Supporto alla progettazione di una rete di monitoraggio atmosferica mediante elaborazione di immagini satellitari e tecniche GIS

Rosamaria Salvatori (*), Paolo M. Colella, Roberto Salzano, Micol Biscotto, Ruggero Casacchia

(*) CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico - Monterotondo Scalo (Roma), Italy – salvatori@iia.cnr.it

Riassunto
Scopo del presente lavoro è fornire un supporto alla realizzazione di una nuova rete di monitoraggio della qualità dell'aria nella località di Pančevo (Serbia), in maniera tale che il posizionamento delle centraline fisse sia il più possibile rappresentativo delle realtà presenti sul territorio. Il telerilevamento da satellite rappresenta uno strumento fondamentale per l'analisi territoriale propedeutica alla realizzazione di una rete di monitoraggio dell'aria perché è in grado di fornire la cartografia di base del sistema GIS su cui analizzare i dati di inquinanti.

Summary
The aim of this paper is to support the establishment of a new air quality monitoring network in the area of Pančevo (Republic of Serbia), in order to make sure that the positioning of monitoring stations will reflect, as representatively as possible, the characteristics of the analyzed area. Remote sensing is an essential tool which, however, requires the development of adequate elaboration and image interpretation techniques, in order to ensure that the land cover and use data are properly integrated with the pollutants concentration maps in a Geographic Information System.

1. Introduzione

L'esigenza di uno studio sull'inquinamento atmosferico nei Paesi dell'Est Europa, in assenza di legislazione nazionale di recepimento della normativa europea, deriva dalla necessità di adeguarsi alle direttive comunitarie che stabiliscono i criteri per la valutazione della qualità dell'aria negli Stati membri. A tal scopo l'integrazione tra dati di inquinanti, opportunamente elaborati in ambiente GIS, e analisi territoriali, derivate dalla elaborazione delle immagini telerilevate, rappresenta la strategia operativa più idonea.
Questa integrazione non solo permette di rispettare le indicazioni fornite dalla normativa (96/62/CE) circa il posizionamento e le caratteristiche delle centraline per il monitoraggio dell'aria, ma risulta essere anche uno strumento utile per la realizzazione di uno studio ambientale combinato "a difesa dell'aria, dell'acqua e del suolo", così come indicato dalla direttiva stessa.
La conoscenza del territorio mediante realizzazione di mappe di uso e copertura del suolo rappresenta un parametro indispensabile nelle analisi di qualità dell'aria, in particolare nei centri urbani. Studi passati e recenti hanno evidenziato l'effettiva relazione tra concentrazioni di inquinanti nell'ambiente e informazione derivante dalla *land cover* (Sengupta et al., 1996; Stedman et al., 1997; de Kluizenaar et al., 2001), nonché l'importanza dei dati di *land use* nell'individuazione delle fonti di emissione e quantificazione del loro contributo alla presenza dell'inquinante (Aleksandropoulou e Lazaridis, 2004).
A tal fine, l'uso della tecnologia satellitare, in particolare quella ad alta risoluzione, permette di ottenere informazioni tematiche su aree anche molto estese senza il supporto di dati in situ ed in tempi molto brevi. Inoltre l'utilizzo di adeguate tecniche di elaborazione dell'immagine (*pre-processing*) e software specifici per la classificazione del territorio permettono di ottimizzare la veridicità e il dettaglio delle informazioni contenute in una carta di uso del suolo.

In questo studio viene proposta una metodologia di analisi del territorio a supporto della progettazione di una rete di monitoraggio della qualità dell'aria, in un'area di studio di circa 70 km^2 che include la località di Pančevo (Serbia). La cartografia tematica è stata ottenuta mediante software *object-oriented* e viene utilizzata successivamente come strato informativo del GIS. In tal modo le diverse unità territoriali possono così essere messe in relazione e confrontate con le mappe di distribuzione degli inquinanti ottenute mediante interpolazione spaziale dei valori di concentrazione.

