

UTILIZZO DEI GIS NELL'AMBITO DELLA VALUTAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA

Giorgio ARDUINO^(*), Carla CONTARDI^(*), Stefano BOVO^(**), Stefano BANDE^(**),
Monica CLEMENTE^(**), Roberta DE MARIA^(**), Massimo MURARO^(**),
Giuseppe CALORI^(***), Sandro FINARDI^(***), Camillo SILIBELLO^(***)

(*) Regione Piemonte - Assessorato Ambiente, via Principe Amedeo 17, 10123 Torino

giorgio.arduino@regione.piemonte.it

(**) ARPA Piemonte, Corso Unione Sovietica 216, 10134 Torino

(***) ARIANET, via Gilino 9, 20128 Milano

Riassunto

Le direttive comunitarie e le relative normative nazionali in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria prevedono che le informazioni provenienti dai punti di monitoraggio fissi debbano essere integrate con quelle provenienti da altre fonti di dati, con l'obiettivo finale di pervenire ad una adeguata rappresentazione spaziale delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici sull'intero territorio regionale. Pertanto le attività di valutazione della qualità dell'aria in Piemonte sono state effettuate nell'ottica di una progressiva integrazione dei tre principali strumenti informativi disponibili nell'ambito del SIRA (Sistema Informativo Regionale Ambientale): la base dati delle misure rilevate dal *Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria* (S.R.R.Q.A.), l'*Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera* (I.R.E.A.) e i *Sistemi Modellistici di Dispersione degli Inquinanti in Atmosfera*, in linea con l'evoluzione delle conoscenze di tipo tecnico-scientifico in materia. Il sistema di valutazione e gestione sviluppato si basa sull'applicazione di un sistema modellistico avanzato di tipo deterministico che permette il calcolo degli indicatori sia di breve che di lungo periodo su una griglia di calcolo ad alta risoluzione che copre tutto il territorio regionale. Poiché la Valutazione della Qualità dell'Aria non si riferisce ad un grigliato di calcolo, ma alle unità territoriali amministrative (i Comuni) che consentono la pianificazione degli interventi necessari per il suo miglioramento complessivo o per la sua conservazione, a valle delle simulazioni modellistiche è stata definita una metodologia per riportare il dato dalla griglia al territorio comunale.

Abstract

The European Community and National regulations concerning air quality require integration of data from both monitoring systems and different information sources to properly simulate pollutants spatial distribution over the involved territory. In order to improve the Air Quality Assessment in the Piedmont Region, three different information sources available from the Environmental Regional Information System (SIRA) have been integrated, according to technological and scientific evolution: the Regional Air Quality Monitoring Network, the Regional Emissions Inventory and the Atmospheric Modelling System. The implemented evaluation and management system is based on a deterministic modelling system capable to evaluate short and long term indexes foreseen by the legislation over an high resolution computational grid covering the whole regional territory. As the Air Quality Assessment has to be referred to administrative territorial unity (Municipalities) in order to enable further management scheduling aimed at air quality improvement or conservation, a methodology has been defined to properly assign the modelling simulation results – originally referred to the computational grid - to the council territories.

Introduzione

Le direttive comunitarie in materia di qualità dell'aria (1996/62/CE; 1999/30/CE, 2000/69/CE e 2002/3/CE) impongono agli Stati Membri di suddividere il territorio in zone omogenee e di valutare all'interno di queste lo stato di qualità dell'aria in relazione ai valori limite stabiliti per i diversi inquinanti. Il recepimento nazionale della legislazione comunitaria delega alle Regioni la responsabilità della valutazione dello stato di qualità dell'aria sul proprio territorio.

Le osservazioni locali provenienti da punti di monitoraggio fissi sono lo strumento principale per valutare il livello degli inquinanti nei siti di campionamento; tuttavia la rete di monitoraggio non può coprire tutto il territorio regionale e la spazializzazione dei livelli di concentrazione misurati non è immediata e di difficile realizzazione, specie in quelle aree caratterizzate da orografia complessa ed un uso diversificato del suolo. Per tali ragioni le direttive comunitarie e le relative normative nazionali introducono la possibilità dell'utilizzo della modellistica di dispersione degli inquinanti, con l'obiettivo finale di pervenire ad una adeguata rappresentazione spaziale delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici sull'intero territorio regionale. A partire dal 2005 ARPA Piemonte, su incarico di Regione Piemonte ed in collaborazione con la società ARIANET, ha messo a punto un sistema modellistico tridimensionale in grado di simulare l'emissione, il trasporto, la diffusione e le trasformazioni chimiche dei principali inquinanti atmosferici (CO, NO₂, NO_x, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ e Benzene) per stimarne i campi di concentrazione con risoluzione oraria sull'intero territorio regionale. Il sistema è completato da strumenti di *post-processing* che permettono sia il calcolo di tutti gli indicatori di stato richiesti dalla legislazione nazionale e comunitaria, sia il confronto tra dati simulati ed osservati per valutare l'incertezza dei risultati della simulazione.

