

IMPIEGO DI IMMAGINI TELERILEVATE PER MODELLI DI DISPERSIONE DI INQUINANTI IN ATMOSFERA

Sergio TEGGI^(*), Maria Paola BOGLIOLO^(**), Grazia GHERMANDI^(*), Sara FABBI^(*)

(*) DIMeC, Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905 – 41100 Modena. E-mail: teggi@unimore.it

(**) ISPESL, Via di Fontana Candida 1, 00040, Monteporzio Catone, Roma, Italy.

Riassunto

I modelli di dispersione atmosferica spesso richiedono in ingresso mappe di vari parametri superficiali, come la copertura del suolo, solitamente estratta dal dataset CORINE, e di albedo. I dati CORINE però non descrivono le variazioni stagionali e, a volte, necessitano aggiornamenti. In questo lavoro è mostrata una procedura, basata sull'uso di dati satellitari, per il miglioramento dei dati CORINE e per la valutazione dei valori di albedo. La procedura è stata impostata per il modello di dispersione ARIA INDUSTRY e nella parte finale del lavoro è presentata una sua applicazione.

Abstract

In many cases, atmospheric dispersion models require in input maps of surface parameters, as land cover, usually extracted from the CLC2000 dataset, and albedo. But, CORINE data do not describe seasonal changes and, some times, require upgrades. In this work a procedure, based on remote sensing data, for the improvement of CORINE data and for albedo assessment is shown. The procedure was set for the ARIA INDUSTRY dispersion model, and in the final part of the paper, a case study is shown.

Introduzione

Uno delle fasi più difficoltose nella preparazione dei dati in ingresso ai modelli di dispersione degli inquinanti è la definizione, sul grigliato di calcolo, dei parametri della superficie, fra i quali figurano anche la copertura del suolo e l'albedo. La copertura del suolo è particolarmente importante in quanto molti modelli la usano per impostare le variabili di scala turbolente ed altri parametri, mediante tabelle interne. Per il territorio italiano la copertura del suolo è spesso estratta dal banco dati CLC2000 (Corine Land Cover 2000, EEA, 2003) coordinato e gratuitamente distribuito dall'EEA (European Environmental Agency). Per ottenere risultati accurati, il CLC2000 deve essere integrato con informazioni sulla copertura del suolo aggiornate, che tengano conto anche della stagionalità (cicli fenologici, attività agricole, ...), come quelle ottenibili dalla classificazione di immagini telerilevate. Un ulteriore impiego dei dati telerilevati in supporto ai modelli di dispersione è il miglioramento delle corrispondenze (tabelle interne ai modelli) fra tipologia di copertura del suolo e valore di albedo, ottenuto utilizzando l'albedo valutato direttamente dalle immagini telerilevate.

In questo lavoro è mostrata una procedura, dotata di interfaccia utente, costruita per il modello lagrangiano di dispersione atmosferica di inquinanti ARIA INDUSTRY (A.I.). Questo software è costituito da quattro moduli principali: il preprocessore meteorologico MINERVE, il preprocessore per la valutazione dei parametri di turbolenza atmosferica SURFPRO, il preprocessore per la caratterizzazione delle sorgenti EMISSION MANAGER, e il modello di dispersione lagrangiano a particelle SPRAY. I risultati principali della procedura sviluppata, scritta in linguaggio IDL, sono essenzialmente cinque; 1) l'estrazione della zona di interesse e la decodifica dei codici di copertura del

suolo CLC2000 in quelli utilizzati da A.I.; 2) l'integrazione della CLC2000 con dati di copertura del suolo definiti sulle macro-classi vegetazione, suoli nudi e acque estratte in modo automatico da immagini telerilevate; 3) l'integrazione della CLC2000 con classificazioni ottenute dall'utente da immagini telerilevate o con altre metodologie; 4) la produzione di un grigliato di copertura del suolo nel formato di A.I.; 5) la produzione di statistiche dei valori di albedo ricavati da immagini telerilevate, in funzione della copertura del suolo.

