

METODOLOGIA INTEGRATA PER L'ESTRAZIONE DA IMMAGINI SPOT DI PARAMETRI FINALIZZATI ALLO STUDIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Rosamaria SALVATORI, Roberto SALZANO, Alessandro MEI,
Paolo M. COLELLA, Mauro ROTATORI

CNR - Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, viaalaria km 29,300 Monterotondo Scalo (Roma), Italy
Tel. 0690672451, fax 0690672660; salvatori@iia.cnr.it

Riassunto

Le normative vigenti in materia della qualità dell'aria prevedono che le attività di monitoraggio siano accompagnate da una accurata analisi del territorio oggetto di studio. Le immagini telerilevate rappresentano uno degli strumenti fondamentali per tale tipo di analisi. In questo lavoro viene presentata la metodologia utilizzata per elaborare le immagini (SPOT) ed integrare i risultati delle elaborazioni con dati analitici di inquinanti atmosferici. Tale metodologia è stata sviluppata, in collaborazione dell'ARPAT per supportare la fase di campionamento degli inquinanti atmosferici e la predisposizione di una rete fissa di monitoraggio.

Abstract

A preliminary territorial analysis is strongly suggest by European Community to perform air pollution monitoring projects. Remote sensed images are one of the most useful tools to analyse earth surface in order to obtain land cover and land use maps. In this paper we present the method used to classify panchromatic and multispectral Spot images. The results of this classification were merged with atmospheric pollutant analytic data in order to design an air monitoring network in cooperation with ARPAT.

Introduzione

L'analisi del territorio è propedeutica a tutte le attività di monitoraggio comprese quelle relative alla qualità dell'aria. Le direttive Europee sull'inquinamento atmosferico e quelle italiane che da esse derivano (EEA, 1995; DM.60/2002), richiedono, infatti, che gli studi sulla qualità dell'aria siano corredati da studi dettagliati del territorio a scala locale e regionale, in particolar modo quando nell'area di studio ricadono agglomerati urbani ed aree industriali.

Il punto di partenza per ogni analisi territoriale e successiva integrazione con i dati atmosferici è rappresentato dalle carte di copertura ed uso del suolo che possono essere ottenute da immagini satellitari o foto aeree digitali (Weirs et al. 2004)

La definizione della qualità dell'aria implica oltre alla misura degli inquinanti presenti in atmosfera anche la rappresentazione spaziale dei valori di concentrazione di questi ultimi (Aleksandropoulou and Lazaridis, 2004; Sengupta et al., 1998). Dai valori puntuali di concentrazione di inquinanti è necessario pertanto passare a carte di distribuzione tramite tecniche geostatistiche di interpolazione dati (Stedman et al. 1995; Salvatori et al. 2006).

Integrando in ambiente GIS le carte di uso del suolo con le mappe di concentrazione degli inquinanti, realizzate con dati relativi a diverse campagne stagionali, è poi possibile individuare le aree urbanizzate e vegetate sottoposte per lunghi periodi di tempo a livelli elevati di inquinamento e circoscrivere i siti di intervento in accordo con la normativa vigente.

In questo contesto le immagini satellitari, a diversa risoluzione spaziale e spettrale, ed i tematismi da esse derivabili, rappresentano un strumento di analisi fondamentale poiché la distribuzione di inquinanti atmosferici è strettamente correlata alla distribuzione delle diverse categorie di uso e copertura del suolo, alla presenza di corpi idrici e aree vegetate, alla densità di urbanizzazione e popolazione, alla rete viaria nonché alle caratteristiche morfologiche dell'area esaminata (Weng e Yang 2006). Benché tali informazioni possano essere desunte da cartografia tecnica pre-esistente, la possibilità di estrarle dalle immagini telerilevate permette di avere a disposizione un quadro della situazione temporalmente coerente con il periodo in cui vengono effettuate le campagne di misura degli inquinanti.

Le campagne di monitoraggio degli inquinanti atmosferici vengono svolte prevalentemente negli agglomerati urbani e/o industriali e nelle limitrofe aree rurali e/o naturali sia per la realizzazione di reti fisse di monitoraggio sia per la predisposizione di interventi per il miglioramento della qualità dell'aria. Ciò implica che l'analisi e la classificazione delle immagini debba tener conto delle diverse tipologie di classi di uso e copertura del suolo spingendosi però ad un dettaglio maggiore nella definizione delle classi relative alle aree antropizzate. Questa esigenza può essere soddisfatta integrando tra loro diverse metodologie di classificazione immagine in particolare gli algoritmi *pixel based e object oriented* (Guidon et al 2004).

