre grazie a nuove tecniche di elaborazione delle immagini satellitari sarà possibile introdurre la stima di Ozono nella bassa troposfera.
E' chiaro che PM MAPPER risulta essere uno strumento in grado di affiancare i tradizionali sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria quali le stazioni di rilevamento al suolo e la modellistica. In particolare, nell'ambito della modellistica previsionale, PM MAPPER è in grado di fornire una base dati ampia ed accurata per l'inizializzazione dei modelli e, al tempo stesso, è in grado di fornire valori di riscontro su ampia scala per la verifica della bontà dei modelli impiegati.

Un ulteriore vantaggio consiste nella possibilità di studiare eventi intensi occorsi nel passato. Infatti, compatibilmente con la disponibilità nel database delle immagini satellitari archiviate, è possibile analizzare nel dettaglio eventi pregressi studiandone l'evoluzione, gli eventuali apporti esterni inizialmente non considerati e valutare l'efficacia delle eventuali misure adottate.
Grazie alle possibili applicazioni descritte, PM MAPPER è uno strumento che trova nella pubblica amministrazione il suo naturale utilizzatore. Infatti sono proprio gli enti preposti al monitoraggio che devono fornire indicazioni e tempistiche riguardo a possibili interventi atti a ridurre l'inquinamento e, trattandosi spesso di decisioni impopolari, vanno prese sulla base di maggiori e sempre più affidabili informazioni.

Visio PM

L'integrazione di PM MAPPER in un sistema GIS fruibile via web ha lo scopo di semplificare l'accesso e l'utilizzo al un servizio di analisi di dati satellitari: infatti gli utenti di tale servizio debbono poter accedere e manipolare i dati rapidamente ed in un formato conosciuto e diffuso quale il GIS.
Visio PM è un'applicazione basata su tecnologia informatica opensource. E' un sistema sostanzialmente basato su MAPSERVER, un ambiente di sviluppo opensource concepito appositamente per la gestione e la pubblicazione di informazioni spaziali che gestisce sia le informazioni geografiche, come le semplici coordinate che contenuti informativi (ad esempio PM MAPPER). MAPSERVER inoltre comunica con l'interfaccia web tramite il linguaggio JAVA. MAPSERVER è scritto in linguaggio PHP ed ha l'enorme vantaggio di poter essere utilizzato sia sotto windows che sotto linux.
Il sistema supporta diversi formati di archiviazione delle informazioni sia in formato vettoriale (shapefile, PostGIS/PostgreSQL, ESRI ArcSDE, ecc.) che in formato raster (TIFF/GeoTIFF, EPPL7, ecc.).
Il funzionamento del sistema è ben sintetizzato in figura 4.