Il sistema modellistico di dispersione degli inquinanti in atmosfera

Il sistema modellistico è stato pensato per realizzare, attraverso l'applicazione delle più evolute tecniche di modellistica di dispersione, la migliore ricostruzione possibile dello stato della qualità dell'aria sul territorio regionale a partire da tutte le informazioni disponibili: l'Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (I.R.E.A.), le misure rilevate dal Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria (S.R.R.Q.A.), i dati meteorologici provenienti dalla Rete Meteoidrografica di ARPA Piemonte e dai campi di analisi della modellistica meteorologica, nonché i dati geografici e cartografici che caratterizzano il territorio piemontese. Il sistema è costituito da quattro componenti principali:

- il modello di trattamento delle emissioni *EMMA* (ARIANET, 2005);
- il modello meteorologico diagnostico *MINERVE* (ARIA Tech., 2001);
- il modulo di interfaccia *GAP/SurfPRO* (Finardi et al., 2005) per la stima della turbolenza atmosferica e dei parametri di dispersione;
- il modello euleriano di chimica e trasporto Flexible Air quality Regional Model, *FARM* (COST728, 2006), in grado di trattare i principali inquinanti atmosferici, compreso il particolato, e di considerare processi di trasporto, trasformazione chimica e deposizione secca ed umida.

Il dominio di calcolo (fig. 1A) ha un'estensione di 220x284 km² e copre interamente il Piemonte e la Valle d'Aosta, buona parte della Liguria e della Lombardia (inclusa l'area metropolitana di Milano) e porzioni di territorio francese e svizzero, con una risoluzione orizzontale di quattro chilometri ed uno sviluppo verticale fino a circa 4000 m con dodici livelli. La componente emissiva è stata predisposta a partire dall'Inventario Regionale delle Emissioni del Piemonte, con dettaglio su scala comunale a livello di attività *SNAP* (*Selected Nomenclature for sources of Air Pollution*) secondo la classificazione *CORINAIR*, opportunamente integrato con le informazioni riguardanti le sorgenti dei territori confinanti comprese nel dominio di calcolo (Inventario Regionale delle Emissioni per Lombardia e Valle d'Aosta, Inventario Nazionale per la Liguria ed inventario EMEP per Francia e Svizzera). Il codice *EMMA* è stato utilizzato per produrre un input emissivo sulla griglia di calcolo, modulato temporalmente su base oraria e compatibile con il meccanismo chimico del modello

FARM. I campi meteorologici sono stati ricostruiti con *MINERVE*, modello diagnostico *mass-consistent*, basato sulla conservazione della massa e sulla minimizzazione della divergenza del campo di vento, il quale utilizza in *input* i dati provenienti dalle osservazioni della Rete Meteoidrografica di ARPA Piemonte, le misurazioni delle stazioni del *Global Telecommunication System (GTS)* e le elaborazioni della modellistica meteorologica numerica di *European Centre for Medium range Weather Forecast (ECMWF)*. A partire dai campi meteorologici elaborati da *MINERVE*, dalle informazioni sull'uso del suolo e sulle caratteristiche delle specie chimiche considerate, il modulo di interfaccia *SurfPRO*, basato su metodi di bilancio energetico superficiale e sulla teoria della similarità di Monin-Obukhov, effettua la stima dei campi bidimensionali dei parametri di turbolenza, delle diffusività turbolente e delle velocità di deposizione secca e umida per le diverse specie chimiche. Infine i campi tridimensionali di concentrazione degli inquinanti sono prodotti dal modello di trasporto e chimica atmosferica FARM, utilizzando come condizioni al contorno i campi di concentrazioni messi a disposizione dal servizio Prev'Air (<http://www.prevair.org>) prodotti dal modello a scala continentale CHIMERE, corretti con i dati di qualità dell'aria osservati dalle stazioni del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria.