A titolo dimostrativo, viene mostrata l'applicazione della procedura ad un caso reale sull'area della città di Modena ed utilizzando immagini acquisite dal sensore ETM+.

Copertura del suolo e CLC2000

La modellazione della dispersione atmosferica richiede un'accurata descrizione della dinamica atmosferica nello strato limite planetario (Stull, 1988), che è fortemente dipendente, soprattutto nelle sue componenti turbolente, alle caratteristiche della superficie. Per questa ragione, i preprocessori MINERVE e SURFPRO, richiedono, per ogni cella del dominio di calcolo, la tipologia di copertura superficiale secondo una codifica prestabilita. In mancanza di mappe di copertura del suolo determinate appositamente per il caso studiato, la fonte maggiormente accreditata a livello europeo per ottenere questo tipo di informazione è il banco dati CLC2000. Le caratteristiche e la struttura della CLC2000 sono ben note, quindi, in questo contributo ci si limita a ricordare che esso copre la maggior parte dell'area europea, suddividendo il territorio in celle di 100 m x 100 m, per ognuna delle quali è fornita (codice) la tipologia della copertura del suolo. Le tipologie (classi) del suolo considerate sono strutturate in tre livelli successivi di raffinamento, costituiti rispettivamente da 5, 15 e 44 classi. Precedenti esperienze (ICAROS NET, 2003) hanno mostrato che per la dispersione degli inquinanti è sufficiente ottenere una classificazione al secondo livello, raggiungibile anche con molti sensori satellitari attualmente disponibili.

Albedo superficiale

Nei modelli A.I. il termine di radiazione netta (R_N) è calcolato mediante la relazione di Holtslag e Van Ulden (1983):

$$R_N = \frac{[(1-A)R + c_1 T^6 - \sigma T^4 + c_2 N]}{(1+c_3)} \quad [1]$$

dove A è l'albedo della superficie, R è la radiazione solare incidente, T è la temperatura superficiale, N è la frazione di copertura nuvolosa, σ è la costante di Stefan-Boltzmann, c_1 , c_2 e c_3 sono costanti. Il prodotto $(1-A)R$ esprime il bilancio di radiazione solare (onda corta) alla superficie mentre i termini contenenti T esprimono i flussi di radiazione nell'infrarosso termico (onda lunga). Solitamente, l'albedo viene ricavata da valori tabulati a partire dalla classe di copertura del suolo e in funzione della stagione. Disponendo di misure di riflettanza spettrale della superficie ($\rho(\lambda)$, λ è la lunghezza d'onda), l'albedo può essere calcolata (Liang et al., 1999) dalla:

$$A = \frac{\int \rho(\lambda) R_0(\lambda) d\lambda}{\int R_0(\lambda) d\lambda} \quad [2]$$

dove R_0 è la radiazione solare esatmosferica. Poiché i sensori per telerilevamento possiedono un numero discreto di canali, l'albedo viene stimata mediante combinazioni lineari delle riflettanze delle singole bande (ρ_i) (es. Tegg et al., 2001, Wang et al., 2000):

$$A = a_0 + \sum_i a_i \rho_i \quad [3]$$

Struttura della procedura sviluppata

La procedura sviluppata, dotata di interfaccia-utente a finestre (MMI, *man-machine interface*), ha lo scopo di preparare le mappe di copertura del suolo ed i valori di albedo da utilizzarsi con A.I. a partire da tre sorgenti diverse: la copertura del suolo CLC2000, un'immagine telerilevata, due classificazioni del suolo distinte (ottenute generalmente dall'immagine telerilevata). La CLC2000 è stata inserita come *dataset* interno della procedura, mentre gli dati devono essere forniti dall'utente. Questa procedura è stata sviluppata interamente in linguaggio IDL (Interactive Data Language, Research System, 2005). In figura 1 è mostrata la MMI prodotta nella quale sono stati evidenziati i diversi blocchi (B) procedurali che verranno di seguito brevemente descritti.