2. Elaborazione dei dati telerilevati

La individuazione delle varie unità territoriali presenti nell'area in esame consente di effettuare una integrazione tra la carta di uso e copertura del suolo e le carte di distribuzione degli inquinanti, al fine di definire indici spaziali di qualità dell'aria. Per ottenere la carta di uso del suolo è stata utilizzata un'immagine SPOT 5 del 07 gennaio 2005. Lo SPOT acquisisce dati in 1 banda pancromatica e in 4 bande spettrali, negli intervalli di lunghezze d'onda compresi tra il visibile (sono escluse le lunghezze d'onda del blu) e il primo infrarosso medio, così come riportato in tabella 1.

		posizione nello spettro	banda	range (μm)	ris. geom.
PANCROMATICO	*VISIBILE*	verde rosso	P	0.48-0.71	5m
SPETTRALE	*VISIBILE*	verde	1	0.50-0.59	10m
		rosso	2	0.61-0.68	10m
	INFRAROSSO	*infrarosso vicino*	3	0.78-0.89	10m
		primo infrarosso medio	4	1.58-1.75	10m

Tabella 1 – Caratteristiche del satellite SPOT 5

L'elevata risoluzione geometrica, 5 metri nel pancromatico e 10 m nel multispettrale, permette di analizzare territori con un dettaglio spaziale idoneo alla realizzazione di carte tematiche con scala maggiore di 1:50.000, e quindi sufficientemente accurate ai fini del presente lavoro. L'immagine SPOT è stata georiferita sulla carta topografica 1:25000 dell'area in esame.

Nella fase preparatoria sono state utilizzate tecniche di *pan-sharpening*, che permettono di ottenere una immagine di sintesi contenente una parte sostanziale delle caratteristiche spaziali dell'immagine pancromatica ad alta risoluzione geometrica, e la maggior parte delle caratteristiche spettrali delle immagini ad alta risoluzione spettrale (Švab e Oštir, 2006).

Nel caso di studio è stata utilizzata la tecnica IHS, come implementata nel software ENVI 4.2, il cui risultato viene mostrato in fig. 2: in tal modo è stato possibile che ha permesso di incrementare l'interpretabilità delle immagini e, di conseguenza, ottenere informazioni dettagliate sull'uso e copertura del suolo (Saroglu et al., 2004).

L'immagine di sintesi è stata classificata mediante software eCognition. L'utilizzo della metodologia object-oriented consente di interpretare l'immagine basandosi non soltanto sull'informazione spettrale, ma anche sul significato e sulle mutue relazioni fra gli oggetti. Tale tecnica ha permesso di discriminare con maggiore accuratezza classi d'uso del suolo caratterizzate da un simile comportamento spettrale, in particolare il tessuto urbano e la zona industriale, scongiurando però la possibilità di incorrere in errori di interpretazione derivanti dall'utilizzo di tecniche di classificazione tradizionali pixel per pixel (Qian Yu, 2006; Caprioli e Tarantino, 2003).

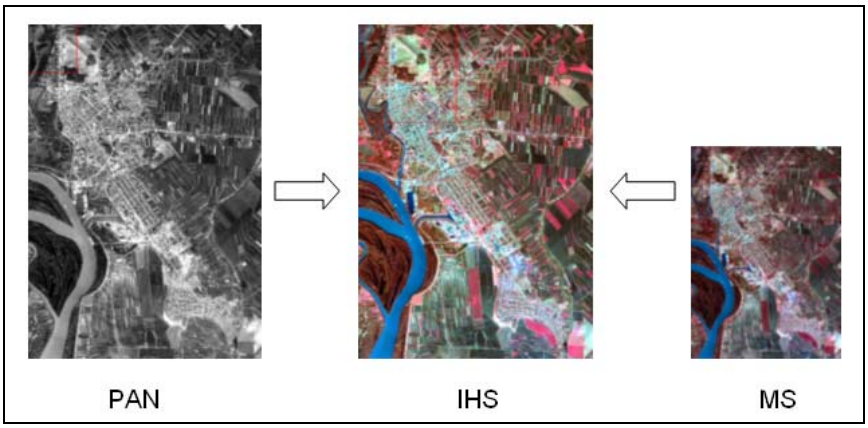


Figura 2 – Fusione di immagini mediante tecnica IHS

In figura 3 è riportato il risultato della classificazione dell'immagine, con la *groups hierarchy* utilizzata per la gestione delle ombre degli oggetti.