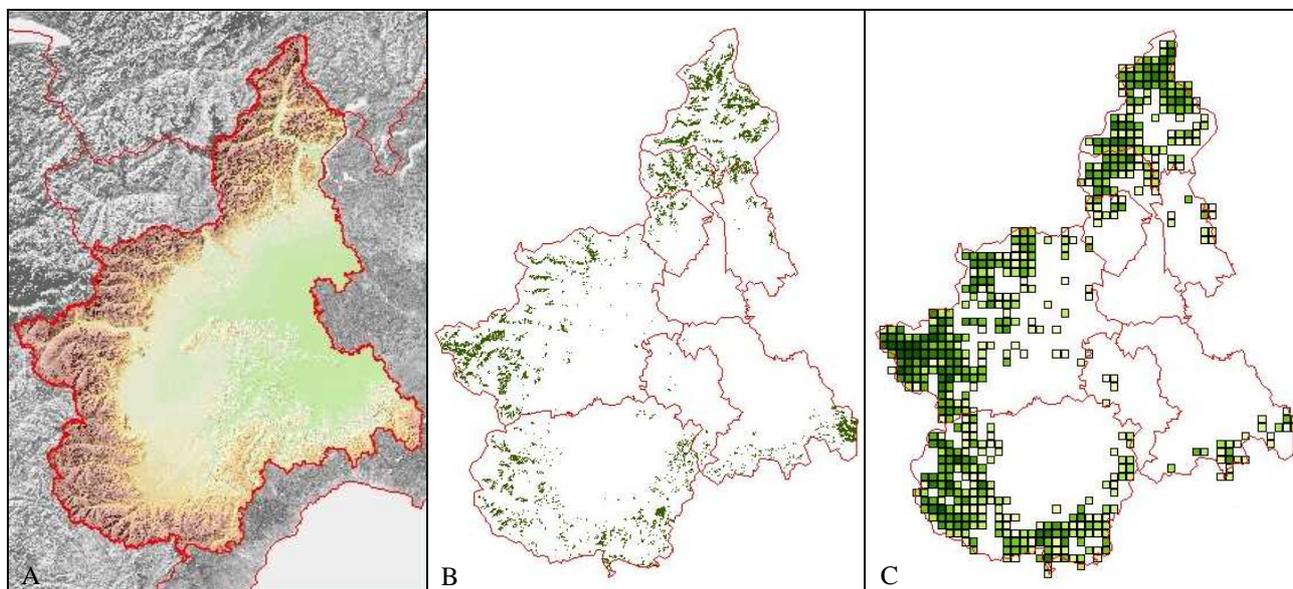


Figura 1 – A: Dominio di calcolo del sistema modellistico per la valutazione della qualità dell'aria in Piemonte; B: Distribuzione delle conifere da Corine Land Cover; C: Spazializzazione delle emissioni biogeniche da conifere sul grigliato di calcolo

Il sistema modellistico, implementato a partire dall'anno 2005 e successivamente migliorato ed ottimizzato, è stato utilizzato per effettuare le Valutazioni di Qualità dell'aria relative agli anni 2004, 2005 e 2006. Le stime di concentrazione ottenute sono state infine validate con le misure del Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria, ed i risultati del confronto, seppure diversificati per i diversi inquinanti, risultano soddisfacenti ed in linea con quanto previsto dalle norme comunitarie (1999/30/CE E 2000/69/CE) e nazionali (D.M 60/2002 e D.Lgs 183/2004) per l'incertezza sulla modellizzazione, evidenziando tuttavia una tendenza alla sottostima per quanto riguarda il particolato atmosferico (Bande et al., 2007, De Maria et al., 2007).