In questo lavoro è stato utilizzato tale approccio per estrarre da un'immagine SPOT, multispettrale e pancromatica, le informazioni necessarie a supporto della fase di campionamento dei dati di inquinanti atmosferici, della loro elaborazione e della fase di interpretazione dei risultati finalizzata alla predisposizione di una rete fissa di monitoraggio della qualità dell'aria per l'ARPAT (Rotatori e Ferrucci 2008).

Area di studio

L'area di studio è un'area di 15x10km centrata sul polo industriale di Scarlino (Grosseto).

Dal punto di vista geografico l'area è caratterizzata da una fascia costiera a ridosso della quale si estende una pianura che presenta vari tipi di coltivazioni (olivi, girasoli, grano ecc.) circondata da colline ricoperte da una folta macchia mediterranea sempreverde, costituita in prevalenza da lecci, corbezzoli, mirti e ginepri. Il centro urbano più importante, dal punto di vista della popolazione, è la città di Follonica, per il resto sono presenti case isolate e piccoli paesi (Gavorrano e Scarlino).

Per quanto riguarda le vie di comunicazione, che a loro volta contribuiscono ai fenomeni di inquinamento atmosferico, nella zona di campionamento sono da segnalare due strade a sostenuto traffico veicolare: la SS1 Aurelia e la E0 , che nel periodo estivo presentano un notevole incremento del traffico di veicoli.

Analisi delle immagini

Per l'analisi territoriale dell'area di studio è stata utilizzata un'immagine del satellite SPOT acquisita il 7 gennaio 2005, in modalità pancromatica e multispettrale. La risoluzione geometrica di questa immagine, 5 metri nel pancromatico e 10 m nel multispettrale, ha permesso di analizzare il territorio con un dettaglio spaziale idoneo ai fini del presente lavoro.

La fase di *preprocessing* delle immagini SPOT è stata dedicata a:

- a) Correzioni radiometriche con il modulo predisposto nel software ENVI© (spotr_adiance.sav e FLAASH)
- b) Miglioramento del contrasto spettrale delle singole bande (*stretch* lineare), per aumentare le possibilità di interpretazione visuale delle stesse
- c) Integrazione delle immagini a risoluzione spaziale e spettrale diversa tramite la procedura *pan sharpening* implementata in ENVI Zoom. Questa tecnica, permette di ottenere una immagine di sintesi contenente una parte sostanziale delle caratteristiche spaziali dell'immagine pancromatica e la maggior parte delle caratteristiche spettrali delle immagini multispettrali (Švab e Oštir, 2006, Saroglu et al., 2004).
- d) Georeferenziazione sulla base della carta topografica 1:25000 dell'area in esame e confronto con la carta tecnica regionale (1:10000).

Per estrarre dalle immagini i tematismi significativi e gli elementi lineari da utilizzare per l'integrazione con i dati analitici di inquinanti atmosferici sono state utilizzate in parallelo due procedure di classificazione: una *pixel based* ed una *object oriented* entrambi sviluppate in ENVI Zoom. La classificazione *object-oriented* risulta infatti particolarmente idonea alla definizione delle caratteristiche del tessuto urbano mentre gli algoritmi basati sulle caratteristiche spettrali permettono una migliore definizione delle aree rurali e di quelle boschive.

Come classificatore *pixel based* è stato usato l'algoritmo di Maximum Likelihood (ML), definendo 12 classi spettrali. In questa fase è stato anche utilizzato il DEM derivato dalla C.T.R., per valorizzare la componente altitudinale nella fase di riconoscimento della vegetazione. I risultati della classificazione sono riportati in figura 1.

La classificazione *object oriented* è stata ottenuta tramite la routine ENVI *feature extraction* che offre il vantaggio di definire gli oggetti come regioni di interesse in base alle loro caratteristiche spaziali, spettrali (brightness and color) e tessiturali. Per ottimizzare la fase di segmentazione è stata utilizzata l'immagine derivata dalla fusione del dato pancromatico con quello multispettrale. L'algoritmo di segmentazione è stato ripetuto cambiando i parametri guida fino a quando la dimensione e la dislocazione dei poligoni generati non sono risultati soddisfacenti.

Particolare attenzione è stata dedicata alla classificazione delle aree urbanizzate al fine di discriminare le aree industriali da quelle adibite a residenza poiché la finalità dell'elaborazione era l'identificazione delle possibili sorgenti di inquinanti atmosferici e delle aree in cui potrebbe essere possibile una esposizione della popolazione.