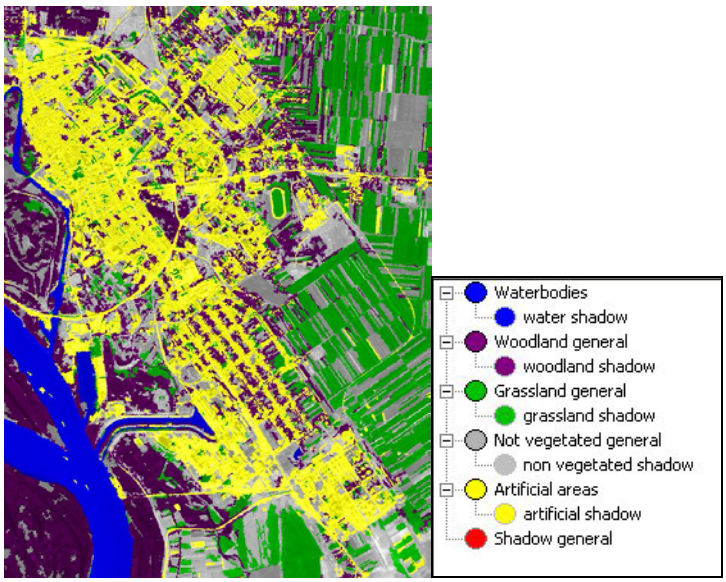


Figura 3 – Carta di copertura del suolo ottenuta dalla classificazione dell'immagine SPOT 5

La carta di uso e copertura del suolo è stata successivamente utilizzata come strato informativo del GIS unitamente alle mappe di distribuzione degli inquinanti per effettuare analisi ambientali.

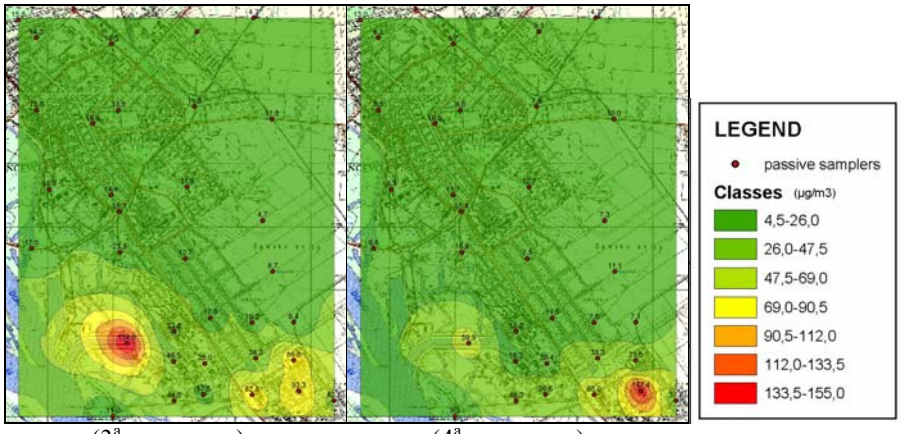
3. Mappe di distribuzione degli inquinanti

Nella direttiva europea 1999/30/CE, concernente i *valori limite di qualità dell'aria ambiente* per determinati inquinanti, viene specificato che (punto II, allegato VIII) "se possibile, gli Stati membri dovrebbero elaborare mappe che mostrino la distribuzione delle concentrazioni all'interno di ogni zona e agglomerato". Pertanto, partendo da dati puntuali di concentrazione di inquinanti, si è proceduto alla realizzazione di mappe di distribuzione degli inquinanti relative all'area di studio.

Per ottenere i dati di qualità dell'aria sono stati utilizzati 34 campionatori passivi (sistema sviluppato dall'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR) i quali, esposti per un periodo di tempo prolungato, permettono di acquisire i valori medi di concentrazione degli inquinanti su specifiche aree di interesse.

I campionatori sono stati disposti sul territorio secondo uno schema casuale, ma registrando con cura le coordinate geografiche dei punti di campionamento.