L'utilizzo dei dati territoriali nella componente meteorologica

Le componenti meteorologiche sono state ricostruite con un procedimento di tipo diagnostico, strutturato in una prima fase dedicata alla simulazione delle variabili termiche e dinamiche (temperatura e vento nelle sue componenti orizzontali e verticali) ed in una seconda in cui vengono valutate e ricostruite le variabili relative alla turbolenza degli strati inferiori dell'atmosfera, agli

scambi di calore al suolo ed alle velocità di deposizione secca ed umida. Tale metodologia non può prescindere dalla disponibilità di basi dati territoriali, quali orografia e uso del suolo, che devono essere forniti ai modelli in ogni punto della griglia di calcolo. In particolare il modello MINERVE utilizza la matrice delle quote altimetriche e le informazioni sull'uso del suolo per introdurre nel campo di vento - ottenuto interpolando sulla griglia di calcolo i dati meteorologici disponibili - gli effetti di tridimensionalità legati alla presenza di un terreno complesso: circolazioni locali quali brezze di monte e di valle, brezze di versante, effetti cinematici del terreno, comportamento del flusso in presenza di ostacoli, effetti legati alla rugosità. Il modulo SurfPRO, oltre a ricavare dall'orografia le informazioni necessarie al calcolo della radiazione solare teorica (quota, inclinazione ed esposizione del versante, effetti d'ombra), necessita dei dati di uso del suolo per stimare i parametri di scala che descrivono la turbolenza dello strato limite planetario (*PBL*, *Planetary Boundary Layer*). I metodi di bilancio energetico superficiale e la teoria di similarità di Monin-Obukhov semplificano i processi fisici che avvengono nel PBL con relazioni parametriche in cui i coefficienti dipendono o direttamente dall'uso del suolo assegnato al punto griglia in esame, o indirettamente tramite i parametri geofisici, come la rugosità e l'albedo, a questo collegati. La base dati orografica viene attualmente costruita a partire da un *raster* D.T.M (*Digital Terrain Model*) con risoluzione di 250 m ed estraendo sulla griglia di calcolo la topografia alla risoluzione della simulazione (4km) mediante un filtro gaussiano (ARIANET, 2006). Per quanto riguarda l'uso del suolo, la base dati di partenza è costituita dal *Corine Land Cover 2000* (in formato *raster*, 250 m di risoluzione) e dal *raster* (con risoluzione di 1 km) *LULC (Land Use and Land Cover) USGS (United States Geological Survey)* per le porzioni di territorio non coperte dal progetto *CORINE*. I database di partenza vengono uniti e riclassificati nello schema *BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme)* modificato utilizzato da SurfPRO (ARIANET, 2004) e successivamente riportati sulla griglia di simulazione assegnando ad ogni cella 4km x 4km la categoria di uso del suolo corrispondente alla classe prevalente all'interno della cella stessa (ARIANET, 2006). I parametri geofisici in ogni punto griglia, ovvero la lunghezza di rugosità, l'albedo, il rapporto di Bowen, il flusso di calore antropogenico e l'indice di area fogliare, vengono desunti dai valori di letteratura associati alle categorie di uso del suolo utilizzate.

L'utilizzo dei dati territoriali nella componente emissiva

La componente emissiva viene predisposta a partire dagli Inventari delle Emissioni e successivamente spazializzata da un modulo specifico del codice EMMA, il quale - per proiettare le emissioni definite su base poligonale (dettaglio comunale o provinciale) - tiene conto dell'occupazione del suolo all'interno di ciascuna cella, in modo da evitare che le emissioni associate alle singole attività antropiche o naturali (produzione di energia, agricoltura, allevamento, trasporti, trattamento rifiuti, ecc...) vengano distribuite indiscriminatamente su tutte le celle del dominio intersecate da ciascun poligono di emissione.

In particolare, il processo di disaggregazione spaziale sulla griglia di calcolo prevede che, per ciascun poligono, le emissioni prodotte dalle singole attività vengano ripartite sulle celle interessate sulla base sia dell'area delle intersezioni poligono-celle, sia dell'informazione contenuta in un tematismo grigliato; il tematismo viene rasterizzato a partire da diverse fonti, quali l'uso del suolo *Corine Land Cover* o (ad es. per le aree residenziali ed aree industriali) da dati vettoriali di maggior dettaglio della Carta Tecnica Regionale Semplificata (*Dataset Isolati-Usa del suolo 1:10000*).

A titolo di esempio, le emissioni dovute al riscaldamento domestico di un comune non vengono uniformemente distribuite su tutte le celle che rientrano nel territorio comunale, ma solo su quelle corrispondenti al layer tematico che definisce le aree edificate; allo stesso modo le emissioni biogeniche prodotte dalle conifere e dalle latifoglie sono disaggregate spazialmente sulle celle che ne individuano la distribuzione sul territorio piemontese (figg. 1B-C).