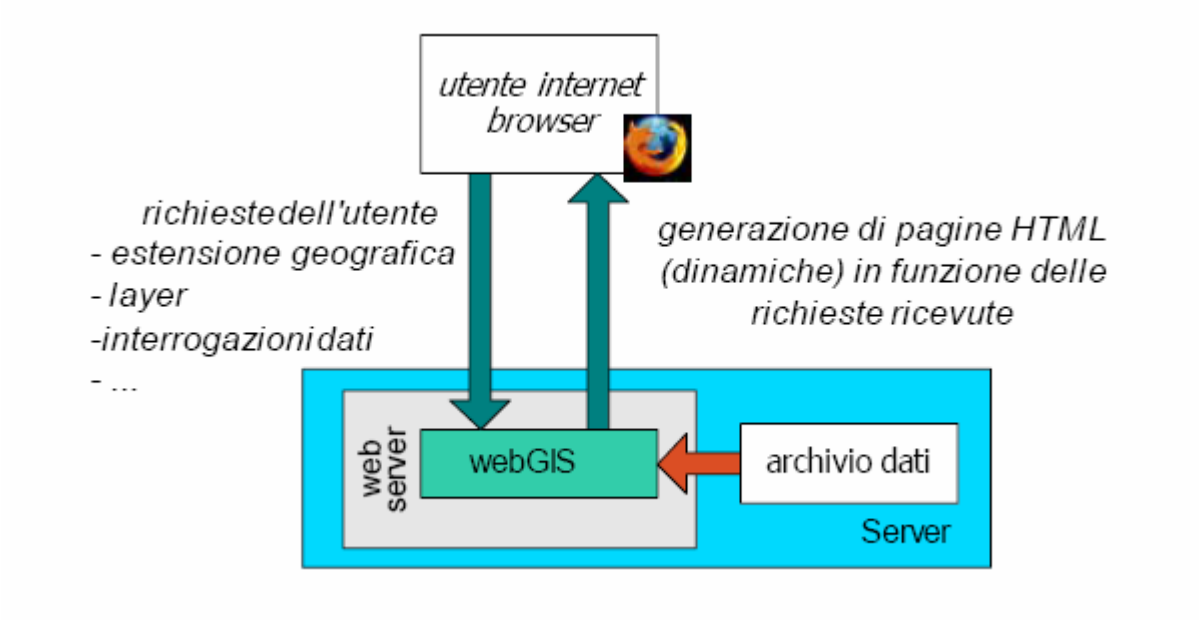

Figura 4. Schema di funzionamento di Visio PM.

Come illustrato dallo schema in figura 4, le richieste inoltrate via web vengono acquisite dal software che provvede ad estrarre le informazioni richieste dall'archivio dati residente sulla medesima macchina. Tuttavia, questa modalità sincrona di funzionamento in cui la richiesta e la risposta sono quasi simultanee prevede che le informazioni elaborate siano già presenti sul server.

Esiste la possibilità di implementare un sistema più evoluto detto asincrono in cui i dati vengono elaborati sulla base della richieste pervenute via web. Il sistema infatti provvede in modo totalmente automatico ad acquisire il dato grezzo, ad estrarre le informazioni richieste ed a pubblicarle vie web secondo le richieste. Questa modalità di funzionamento se da un lato non fornisce la risposta in tempo reale, dall'altro appare sicuramente più efficace in quanto elabora solamente i dati richiesti.