Nel caso di studio sono state effettuate 6 campagne, due per ogni stagione (estiva, autunnale e invernale), nel periodo compreso tra il 13 agosto 2005 e il 17 febbraio 2006, esponendo i campionatori passivi per 15 giorni. Altre due campagne sono state effettuate nel periodo primaverile.
Sono stati misurati i valori di concentrazione relativi agli ossidi di azoto (NO_x), biossido di azoto (NO_2), biossido di zolfo (SO_2), ozono (O_3), benzene, toluene, xileni, "Total Non-Methane Hydro-Carbons" (TNMHC) e ammoniaca (NH_3). Partendo dai dati di concentrazione degli inquinanti in atmosfera derivati dai campionatori passivi, sono state elaborate mappe di distribuzione per ogni singolo inquinante e per ogni campagna di misura, al fine di definire quali inquinanti risultano maggiormente rappresentativi della qualità dell'aria.
Nel caso in esame, le mappe di concentrazione sono state ottenute interpolando i dati puntuali mediante algoritmo di interpolazione IDW (*Inverse Distance Weighting*). La scelta di utilizzare questo metodo di interpolazione è dovuta al fatto che l'IDW permette di scegliere il numero dei punti da considerare e la forma dell'algoritmo di interpolazione, e può così adattarsi alle diverse situazioni. Nel caso di Pančevo è stata scelta una forma ellissoidale della finestra mobile di interpolazione, con inclinazione pari a 50°, in modo tale che l'asse maggiore risulti inclinato nella direzione in cui il centro urbano e la raffineria si sviluppano sul territorio. Tale scelta è giustificata dal fatto che la zona di studio si sviluppa prevalentemente lungo quest'asse (zona abitata - raffineria), mentre non sono state considerate le aree esterne al centro abitato in quanto caratterizzate esclusivamente da zone con vegetazione antropica o naturale. Tali considerazioni confermano l'importanza delle analisi e interpretazione del territorio tramite ausilio di immagini telerilevate.
Inoltre, poiché i campionatori sono stati distribuiti sull'area di studio in maniera casuale, i punti campionati in alcune zone risultano tra loro molto vicini formando così un cluster. Pertanto si è ritenuto opportuno utilizzare la finestra di interpolazione divisa in quadranti che garantisce risultati più attendibili in presenza di cluster di dati.
Per rappresentare le mappe di distribuzione dei singoli inquinanti sono state definite 7 classi di concentrazione utilizzando i massimi e i minimi di ogni coppia di campagne stagionali. In figura 4 sono riportate, a titolo di esempio, le mappe risultanti dalla interpolazione dei dati e la suddivisione in classi dei valori di concentrazione del benzene, per le due campagne di misura autunnali.



(3ª campagna) (4ª campagna)

Figura 4 – Mappe di distribuzione del benzene nelle campagne di monitoraggio autunnali

4. Analisi territoriali tramite GIS

Le mappe in figura 4 mostrano che anche tra campagne appartenenti alla stessa stagione possono variare i siti in cui le concentrazioni degli inquinanti sono al di sopra di una certa soglia.
Il GIS permette di integrare questo tipo di informazioni con quelle derivate dalle analisi delle immagini telerilevate; in questo modo è possibile valutare la presenza e la tipologia delle differenti fonti di inquinamento sul territorio.

Tramite una serie di query è stata realizzata una carta di sintesi che permette di visualizzare contemporaneamente in quali aree i valori dei diversi inquinanti hanno superato i valori di soglia.
Un esempio è riportato in figura 5, in cui sono state messe in evidenza, per tutti gli inquinanti, le aree nelle quali i valori di concentrazione risultano superiori alla classe 4 nelle due campagne estive.

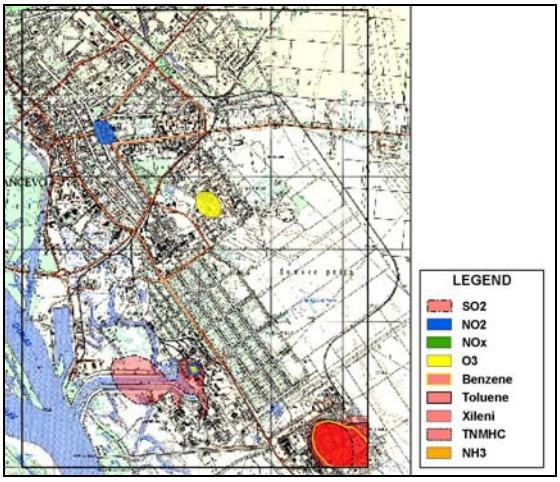


Figura 5 – Mappa di sintesi degli inquinanti per la 1^a e 2^a campagna

Successivamente la mappa di sintesi è stata integrata con la carta di uso del suolo ottenuta dalla classificazione dell'immagine satellitare, per identificare le classi di copertura interessate dalla presenza contemporanea di più inquinanti a concentrazioni elevate e, allo stesso tempo, per valutare la presenza di possibili fonti di inquinamento. In figura 6 viene mostrata, a titolo di esempio, l'integrazione tra i due tipi di mappe, ponendo in evidenza la correlazione diretta tra l'area industriale e le aree con livelli elevati di concentrazione degli inquinanti.