Le emissioni da sorgenti lineari invece, essendo normalmente associate ad un grafo stradale, cioè ad elementi cartografici (archi stradali) già dotati di geometria propria di dettaglio, non necessitano del processo di spazializzazione sopra descritto, ma vengono semplicemente proiettate sulla griglia di

calcolo della simulazione. Analogamente ciò accade per le emissioni da sorgenti puntuali, individuate da coordinate specifiche corrispondenti ai singoli camini, e quindi direttamente attribuite alle celle del grigliato di calcolo orizzontale.

Valutazione del territorio comunale

La simulazione modellistica restituisce per ognuna delle 4032 maglie del grigliato di calcolo le concentrazioni orarie di tutti gli inquinanti calcolati (fig. 2A), sull'arco dell'intero anno oggetto della Valutazione della Qualità dell'Aria. A partire da esse gli strumenti di post-elaborazione possono quindi calcolare gli indicatori di legge in ognuno dei punti del territorio, in modo analogo a quanto fatto a partire dai dati rilevati dalla rete fissa di rilevamento.

La normativa europea prevede in effetti che la Valutazione della Qualità dell'Aria sull'intero territorio possa essere effettuata combinando le informazioni provenienti dagli strumenti modellistici e dalle reti di rilevamento. Ciò viene effettuato presupponendo valida la continuità della matrice aria che viene osservata e la relativa possibilità di ri-calcolare ognuno dei punti all'interno della maglia simulata (ad esempio in corrispondenza delle stazioni fisse per verificare e validare la simulazione modellistica). Questa abbondanza di informazioni non risolve di per sé il problema di dover assegnare ad un territorio ben definito amministrativamente un unico valore per ogni indicatore (fig. 2B): la combinazione delle due tipologie di informazioni può essere infatti effettuata in svariati modi, che vanno calibrati in funzione dell'utilizzo.

La Regione Piemonte per gli anni 2004–2006 ha assegnato, in assenza di riferimenti normativi a riguardo, un valore ad ogni Comune e ad ogni Zona di piano utilizzando alcuni indicatori statistici ottenuti dall'incrocio dei dati vettoriali amministrativi (Comuni *scala 1:10000* e Zone UE *scala 1:10000*) con una copertura vettoriale corrispondente alle celle di lato 4 Km aventi per centro i punti griglia del modello. Per ciascuna unità amministrativa viene calcolato il numero di celle che vi ricadono e, in corrispondenza di ciascuna di queste celle, una serie di indicatori sono elaborati a partire dai dati orari prodotti dal modello di simulazione: il valore massimo e minimo, la media, lo scarto, la varianza, la deviazione standard ed alcuni percentili (50°, ..., 95°).