B1: definizione del dominio di calcolo (grigliato) per la simulazione della dispersione degli inquinanti. Definito il dominio, la procedura carica, effettuando gli opportuni ricampionamenti e ritagli, la copertura del suolo CLC2000.

B2: impostazione delle caratteristiche delle immagini raster (telerilevate e classificazioni) fornite dall'utente.

B3: definizione del file contenente la classificazione del suolo, detta primaria, la cui attendibilità/veridicità è ritenuta molto forte.

B4: definizione del file contenente la classificazione del suolo, detta secondaria, la cui attendibilità/veridicità è subordinata a quella primaria.

B5: inserimento dei parametri per la caratterizzazione dell'immagine telerilevata. Da questa immagine vengono ricavate due informazioni: una sulla copertura del suolo e l'albedo. Nel primo

caso si procede all'assegnazione di ogni pixel dell'immagine alle tre tipologie di base di copertura del suolo acqua, vegetazione e suoli nudi (intesi come né acqua né vegetati) sulla base del valore dell'NDVI, il cui significato e la metodologia di calcolo sono ben noti. Valori tipici per questo tipo di assegnazione sono: $[-1,0] \rightarrow$ acqua; $[0,0.4] \rightarrow$ suolo nudo; $[0.4,1] \rightarrow$ vegetazione. Nel secondo caso, l'albedo di ogni pixel viene calcolato usando la relazione [3], premesso che siano noti i coefficienti a_i . Definito il tipo di sensore, questi coefficienti vengono letti da una tabella, precompilata e aggiornabile dall'utente, che contiene una lista di informazioni su vari sensori.

B5: definizione, tramite file-utente, delle regole con le quali le tre classificazioni e la CLC2000 vengono unite. Sono inoltre definite le corrispondenze fra i codici delle classi CLC2000 e quelle usate da A.I.. L'unione delle classificazioni avviene, per ogni pixel, secondo lo schema logico riportato in figura 2. Alcune considerazioni sullo schema logico utilizzato: La classificazione primaria è prioritaria su tutte le altre. Si presume quindi che essa contenga informazioni che l'utente ritiene più certa. La classificazione basata sull'NDVI, dato che dà indicazioni solo sulle tre macroclassi viste, è la più debole dal punto di vista decisionale. Il confronto logico indicato con *comp* ha lo scopo di verificare se la classe fornita dall'utente è compatibile con quella CLC2000 anche se non esattamente uguale. Ad esempio l'utente potrebbe avere fornito genericamente una tipologia "latifoglie" assegnandole il codice