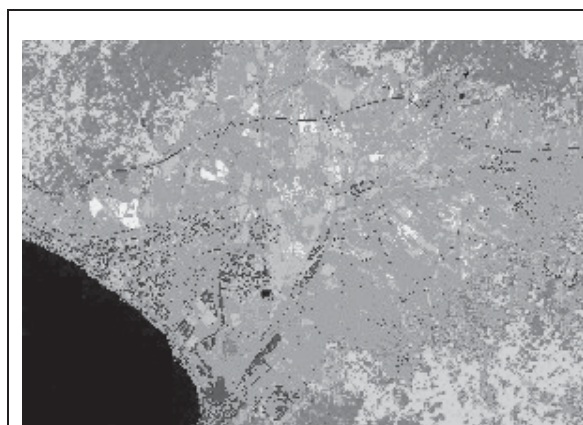


Figura 1 - Immagine classificata con metodologia ML in cui sono rappresentate: nei toni del verde classi di vegetazione; - nei toni dell'arancio-giallo le classi di suoli agricoli; in celeste le aree industriali e in blu superfici asfaltate.



Figura 2 - Sovrapposizione dei poligoni su un particolare della classificazione di Figura 1.

La procedura utilizzata permette di estrarre i risultati della classificazione direttamente in formato vettoriale, pertanto i poligoni appartenenti alle classi di tipo urbano/industriale sono stati sovrapposti all'immagine classificata con l'algoritmo ML allo scopo di valutare in maniera qualitativa la tipologia delle aree abitate ossia di verificare la percentuale dei pixel classificati ricadenti all'interno dei poligoni di tipo urbano (Guindon et al. 2006).

È stato così possibile identificare le aree urbane con edifici di piccole dimensioni contornate da giardini e verde urbano (in rosso in figura 2), le aree industriali (celeste- rosso);e le aree con edifici molto vicini tra loro (bianco).

I risultati della intersezione delle due classificazioni sono stati verificati in campo durante le campagne di misura di inquinanti atmosferici.

Analisi della distribuzione degli inquinanti

E' possibile analizzare la distribuzione spaziale e temporale degli inquinanti utilizzando le loro mappe di distribuzione come strati informativi in un GIS appositamente predisposto.

Nella fase preliminare di selezione dei siti di campionamento è stato utilizzato il DEM e la classificazione ottenuta come precedentemente descritto. Tenendo in considerazione la morfologia dell'area di studio, il tessuto urbano e la disposizione dei siti industriali, è stata costruita una griglia di campionamento regolare, a maglia quadrata con dimensione di 1 km; all'interno di ogni singola cella è stato posizionato, in maniera casuale, un campionario, per un totale di 52 dispositivi di misura. Sono state, ovviamente, escluse dal campionamento le celle ricadenti nel mare.

Per ogni punto di campionamento sono state registrate le coordinate GPS al fine di rappresentare i punti sulla cartografia disponibile.

Il campionamento delle specie investigate (NO_x , NO_2 , O_3 , SO_2 , H_2S e COV) è stato effettuato mediante campionatori passivi Analyst[®], sviluppati dal CNR – Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, basati sul principio della diffusione molecolare. Sono state eseguite 4 campagne di misura stagionali della durata di 30 giorni.

Le concentrazioni delle specie investigate sono state utilizzate per derivare carte di distribuzione degli inquinanti relative alle singole campagne di misura che a loro volta sono state utilizzate come livelli informati all'interno del GIS appositamente predisposto (de Kluizenaaret al. 2001, Salvatori et al. 2006).

A seguito di una sequenza di *query e tools* sono state realizzate le carte di sintesi che mostrano la distribuzione delle classi di concentrazione degli inquinanti nell'area di studio nel corso delle stagioni. Successivamente, per ogni singola campagna, dalle mappe di sintesi sono state estratte le aree con valori di concentrazione superiori alla classe rappresentativa del limite di legge, in modo di ottenere la mappa delle ricorrenze per ogni singolo inquinante. Per quanto riguarda gli inquinanti monitorati nelle quattro campagne, non sono state evidenziate aree con ricorrenze significative, ossia aree in cui si siano verificate concentrazioni superiori ai limiti previsti e/o per periodi prolungati

Al fine di verificare eventuali corrispondenze fra le concentrazioni di inquinanti e l'ubicazione delle aree urbanizzate, delle aree agricole e delle aree vegetate anche le carte delle ricorrenze sono state sovrapposte alla carta di uso del suolo. È stato così possibile correlare la tipologia di inquinante alla classe di uso del suolo rappresentata sulla carta e valutare le possibili sorgenti di inquinanti. Anche queste elaborazione hanno mostrato che l'intera area di studio può considerarsi non interessata da fenomeni di inquinamento localizzati e che inoltre, i valori di concentrazione degli inquinanti non superano il valore soglia, ad eccezione del caso dell'ozono.