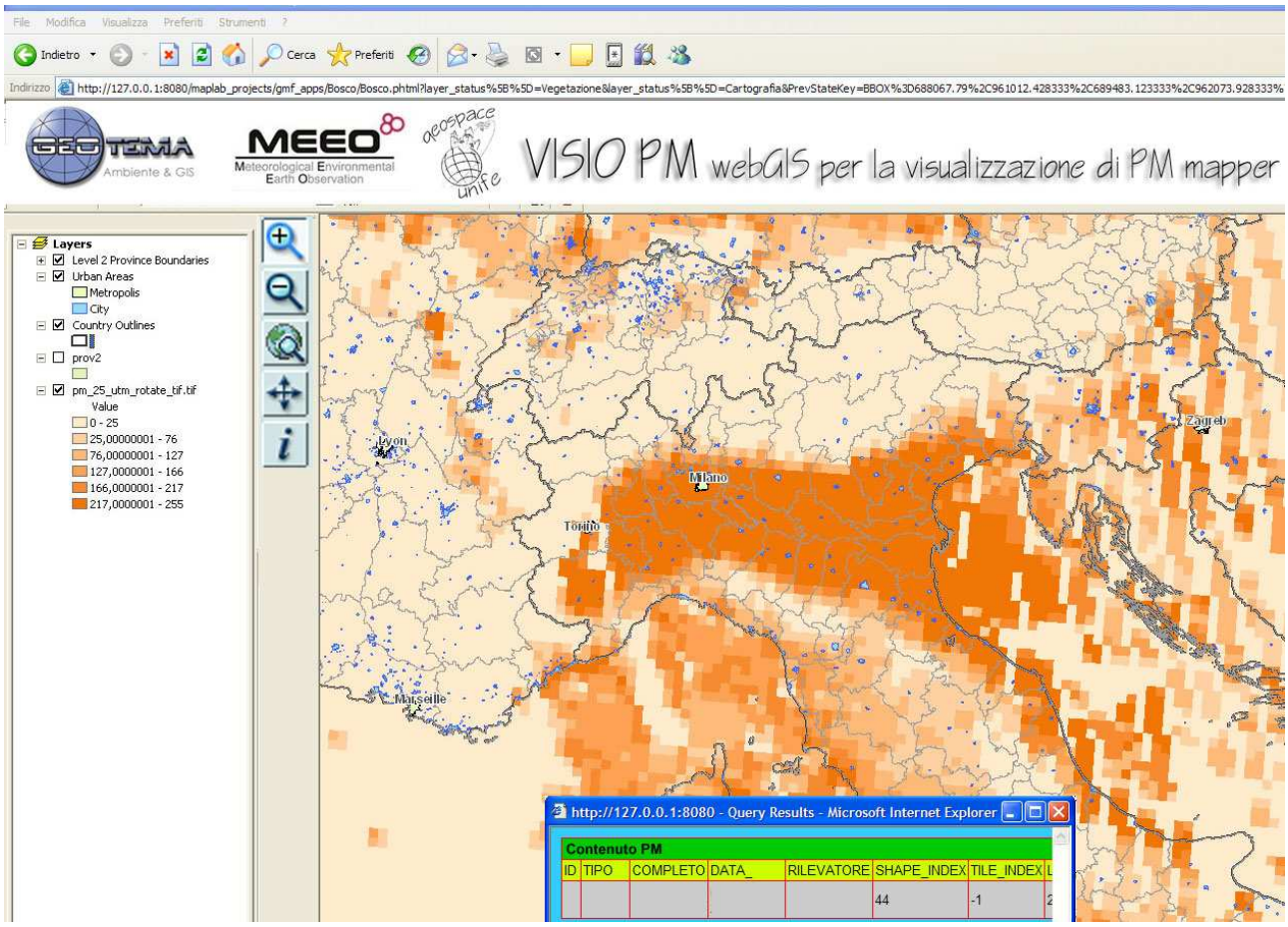

Figura 5. Prodotto informativo di Visio PM visto dal lato utente.

La figura 5 mostra un esempio di una mappa di concentrazione di PM 2.5 in formato GIS. L'interfaccia è facilmente utilizzabile ed interpretabile in quanto ricorda i più comuni sistemi GIS in circolazione. L'informazione richiesta, ovvero la concentrazione di particolato fine è un layer sovrapposto alla mappa geografica.

Conclusioni

L'integrazione di servizi informativi geografici e di monitoraggio del territorio in applicazioni web-based non costituisce, di per sé, un grossa novità in quanto si tratta di un'idea che, per quanto possa essere recente, si sta rapidamente diffondendo e sviluppando. Si sta assistendo infatti ad in incremento esponenziale sia dal punto di vista della complessità della tecnologia di applicazioni web based, sempre più sofisticate e performanti, sia dal punto di vista del prodotto che questi strumenti sono in grado di veicolare, ovvero le informazioni territoriali. Grazie ad una maggiore diffusione di immagini satellitari, questa tecnologia sta uscendo dai laboratori di ricerca e dai tradizionali campi d'impiego civile quali ad esempio la meteorologia producendo una miriade di servizi di grande utilità immediata per la pubblica amministrazione e per il cittadino. Visio PM va inteso esattamente in questa direzione, infatti coniuga un servizio di indiscutibile utilità quale il

monitoraggio quasi in tempo reale delle polveri sottili con la rapidità di diffusione e la grande accessibilità di un sistema web interattivo.

Bibliografia

Kittaka, C., J. Szykman, et al. (2004). Utilizing MODIS Satellite Observations to Monitor and Ana-lyze Fine Particulate Matter, PM2.5, Transport Event. *Sixth Conference on Atmospheric Chemistry: Air Quality in Megacities*, Seattle. Washington, American Meteorological Society

Negretti M., (2005) Mapserver, *Politecnico di Milano*. Presentazione.

Ingvarsson T.M., (2004) MapServer An OpenSource Web-Map Applications.