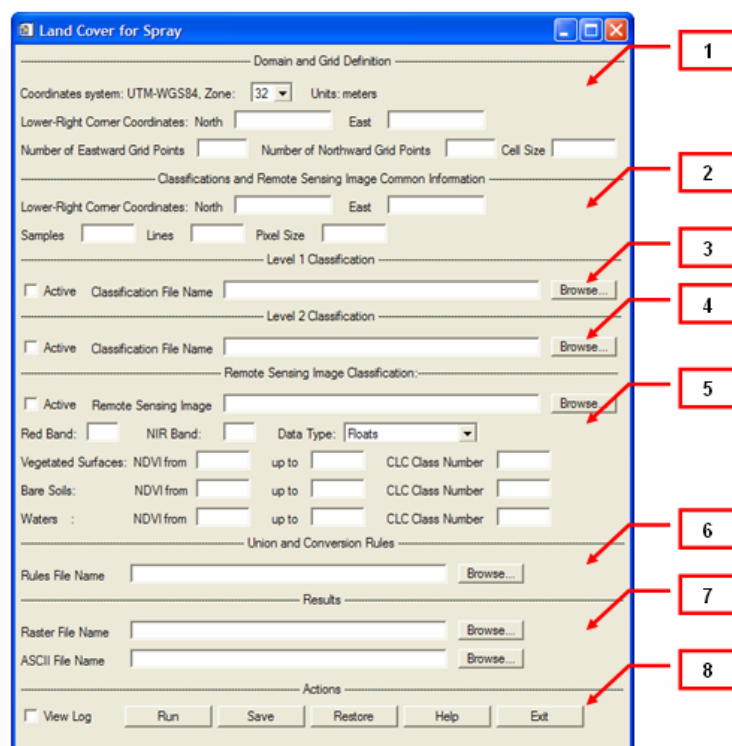


Figura 1 - MMI e blocchi procedurali.

CLC2000 311, in questo caso questa classe potrebbe essere giudicata equivalente anche alle classi frutteti (222) e oliveti (223). La compatibilità fra classi, assieme alle corrispondenze fra i codici A.I. e CORINE è definita in una tabella (file) compilata dall'utente. L'utente può anche non fornire tutte le classificazioni: in questo caso le classificazioni mancanti sono trattate come Non Classificate. Nel caso in cui non venga fornita nessuna classificazione è facile verificare che il risultato coincide con la CLC2000.

B6, 7 e 8: questi blocchi sono essenzialmente blocchi di controllo e di gestione degli output della procedura.

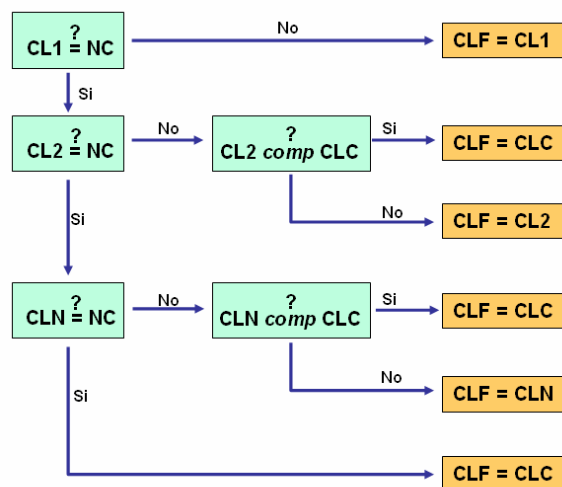
Risultati della procedura sviluppata

Oltre ai risultati numerici, la procedura genera anche alcuni output grafici per il controllo delle varie fasi di elaborazione. In figura 3 è mostrato un esempio dell'

output grafico ottenuto per il caso esempio mostrato nella sezione successiva e nel quale si è utilizzata una immagine acquisita dal sensore ETM+/Landsat7. La figura è composta da otto sottofinestre (F1-8) ognuna delle quali mostra i risultati parziali delle varie fasi di elaborazione. Brevemente: F1: Classificazione CLC2000 della zona considerata (zona nord-est di Modena, 10 km x 10 km, celle di 100 m x 100 m); F2: Classificazione primaria (CL1) fornita dall'utente (una unica classe, alcune aree urbanizzate, celle di 30 m x 30 m); F3: Classificazione secondaria (CL2) fornita dall'utente (varie classi, celle di 30 m x 30 m); F4: Visualizzazione, per controllo, della banda NIR dell'immagine telerilevata considerata (ETM/4, celle di 30 m x 30 m); F5: Classificazione nelle tre macroclassi ottenute mediante l'indice NDVI (CLN, celle di 30 m x 30 m); F6: Unione delle classificazioni (celle di 30 m x 30 m); F7: Conversione della CLC2000 (F1) da codici CLC2000 a codici A.I. e ricampionamento spaziale (classe prevalente) sul grigliato usato per A.I. (celle di 100 m x 100 m); F8: Conversione della CLF (F2) da codici CLC2000 a codici A.I. e ricampionamento spaziale (classe prevalente) sul grigliato usato per A.I. (celle di 100 m x 100 m). I risultati a cui fanno riferimento le finestre F7 ed F8, cioè la CLC2000 e la CLF codificate e ricampionate, sono salvate anche sia in formato raster che in formato ASCII nella formattazione richiesta dai preprocessori di A.I.. Nel caso in cui i dati del sensore utilizzato permettano il calcolo dell'albedo, viene generato un file ASCII contenente, in formato tabulare, una statistica per ogni codice A.I. riportante: il codice di copertura considerato, il valore di albedo tabulato utilizzato di default da A.I., il numero di punti sull'immagine che hanno quel codice di copertura, il valore medio dell'albedo calcolato su questi punti e la sua deviazione standard. Sulla base di questa tabella, l'utente può decidere se cambiare o lasciare inalterati valori di albedo utilizzati dal modello di dispersione in funzione della classe di copertura del suolo.