Un'ulteriore analisi della distribuzione degli inquinanti è stata condotta calcolando il rapporto tra NO_2/NO_x , al fine di valutare le porzioni dell'area di studio nelle quali è maggiore il contributo primario (ad es. emissione diretta degli ossidi di azoto) e quindi le zone dove il rapporto tende a valori più bassi. Successivamente è stata ottenuta la carta di distribuzione di tale indice in cui viene evidenziato in quante campagne di misura tale rapporto ha assunto valori inferiori a 0,6.

La carta ottenuta ha messo in evidenza la presenza di una minore concentrazione di inquinante secondario nelle zone occupate da vegetazione ai margini dell'area di studio.

Sovrapponendo la carta della ricorrenza del rapporto NO_2/NO_x sul DEM dell'area di studio è stato osservato come tali zone coincidono con quelle a maggiore elevazione sul livello del mare (fig.3), confermando l'importanza dell'analisi della morfologia del territorio in un studio sull'inquinamento atmosferico.

Il risultato è stato sovrapposto all'immagine satellitare e, successivamente, alla carta di uso del suolo. Sulla base di tale carta è stato possibile individuare i siti in cui predisporre la rete fissa di monitoraggio dell'aria.

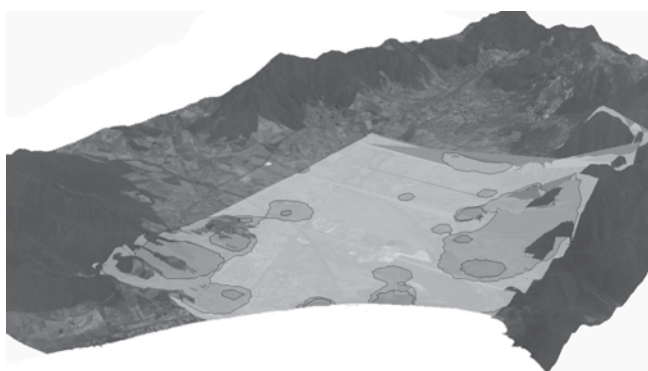


Figura 3 – Carta del rapporto NO_2/NO_x sovrapposta al 3D dell'immagine SPOT

Conclusioni

Secondo la normativa vigente infatti le stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria vengono classificate sia a seconda della tipologia (stazione da Traffico, di Background e Industriale) e sia in funzione delle caratteristiche dell'area in cui sono collocate (Area Residenziale, Industriale, Rurale). Le stazioni di background rurale, utilizzate per il monitoraggio di inquinamento dovuto a fenomeni di trasporto a lungo raggio sono da posizionare all'esterno dei centri urbani, in aree prevalentemente agricole, soggette a fenomeni di inquinamento fotochimico. Le stazioni da traffico dovranno essere collocate in prossimità del centro urbano mentre le stazioni industriali in prossimità degli impianti. La selezione dei siti di campionamento deve inoltre tenere in debita considerazione la densità abitativa e la distribuzione areale dei vari inquinanti.