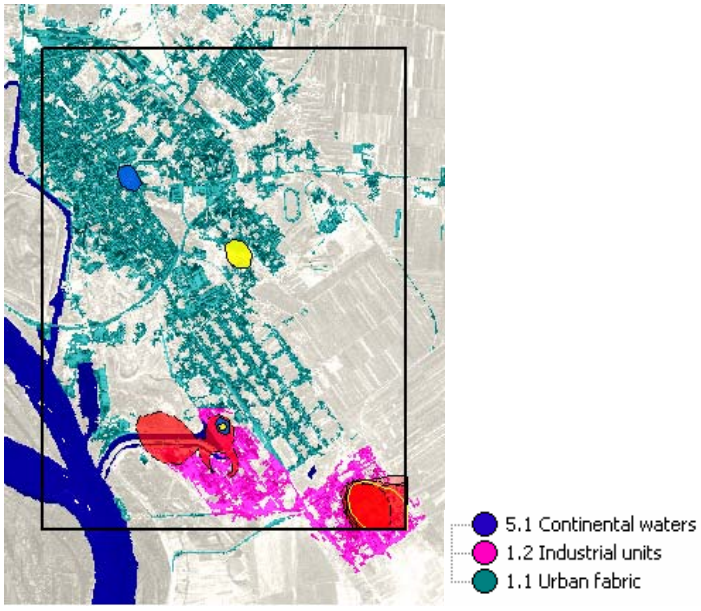


Figura 6 – Esempio di integrazione tra analisi territoriali e mappe di distribuzione degli inquinanti

L'analisi integrata delle carte di sintesi e delle carte tematiche derivanti dall'elaborazione dei dati satellitari ha permesso di individuare le aree per la collocazione di centraline fisse di monitoraggio della qualità dell'aria secondo la vigente normativa europea.

5. Conclusioni

In fase di recepimento delle direttive comunitarie concernenti il posizionamento delle stazioni di monitoraggio dell'aria, lo studio sull'inquinamento non può limitarsi alla semplice visualizzazione della distribuzione delle concentrazioni degli inquinanti sull'area di studio. Per affrontare le problematiche legate alla presenza di inquinanti è importante capire quali tra essi sono i più indicativi della qualità dell'aria e quali sono le possibili fonti di inquinamento.
A tal scopo, le immagini satellitari rappresentano un elemento chiave in fase decisionale, in quanto, se opportunamente elaborate, forniscono la base per una visione sinottica del territorio, indispensabile per una corretta valutazione della qualità dell'aria.

Bibliografia

Aleksandropoulou V., Lazaridis M. (2004), "Spatial distribution of gaseous and particulate matter emission in Greece", *Water, Air and Soil Pollution*, 153: 15-34

Caprioli M., Tarantino E., "Urban features recognition from VHR satellite data with an object-oriented approach", *Proceedings of Commission IV Joint Workshop, Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II*, September 8 - 9, 2003, Stuttgart, Germany

de Kluizenaar Y., Aherne J., Farrell E. P. (2001), "Modelling the spatial distribution of SO_2 and NO_x emissions in Ireland", *Environmental Pollution*, 112: 171-182

De Santis F., Allegrini I., Fazio M. C., Pasella D., Piredda R. (1997), "Development of a passive sampling technique for the determination of Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide in ambient air", *Analytical Chimica Acta*, 346: 127-134.

De Santis F., Fino A., Menichelli S., Bazzana C., Allegrini I. (2004), "Monitoring the air quality around an oil refinery through the use of diffusive sampling", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 378: 782-788.

Qian Yu, Peng Gong, Clinton N., Biging G., Kelly M., Schirokauer D. (2006), "Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 7, pp. 799-811

Sengupta S., Patil R. S., Venkatachalam P. (1996), "Assessment of population exposure and risk zones due to air pollution using the Geographical Information System", *Comput., Environ. And Urban Systems*, Vol. 20, No.3, pp. 191-199

Stedman J. R., Vincent K. J., Campbell G. W., Goodwin J. W. L., Downing C. E. H. (1997), "New high resolution maps of estimated background ambient NO_x and NO_2 concentrations in the U.K.", *Atmospheric Environment*, Vol. 31, No. 21, pp. 3591-3602

Švab A., Oštir K. (2006), "High-resolution image fusion: methods to preserve spectral and spatial resolution", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 5, pp. 565-572

Saroglu E., Bektas F., Musaoglu N., Goksel C. (2004), "Fusion of multisensor remote sensing data: assessing the quality of resulting images", *XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey*, Commission 4, p. 575 ff.

Rotatori M., Salvatori R., Grignetti A., Guerriero E., Casacchia R. (2006), "Studio tramite tecniche GIS del posizionamento delle centraline per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico", *Atti del 12° convegno di igiene industriale*, Corvara (BZ), 27-29 marzo 2006