Applicazione della procedura sviluppata

La procedura è stata utilizzata in supporto alla simulazione della dispersione atmosferica di particelle sospese emesse da un'area (1 ha) di stoccaggio di materiale inertizzato all'interno della discarica di Modena. Il grigliato di calcolo impostato in A.I. 1 è di 10 km x 10 km, con celle di 100 m x 100 m, corrispondente all'area mostrata nella finestra di figura 3 (la F4 è quella maggiormente intuitiva). Il periodo considerato va dal 19/07/05 al 01/09/05.



CL1: Classificazione primaria
 CL2: Classificazione secondaria
 CLN: Classificazione tramite NDVI
 CLC: CLC2000
 CLF: Classificazione finale
 NC: Non classificato
 comp: Compatibile

Figura 2 – Unione delle classificazioni

Come già anticipato, l'immagine telerilevata utilizzata è stata acquisita dal sensore ETM+/Landsat7, il giorno 26/08/01. La non contemporaneità fra la simulazione della dispersione e la data di acquisizione dell'immagine non è rilevante ai fini di questo caso di studio. Infatti, a distanza di 4 anni di tempo, e data la tipologia della zona, la maggior parte dei cambiamenti, rispetto a quanto riportato nella CLC2000, sono imputabili alla stagionalità, che in questo caso è comunque coerente. Altri cambiamenti come, quelli dovuti alla dinamica urbana, interessano solo piccola aree. Come classificazione primaria è stata utilizzata quella ottenuta individuando manualmente sull'immagine alcune macroaree a copertura industriale (figura 3-F1). Come classificazione secondaria è stata utilizzata quella ottenuta mediante il metodo di classificazione maximum likelihood dell'immagine ETM+, sulla quale sono state individuate le classi: urbano/civile (UC), urbano/industriale (UI), terreni nudi (TN), coperture erbacee e arbustive (ER), vegetazione ad alto fusto (VA) e acqua (AC). Confrontando la CLC2000 e la CLF si vede che oltre il 70% dei pixel (100000 in totale) sono cambiati.