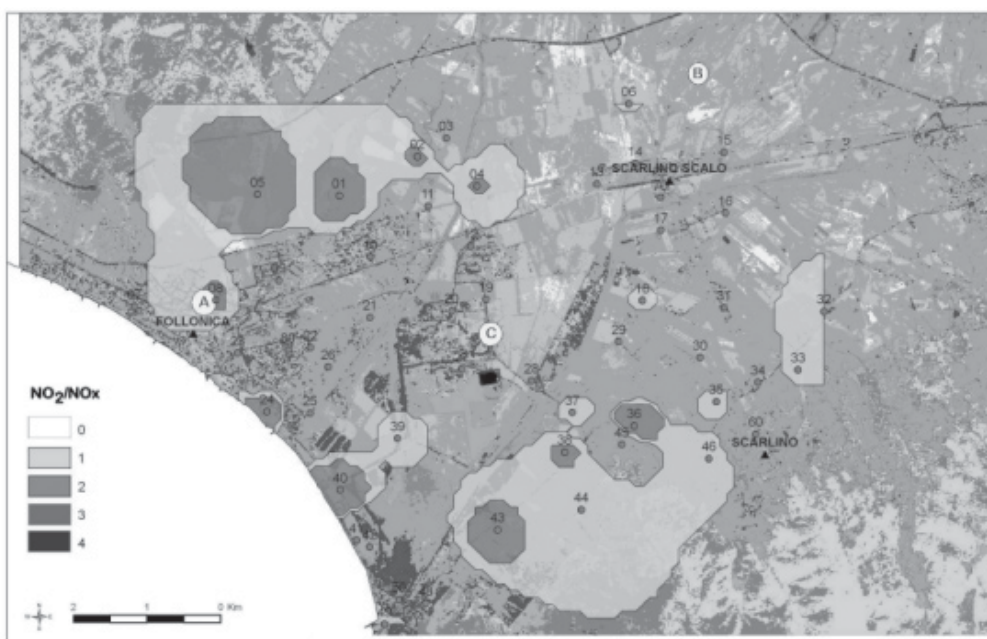


Figura 4 – Carta delle ricorrenze del rapporto NO_2/NO_x sovrapposta all'immagine classificata. Le lettere contraddistinguono i siti ove posizionare le centraline fisse di monitoraggio.

Nella figura 4 viene presentata la possibile ubicazione, sulla base dei risultati delle procedure descritte, di tre stazioni di monitoraggio nell'area considerata in questo studio:

- A. stazione da traffico, in corrispondenza di un'area in cui si sono riscontrati due ricorrenze di rapporto NO_2/NO_x inferiore a 0.6
- B. stazione rurale in un'area interna, equidistante dai rilievi
- C. stazione di tipo industriale, in prossimità del polo industriale

La metodologia integrata si è rivelata particolarmente efficace per il territorio in esame in cui era necessario definire con accuratezza tanto le aree urbanizzate quanto le aree vegetate. Le informazioni territoriali ottenute hanno consentito nella fase preliminare del lavoro di individuare i siti più idonei al posizionamento dei campionatori passivi nel territorio e, successivamente, hanno permesso di individuare in modo oggettivo la collocazione delle stazioni fisse di monitoraggio previste dai criteri EUROAIRNET (EEA, 1999) come riportato in figura 4.

Riferimenti bibliografici

- Aleksandropoulou V., Lazaridis M. (2004), "Spatial distribution of gaseous and particulate matter emissions in Greece", *Water, Air and Soil Pollution* **153**: 15-34.
- de Kluizenaar K.Y., Aherne J., Farrell E.P. (2001), "Modelling the spatial distribution of SO₂ and NO_x emissions in Ireland", *Environmental Pollution* **112**, 171-182.
- Guidon B., Zhang Y., Dillabaugh C.,(2004) "Landsat urban mapping based on combined spectral and spatial methodology". *Remote sensing of the environment* **92**:218-232
- Rotatori M., Ferrucci A.(2008) "Caratterizzazione e valutazione comparata delle emissioni ed immissioni derivanti dal comprensorio industriale di Scarlino" Rapporto CNR-IIA- ARPAT 2008
- 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 IV, WG IV/7*.
- Salvatori R., Colella P.M., Salzano R., Biscotto M., Casacchia R.,(2006) "Supporto alla progettazione di una rete di monitoraggio atmosferico mediante elaborazione di immagini satellitari e tecniche GIS" Atti ASITA 2006 **II**,1719-1724
- Sengupta S., Patil R.S., Venkatachalam P. (1996), "Assessment of population exposure and risk zones due to air pollution using the geographical information system", *Comp. Environ. and Urban Systems* **20**: 191-199.
- Stedman J.R., Keith J.V., Campbell G.W., Goodwin J.W.L., Downing C.E.H. (1997), "New high resolution maps of estimated background ambient NO_x and NO₂ concentrations in the U.K", *Atmospheric Environment* **31**: 3591-3602.
- Švab A., Oštir K. (2006), "High-resolution image fusion: methods to preserve spectral and spatial resolution", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **72- 5**: 565-572.
- Weng Q., Yang S.,(2006) "Urban air pollution patterns, land use, and thermal landscape: an examination of the linkage using GIS" *Environmental Monitoring and Assessment* **17**: 463-489
- Weirs S., Bock M., Wissen M., Rossner G. (2004) "Mapping and indicator approaches for the assessment of habitats at different scale using remote sensing and GIS Method", *Landscape and Urban Planning* **67**:43:65