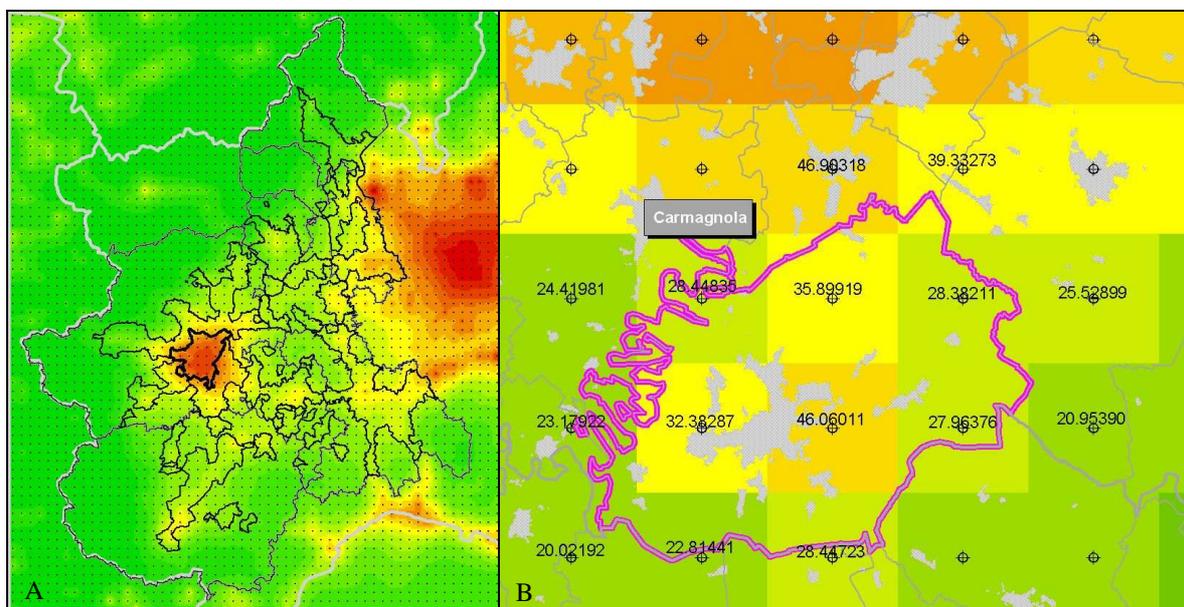


Figura 2 – A: Spazializzazione di un indicatore simulato dal modello (media annua NOx)
B: Il risultato del modello sovrapposto al territorio comunale

Per la Valutazione dell'anno 2004 ad ogni unità amministrativa è stato quindi assegnato il valore corrispondente al 90° percentile, mentre per gli anni 2005 e 2006 è stato utilizzato il 95° percentile o, nel caso in cui l'indicatore riguardasse la tutela della salute umana, il valore massimo (ciò per

mantenere il principio di massima tutela della salute per gli abitanti del territorio valutato e, nel contempo, salvaguardare la possibilità di errori di sovra-valutazione).

Sulla base delle esperienze finora maturate si stanno ora valutando altri possibili metodi per migliorare l'attribuzione di un valore rappresentativo del territorio comunale a partire dai dati risultanti dal modello.

Conclusioni

L'utilizzo di un sistema modellistico avanzato di tipo deterministico, in grado di integrare tutte le informazioni sulla qualità dell'aria disponibili sul territorio, ha permesso di estendere la Valutazione della Qualità dell'Aria all'intera regione, fornendo indicazioni anche per le aree non monitorabili con i sistemi classici (stazioni fisse o campagne di misura). Il sistema utilizzato necessita di numerose informazioni territoriali, sia nelle fasi della simulazione meteorologica ed emissiva, sia in fase di *post-processing*, per riportare i risultati sulle unità territoriali comunali sulle quali devono essere pianificati gli interventi. I risultati ottenuti attraverso la cooperazione tra i diversi soggetti competenti costituiscono il necessario presupposto per la tutela ed il governo dell'ambiente e per orientare le politiche di pianificazione territoriale e di sviluppo. Un ulteriore miglioramento del sistema potrebbe essere ottenuto ampliando le sinergie all'interno del Sistema Informativo Regionale, con la messa a disposizione di basi dati territoriali di maggior dettaglio (in particolare l'uso del suolo e le informazioni ad esso correlate).

Bibliografia

- Finardi, S., Baklanov, A., Clappier, A., Fay, B., Joffre, S., Karppinen, A., Ødegård, Slørdal, L. H., Sofiev, M., Sokhi, R. S., Stein, A. (2005). "Improved interfaces and meteorological pre-processors for urban air pollution models". FUMAPEX Report D5.2-3, 55 pp, available at <http://fumapex.dmi.dk>
- ARIANET (2005), EMMA (EMGR/make) User's guide Version 3.5, *Rapporto Arianet R2005.08*, Milano
- ARIA Technologies (2001), MINERVE wind field model General design manual, *ARIA Tech. Report, Paris*
- COST728 (2006), Cost 728/732 Model Inventory, disponibile sul sito <http://www.mi.uni-hamburg.de/costmodin>
- ARIANET (2004), SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) *User's guide*, Milano
- ARIANET (2006), ARIA suite tools Reference guide Release 1.1, *Rapporto Arianet R2006.22*, Milano
- Bande S., Clemente M., De Maria R., Muraro M., Picollo M.E., Arduino G., Calori G., Finardi S., Radice P., Silibello C., Brusasca G. (2007), "The modelling system supporting Piemonte region yearly air quality assessment", *atti della 6th International Conference on Urban Air Quality*, Cipro, Marzo 2007.
- De Maria R., Clemente M., Bande S., Muraro M., Silibello C. (2007), "Analysis of parameters influencing estimated by a chemical transport model", *atti della 11th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Cambridge, Luglio 2007.