Il caso più frequente di cambiamento (34%) riguarda la classe "superfici coltivabili" (SC) della CLC2000 (colore giallo in figura). Sulle aree coperte da questa classe, la classificazione dell'immagine telerilevata ha individuato le classi ER (sempre in giallo), TN (grigio) e VA (verde), le quali sono state considerate un raffinamento della classe SC. Il modello di dispersione degli inquinanti è stato applicato due volte allo stesso scenario e con le stesse impostazioni, ad eccezione della copertura del suolo: nel primo caso si è utilizzata la CLC2000, nel secondo la CLF. In figura 4 sono riportate le mappe di concentrazione delle polveri totali sospese (PTS) a 2 metri dal suolo espresse come 98° percentile calcolato sull'intero periodo temporale. La geometria della zona di dispersione (*plume*) non mostra particolari direzioni preferenziali e si mantiene nelle vicinanze della sorgente (stella): questo è dovuto al fatto che nel periodo estivo i venti si mantengono generalmente deboli mentre il rimescolamento termico verticale è intenso (ore diurne). La geometria del *plume* ottenuta nei due diversi casi è abbastanza simile, ma sovrapponendo il *plume* ottenuto con la CLC2000 (area tratteggiata in figura 4 a destra) a quello ottenuto usando la CLF si nota che nel secondo caso l'area interessata è maggiore e la dilatazione (freccie in figura 4 a destra) riscontrata non è omogenea ma sbilanciata verso le regioni orientali: questo è imputabile alla direzione dei venti che spirano prevalentemente da ovest. Analizzando numericamente le due mappe e ponendo come soglia di concentrazione significativa il valore $5 \mu\text{g m}^{-3}$ si ottiene che nel primo caso le celle sulle quali si registra un trasporto di PTS sono 1287, mentre nel secondo 1447, corrispondente ad un aumento del 12%. Il valore medio calcolato su queste celle rimane praticamente invariato: $262 \mu\text{g m}^{-3}$ nel primo caso e $271 \mu\text{g m}^{-3}$ nel secondo. Questo significa che utilizzando la CLF il modello simula un rimescolamento verticale meno intenso rispetto a quello ottenuto utilizzando la CLC2000: questo è imputabile soprattutto alle variazioni delle mappe di rugosità superficiale, che sono impostate sulla base della copertura del suolo.

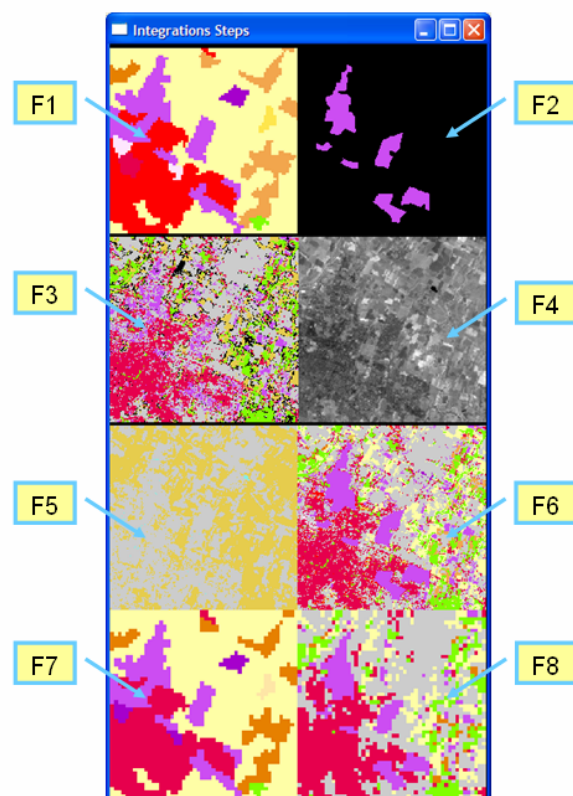


Figura 3 – Output grafici della procedura

Confronti analoghi al precedente sono stati effettuati anche variando l'albedo: in un caso utilizzando i valori di default tabulati nel modello, nel secondo variando questi valori sulla base della tabella classe di copertura – albedo estratta dall'immagine telerilevata. Nel caso studiato questo confronto non ha prodotto differenze significative, pertanto sono necessarie altre analisi di sensibilità prima di trarre conclusioni in senso positivo o negativo.

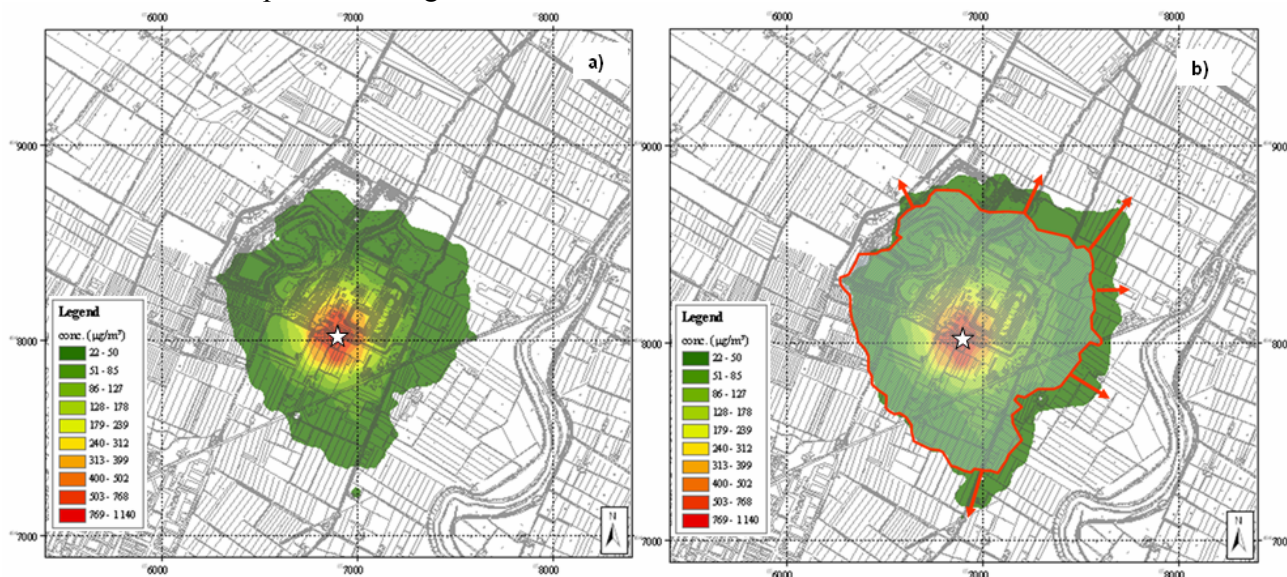


Figura 4 – Concentrazione di PTS, 98° percentile

Conclusioni

In questo lavoro è stata mostrata una procedura IDL progettata come supporto ai modelli di dispersione atmosferica e basata sull'uso di dati telerilevati, i cui prodotti principali sono: il miglioramento della rappresentatività della copertura del suolo CORINE e la stima diretta dei valori di albedo. Il caso-esempio riportato, ed altri non qui menzionati, hanno mostrato che i cambiamenti introdotti nella CORINE sono consistenti ed hanno un effetto significativo sulla dispersione degli inquinanti. Per quanto riguarda l'albedo, i valori ricavati dall'immagine telerilevata non hanno prodotto effetti significativi e pertanto necessitano di ulteriori test.

Bibliografia

- EEA (2003), "EEA - CORINE Land Cover", URL:<http://reports.eea.eu.int/COR0-landcover/en>
- Holtzlag A.A.M., van Ulden A.P. (1983), "A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data", J. Climate Appl. Meteorology, 22: 517-529.
- ICAROS NET (2003), "Integrated computational assessment of urban air quality via remote observation systems network", URL:<http://icaros-net.jrc.cec.eu.int>
- Liang S., Strahler A.H., Walthall C. (1999), "Retrieval of land surface albedo from satellite observations: a simulation study", Appl. Meteorology, 38: 712-725.
- Research System (2005), "RSI - Solutions for Data Visualization and Image Analysis, URL:<http://www.rsinc.com>"
- Stull R. B. (1988), *An introduction to boundary layer meteorology*, Kluwer Acc. Press, 1988
- Teggi S., Bogliolo M.P., Gariazzo C., Ghermandi G. "2001, Estrazione di parametri superficiali da immagini ETM+ per modelli di dispersione di inquinanti in atmosfera", Atti della 5a Conferenza Nazionale ASITA, Rimini, 9-12 Ottobre 2001, II, 1387-1992
- Wang J., White K., Robinson G.J. (2000), "Estimating surface net solar radiation by use of Landsat-5 TM and digital elevation models", Int. J., Remote Sensing, 21: 31-43